

# Nano Studies

17 / 18

2018

# NANO STUDIES

17 / 18

2018

## Nano Studies, 2018, 17 / 18

UDG [53 + 54 + 620.22] (051.2)

N – 21

**Nano Studies** is a biannual 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** publish following categories of scientific articles: research papers, communications, reviews and discussions.

**Nano Studies** publish 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 are accessible in **Tech Inform** (Georgia Central Institute for Scientific and Technical Information) database: <http://www.tech.caucasus.net>

Full-texts of articles published in **Nano Studies** are free-accessible at the journal's web-site: <http://www.eurchembull.com/NanoStudies/index.htm>

Editor & Publisher: **Levan Chkhartishvili**  
Executive Editor: **Tamar Berberashvili**  
Editors: **Guram Chikhladze**  
**Ivane Murusidze**

Address of Editorial Office: **Department of Engineering Physics**  
**Georgian Technical University**  
**Campus 4, Room 307**  
**77 Merab Kostava Avenue**  
**Tbilisi, 0175, Georgia**  
<http://www.eurchembull.com/NanoStudies/index.htm>

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

Phone: **995 322 37 19 42**

Mobile: **995 599 34 07 36**

© Authors of articles, 2018

Publishing House **Nekeri**

ISSN 1987 – 8826

CONTENTS

Regular Papers

Production of nano ZrB<sub>2</sub>-TiB<sub>2</sub> composite powder mixtures  
via self-propagating high-temperature synthesis  
M. Bugdayci, A. Turan, K. Benzesik, O. Yucel ..... 5-16

Formation of dislocation rosette in LiF crystals at  
micro-indentation in electric field – *in Russian*  
M. Galustashvili, M. Abramishvili,  
D. Drijaev, V. Kvachadze, S. Tsakadze ..... 17-20

Investigation and thermal behaviour of double condensed  
compounds of gallium, scandium, and silver  
M. Avaliani ..... 21-24

Simultaneous influence of Zn and Cd heavy metals ions  
on algae *Spirulina Platensis* biomass – *in Georgian*  
E. Gelagutashvili, N. Bagdavadze, E. Ginturi,  
N. Kuchava, A. Rcheulishvili, L. Tugushi ..... 25-30

Effect of Na(I), Ca(II), Mg(II), Rb(I), and Cs (I) ions on *Arthrobacter*  
*species* bacteria cultivated in presence of Cr(VI) – *in Georgian*  
O. Rcheulishvili, E. Gelagutashvili ..... 31-36

Dispersion and spectral characteristic of front shoulder impedance – *in Georgian*  
M. Gigineishvili, M. Chikhladze, T. Khachidze, O. Ketiladze ..... 37-42

Gamma-spectrometric measurements of biological materials radioactivity  
and processing of their gamma-radiation spectra – *in Russian*  
N. E. Kuchava ..... 43-48

Highly photosensitive and radiant energy-saving molecular switches  
L. V. Devadze, J. P. Maisuradze, G. Sh. Petriashvili,  
Ts. I. Zurabishvili, N. O. Sepashvili, Sh. A. Akhobadze ..... 49-56

Influence of metal ions (Ag(I), Co(II), Ni(II), Zn(II), and Mn(II)) on  
cyanobacteria *Spirulina platensis* intact cells constituents – *in Georgian*  
E. Gelagutashvili, N. Bagdavadze ..... 57-62

Peculiarities of post-radiation deformation of lithium fluoride containing  
high concentration of bivalent metal (Mg and Pb) – *in Russian*  
V. G. Kvachadze, M. G. Abramishvili, M. V. Galustashvili, D. G. Driaev ..... 63-66



## Contents.

---

Pyrolytic synthesis of boron nitride nanoflakes D. Jishiashvili, Z. Shiolashvili, A. Chirakadze, N. Makhatadze, V. Gobronidze, A. Jishiashvili, K. Gorgadze, D. Kanchaveli .....	67-70
Influence of environmental climate conditions on behavior of nanobioparticles within restricted area – <i>in Georgian</i> G. Chikhladze, K. Kapanadze .....	71-76
<b>Chronicle</b>	
22nd Session of Scientific Council for New Materials in Kyiv – <i>in Georgian</i> L. Chkhartishvili .....	77-80
5th International Conference & Exhibition on Nano & Advanced Materials – <i>in Georgian</i> A. Gerasimov .....	81-82
19th International Symposium on Boron, Borides & Related Materials – <i>in Georgian</i> L. Chkhartishvili .....	83-90
Nanomaterials: Applications & Properties – 2017 – <i>in Georgian</i> L. Chkhartishvili .....	91-96
XIV International Symposium on Self-Propagating High Temperature Synthesis – <i>in Georgian</i> O. Tsagareishvili .....	97-98
<b>Editorial</b>	
Editorial: Science History Pages by Prof. Fathi Habashi – <i>in Georgian</i> L. Chkhartishvili .....	99-104

PRODUCTION OF NANO ZrB<sub>2</sub>-TiB<sub>2</sub> COMPOSITE POWDER MIXTURES  
VIA SELF-PROPAGATING HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS

M. Bugdayci<sup>1</sup>, A. Turan<sup>1</sup>, K. Benzesik<sup>2</sup>, O. Yucel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Chemical and Process Engineering Department  
Faculty of Engineering  
Yalova University  
Yalova, Turkey

<sup>2</sup>Metallurgical and Materials Engineering Department  
Faculty of Chemical and Metallurgical Engineering  
Istanbul Technical University  
Maslak, Istanbul, Turkey  
mehmet.bugdayci@yalova.edu.tr

Accepted February 8, 2018

### Abstract

Metal diborides, such as ZrB<sub>2</sub> and TiB<sub>2</sub>, are an important subgroup of metal borides. The most prominent features of metal diborides are high melting temperature, high hardness, high thermal and electrical conductivities, good wear-, thermal-shock- and corrosion-resistances compared to oxide ceramics. In the present study, self-propagating high-temperature synthesis (SHS) conditions of ZrB<sub>2</sub>-TiB<sub>2</sub> composite powder mixtures were investigated. Reactant powders were prepared to give composite powder mixtures with the ratios from 90 % ZrB<sub>2</sub> – 10 % TiB<sub>2</sub> to 10 % ZrB<sub>2</sub> – 90 % TiB<sub>2</sub>. Synthesized SHS products were leached in HCl media to purify their ZrB<sub>2</sub> and TiB<sub>2</sub> contents. It was observed that the results of the experiments to synthesize nearly 50 % ZrB<sub>2</sub> – 50 % TiB<sub>2</sub> gave acceptable results, whilst minor boride phases could not be detected for the composite powders conducted to obtain 90 % ZrB<sub>2</sub> or TiB<sub>2</sub> with 10 % TiB<sub>2</sub> or ZrB<sub>2</sub>.

### 1. Introduction

Borides are an important subgroup in advanced ceramics. Compounds of boron with metals or non-metals are called borides. ZrB<sub>2</sub> and TiB<sub>2</sub> compounds of the IVB group metals have the general characteristics of this group such as high hardness, high melting point, high thermal conductivity, high electrical conductivity, low density and high chemical stability. With respect to these features, they are used in a wide range of applications such as metallurgy, aerospace and nuclear applications. The IVB group metal borides can be produced by carbothermic synthesis, metallothermic synthesis, molten salt electrolysis, and powder metallurgy methods [1].

Zirconia (ZrO<sub>2</sub>) and zirconium silicate (ZrSiO<sub>4</sub>) minerals are the most important sources of zirconium and zirconium-based compounds. These minerals are predominantly located in the USA, Australia, Brazil, India and Russia, and the world reserves are estimated at about 56 million tons [2]. The most known sources of titanium are rutile (TiO<sub>2</sub>) and ilmenite (Fe-TiO<sub>3</sub>)

minerals. These minerals are found in the USA, Australia, Sri Lanka, New Zealand, Uruguay and Mozambique, and the world reserves are estimated to be about 600 million tons [3]. The elemental boron was first discovered in 1808 by Gay-Lussac and Sir Humphry Davy. However, for the first time in 1895, Henry Moissan isolated 86% pure boron by reducing boron oxide with magnesium. The Moissan process is still common for commercial production of high purity amorphous boron. Higher purity boron can only be obtained by the decomposition of BCl<sub>3</sub> [2]. 76 % of the world boron reserves are in Turkey. Colemanite (50.8 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ulexite (43 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), and borax (36.5 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) are among the minerals with the highest content of boron by weight. The reserves in Turkey are mostly colemanite and its amount is around 1.4 billion tons [4].

A composite material is a material system consisting essentially of a mixture or combination of two or more macrocomponents, which are insoluble in each other and have different shape and / or material compositions. The collection of the best properties of the composite materials in a material, which usually is not available on its own, is a significant advantage. Composite materials have features such as high strength, high rigidity, high fatigue strength, high wear resistance, high temperature capacity, high corrosion resistance and high thermal conductivity. These superior features make it possible to find composite applications: aerospace, space industry, automotive industry, chemical industry, textile industry, and many field applications [5].

Most of the diborides are compounds of transition metals. Since metal diborides are high temperature materials, they are included in the group of refractory hard metallic compounds such as carbides, nitrides and silicides. The most stable diborides at high temperature are titanium, zirconium and hafnium diborides. Metal borides, which contain excess boron element, are metal borides with the highest melting temperature. On the other hand, the melting temperature of metal-rich metal borides is so low that it is close to the melting temperature of the metal in its structure [6].

Although there are various phases in the Zr-B system, the phase ZrB<sub>2</sub> is thermally and chemically the most stable one [7]. ZrB<sub>2</sub> has properties such as high hardness (17.9 GPa), high melting point (3250 °C), high thermal shock resistance, high electrical conductivity (electrical resistance, 9.7 Ω · m), low density and high chemical stability [8]. Some thermodynamic properties of ZrB<sub>2</sub> are as follows:  $\Delta H_{298\text{ °C}} = -322.6\text{ kJ / mol}$ ,  $\Delta G_{298\text{ °C}} = -318.2\text{ kJ / mol}$ ,  $S_{298\text{ °C}} = -36.0\text{ J / mol} \cdot \text{K}$ , and  $\Delta H_{\text{Fusion}} = 104.6\text{ kJ / mol}$  [6]. TiB<sub>2</sub> is a transition metal boride, which is containing 31.1 % boron by wt. of the Ti-B system. The melting point of TiB<sub>2</sub> is 3215 °C. TiB<sub>2</sub> is also a compound with metallic bonds similar as zirconium ceramic compounds and, it is crystallized in hexagonal structure. TiB<sub>2</sub> has high hardness, high abrasion resistance, high electrical conductivity and good corrosion resistance against acids and molten metals [6, 9]. Both ZrB<sub>2</sub> and TiB<sub>2</sub> powders have unique features, ZrB<sub>2</sub> and TiB<sub>2</sub> advanced composite ceramics are candidate materials for combining their high technological properties.

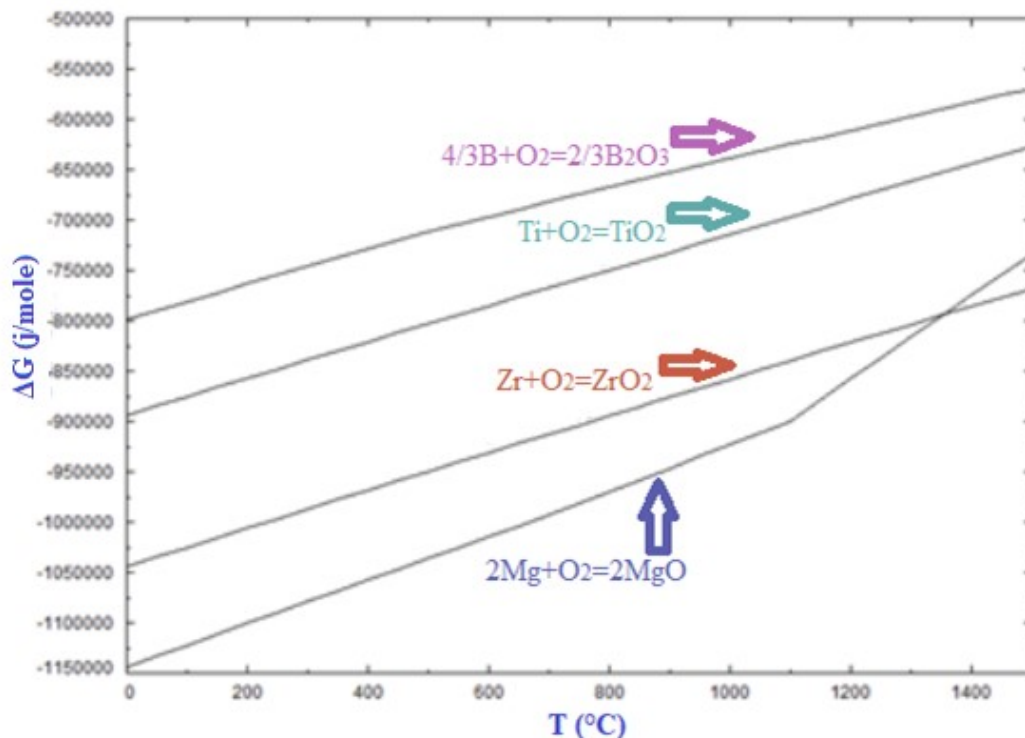
Many synthesis techniques are available commercially or in laboratory scale for the production of ZrB<sub>2</sub> and TiB<sub>2</sub>. Carbothermic [8, 10, 11] and self-propagating high-temperature synthesis (SHS) [12, 13] of mixed oxides of zirconium and boron, mechanical alloying [14, 15], synthesis from elements [16], sol-gel [17] and aluminum melt reaction [18] processes are among the most remarkable processes to synthesize ZrB<sub>2</sub> and TiB<sub>2</sub>. SHS is an alternative method, which is used to produce intermetallics, advanced ceramics, refractory materials, carbides, borides and nitrides. This process presents many remarkable aspects such as short processing time, low

energy requirement, carbonless products, and ceramic powders having nano scale grain size and low cost. In a SHS process, the ignition starts the reaction and it propagates through the mixture [19].

In this study, the production conditions of  $\text{TiB}_2\text{-ZrB}_2$  advanced ceramic composites by using SHS method were investigated. Experiments were conducted in two stages including SHS and leaching in acid media to purify SHS reaction products.

## 2. Theoretical background

The advanced thermochemical simulations of the reactions were investigated in detail including different ratios of initial mixtures, as well as different initial temperatures in order to reduce the number of experiments. In addition, the adiabatic temperatures were calculated for each system by using Fact Sage 6.4 thermochemical simulation software. Reductant selection in SHS experiments is one of the most important parameters. According to the Ellingham diagram, more electronegative elements can reduce more electropositive elements. As can be seen from the Ellingham diagram (**Figure 1**), Mg can reduce  $\text{TiO}_2$  and  $\text{ZrO}_2$ . Mg has been selected as a reductant in this work because aluminum and aluminum oxide based products and residual impurities cannot be removed by acid leaching, and further  $\text{TiB}_2$  and  $\text{ZrB}_2$  powders cannot be purified.



**Figure 1.** Ellingham diagram.

The specific heat concept is used to determine whether metallothermic reactions take place spontaneously. Specific heat is used to determine the heat released during the reaction and to determine if it is sufficient to separate the metal and slag from the obtained density by different densities. Reaction specific heat value is calculated by means of reaction enthalpy (at 25  $^{\circ}\text{C}$ ) which is divided by the total weight of the molecular weights (MW) of products (Eq. 1):

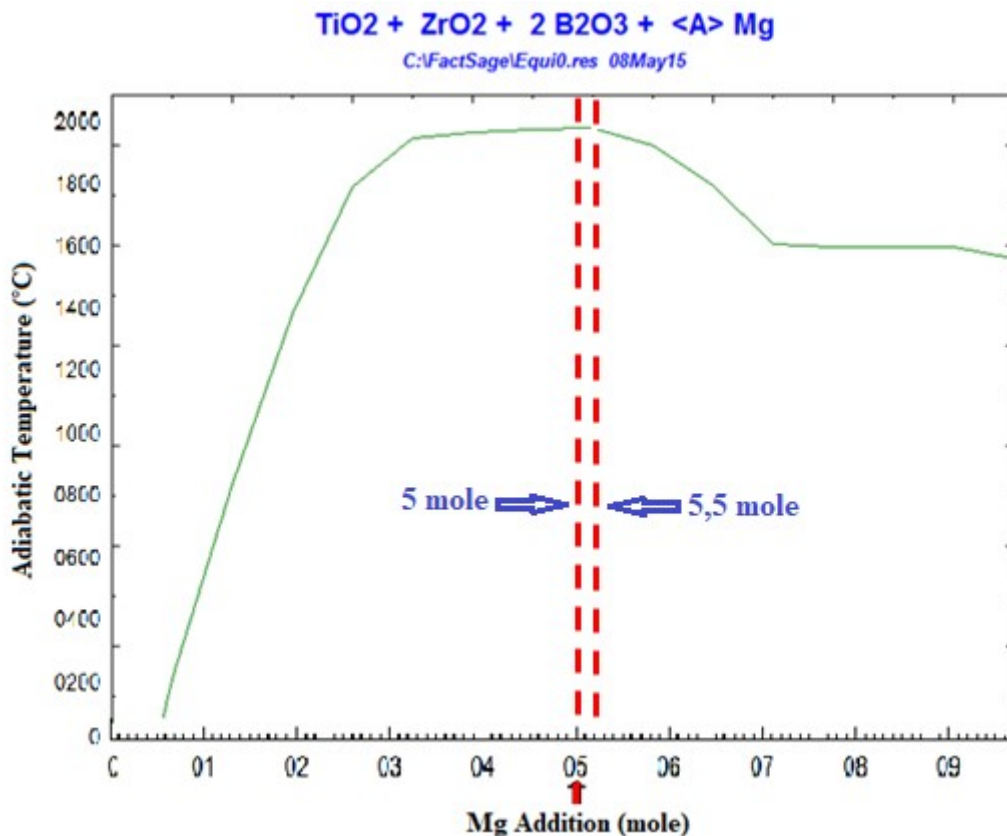


If the specific heat value of the reaction is lower than 2250 J / g, the reaction will be insufficient to separate molten metal-slag mixture, if it is higher than 4500 J / g, the reaction will be very intense like explosive and if it is between 2250 – 4500 J / g, a controlled and spontaneous reaction can occur [20, 21].

Adiabatic temperature and specific heat values of ZrB<sub>2</sub> and TiB<sub>2</sub> reactions are given with Eqs. 2 and 3:

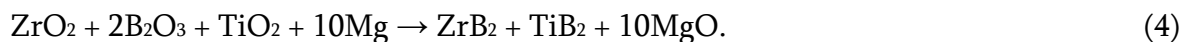


The adiabatic temperature  $T_{\text{ad}}$  has an important role to indicate whether a reaction self-propagates or not. It must be higher than 1527 °C [20, 21]. In thermodynamic calculation step, the effect of Mg addition on the reaction adiabatic temperature was investigated firstly. **Figure 2** reveals the change of  $T_{\text{ad}}$  with the addition of Mg. According to the figure, adiabatic temperature increases up to 5 mol of Mg, after 5.5 mol Mg addition it decreases, so Mg addition ratio from 3 to 5 mol, gives the highest adiabatic temperature values.

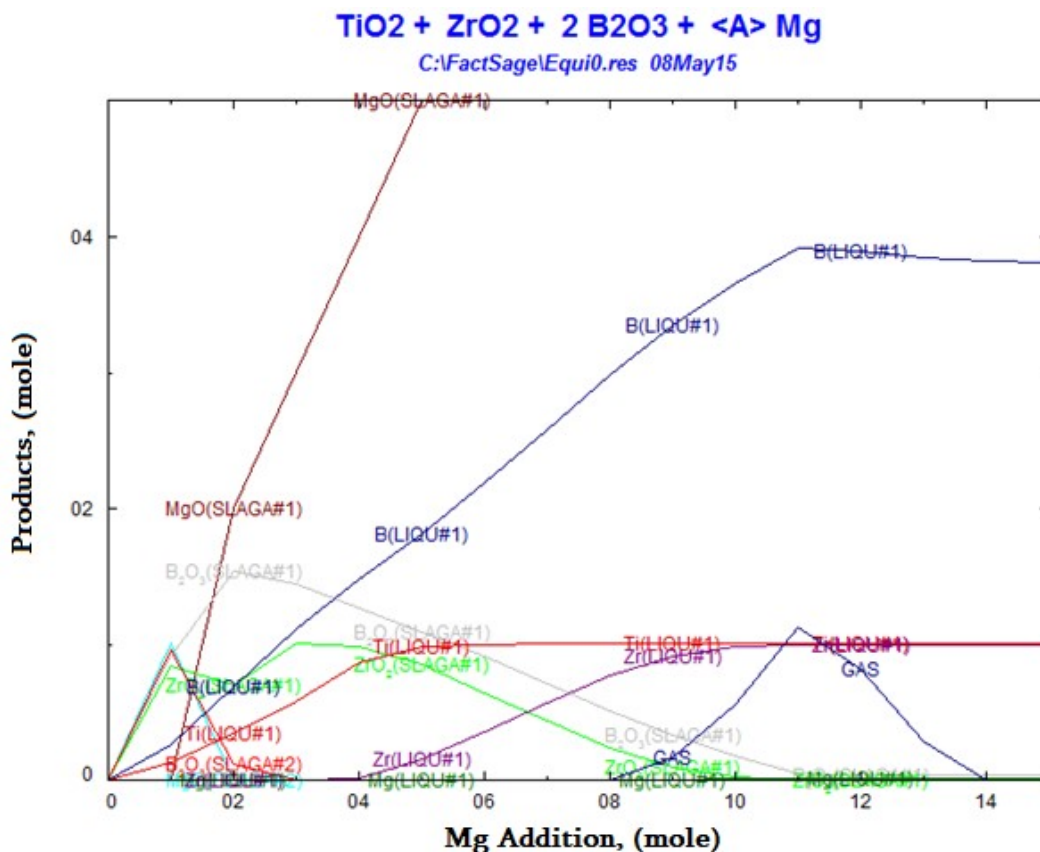
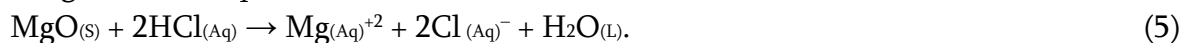


**Figure 2.**Effect of increasing Mg amount on adiabatic temperature.

SHS reaction of TiB<sub>2</sub> and ZrB<sub>2</sub> are shown with Eq. 4. The adiabatic temperature and enthalpy of Eq. 4 was calculated as 1957 °C and –2030.9 kJ / mol, respectively:



Mg is used as a reductant, because SHS products must be purified in HCl containing aqueous media to obtain clean  $\text{TiB}_2$  and / or  $\text{ZrB}_2$  phases.  $\text{MgO}$  dissolution reaction in an aqueous HCl solution is given with Eq. 5:



**Figure 3.** Thermochemical predictions of SHS products for the SHS reaction of  $\text{TiB}_2$ - $\text{ZrB}_2$ .

After the determination of optimum adiabatic temperature condition, in the second step of thermochemical modeling, possible SHS products were simulated for  $\text{TiB}_2$ - $\text{ZrB}_2$  system via Fact Sage 6.4 database (**Figure 3**). It clearly shows Zr, B and Ti phases can be obtained after 10 moles Mg addition, also a high amount of Mg containing phases are determined. Thus, in order to eliminate magnesium and magnesium borate phases leaching step was applied.

### 3. Experimental

The aim of the experimental work is to examine the production parameters of zirconium diboride-titanium diboride powder mixtures by SHS method. Experimental studies conducted in this direction consist of two stages. In the first stage of the experimental work, the production of  $\text{ZrB}_2$ - $\text{TiB}_2$  ceramic powders was carried out by using  $\text{B}_2\text{O}_3$  as boron source, titanium oxide ( $\text{TiO}_2$ ) as Ti source, zirconium oxide ( $\text{ZrO}_2$ ) as Zr source and Mg as reductant. In the second stage of the experimental studies, the removal of the  $\text{MgO}$ ,  $\text{Mg}_3\text{B}_2\text{O}_6$  phases in the obtained SHS products by leaching were investigated. The impurities in the  $\text{B}_2\text{O}_3$ , which was used during experiments, were given in **Table 1**. Metallic magnesium reductant was 99.7 % pure and its sieve analysis was shared in **Table 2**.



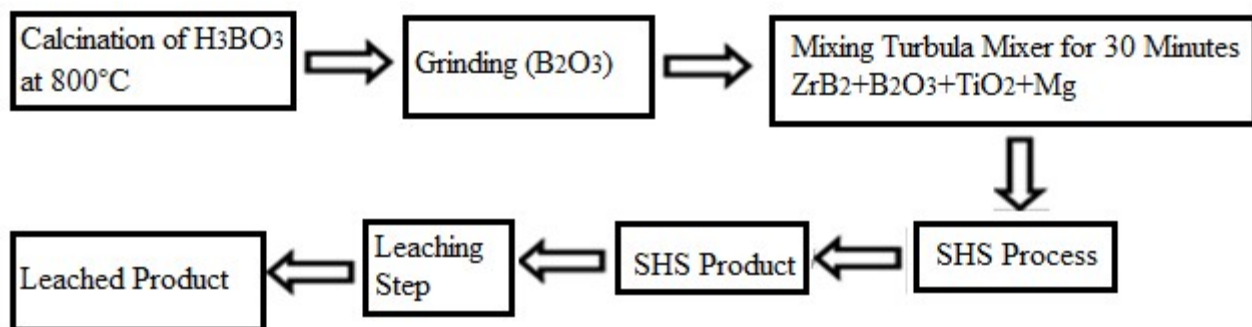
**Table 1.** Impurities in B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, which was used in SHS experiments.

Fe	Ca	Mg	Ni	Co	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
105 ppm	1485 ppm	507 ppm	45 ppm	58 ppm	1.2 %

**Table 2.** Sieve analysis of magnesium powder, which was used as reductant.

Size range, $\mu\text{m}$	Weight, %
+ 500	0.19
-500 +250	0.00
-250 +150	0.39
-150 +106	18.18
-107 +75	37.55
-75 +53	20.16
-53 +45	12.55
-45	11.26

PANalytical PW3040 / 60 brand X-ray analyzer was used to determine phases contained in the SHS products. X-ray analysis was performed at a scan angle range of 20° to 90° for each sample. Prior to the SHS experiments, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Mg powders were weighted in various stoichiometries. These powders were dried at 100 °C then the blends were mixed in a turbular mixer for 15 min to prepare initial powder mixtures. The powder mixtures were compacted after charging in a copper crucible. W resistance wire was placed on the mixture surface and the crucible was closed by using a graphite lid. Then, reactions were initiated by passing electricity through the wire. After, SHS reactions finished, sponge like sintered green product was obtained. Increase in the quantity of magnesium resulted in the evaporation of magnesium due to overheat that was generated by the increase in specific heat value of reduction reaction. The increase in the addition of boron oxide resulted in the increase in magnesium boride formations. The block diagram of experiments was given in **Figure 4** and initial conditions of experiments were given in **Table 3**.



**Figure 4.** Block diagram of SHS experiments.

**Table 3.** Compositions of SHS reactant mixtures.

Exp. No	Aimed composite ratio, wt. %	Component, g			
		ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mg
1	90 ZrB <sub>2</sub> – 10TiB <sub>2</sub>	23.20	2.96	41.90	31.92
2	80 ZrB <sub>2</sub> – 20 TiB <sub>2</sub>	20.64	5.92	40.12	33.33
3	70 ZrB <sub>2</sub> – 30 TiB <sub>2</sub>	18.04	8.89	38.32	34.31
4	60 ZrB <sub>2</sub> – 40 TiB <sub>2</sub>	15.46	11.85	36.53	36.14
5	50 ZrB <sub>2</sub> – 50 TiB <sub>2</sub>	12.89	14.82	34.74	37.54
6	40 ZrB <sub>2</sub> – 60 TiB <sub>2</sub>	10.31	17.78	32.94	38.95
7	30 ZrB <sub>2</sub> – 70 TiB <sub>2</sub>	7.73	20.74	31.20	40.40
8	20 ZrB <sub>2</sub> – 80 TiB <sub>2</sub>	5.15	23.71	29.30	41.70
9	10 ZrB <sub>2</sub> – 90 TiB <sub>2</sub>	2.57	26.67	27.57	43.16

Akkas et al. investigated the SHS of ZrB<sub>2</sub>. They conducted the experiments to understand the effects of the initial molar ratios of Mg and B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the SHS experiments and the effects of temperature, duration, solid / liquid ratio and acid concentration on leaching experiments. They determined the optimum SHS ZrB<sub>2</sub> production condition as ZrO : Mg : B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1 : 3 : 6) molar ratio using 1.88 M HCl solution at 1 / 20 = S / L ratio at 80 °C for 60 min [20]. Turan et al. reported optimum titanium diboride production conditions via SHS process as 20 g of milled SHS products were leached in HCl media under experimental conditions as HCl concentration of 9.3 M and solid / liquid ratio of 1 / 5 at room temperature. Detailed information concerning the leaching conditions can be found elsewhere [21]. According to these data, nine initial SHS mixtures were prepared at the different ratios of TiB<sub>2</sub> and ZrB<sub>2</sub> from 90 % ZrB<sub>2</sub> – 10 % TiB<sub>2</sub> to 10 % ZrB<sub>2</sub> – 90 % TiB<sub>2</sub> (Table 3).

#### 4. Results and discussion

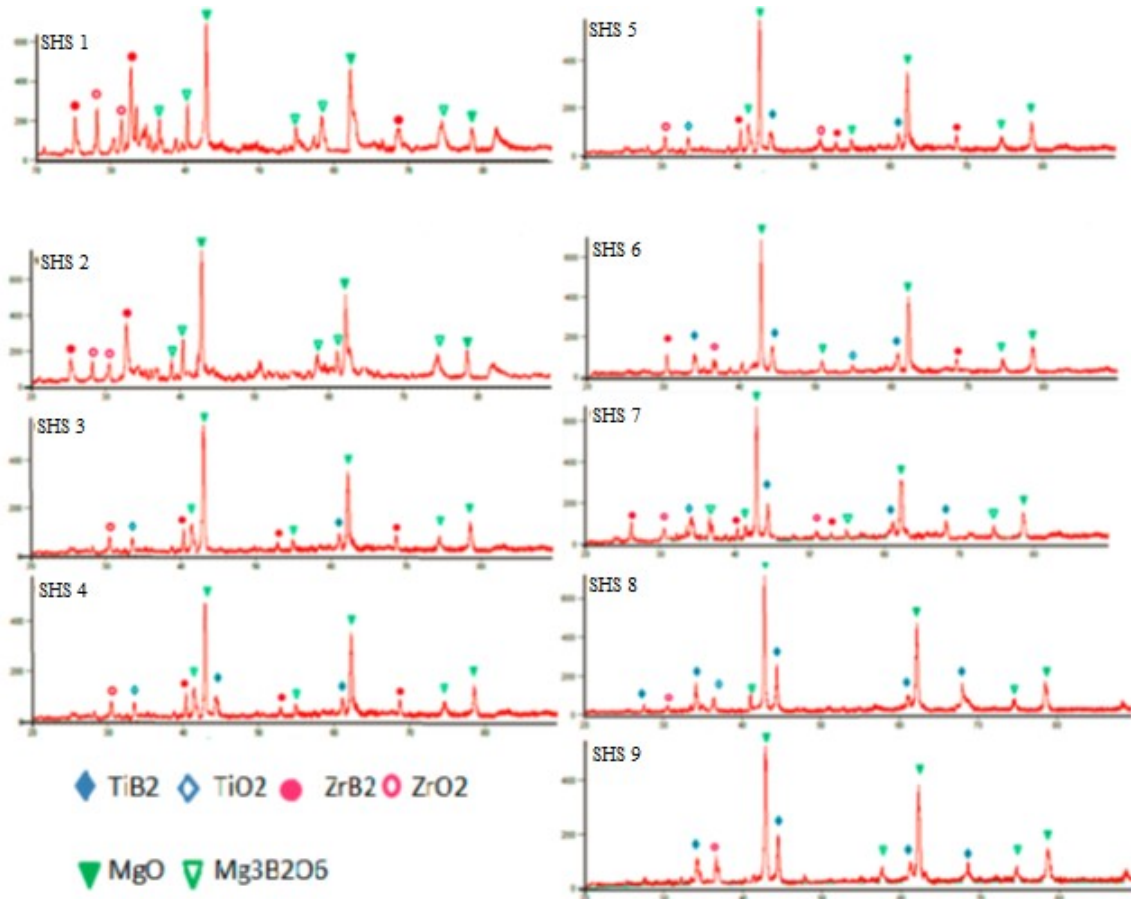
The product weights of reaction products of the different ratios used in the SHS process were given in Table 4.

**Table 4.** SHS product weights.

Exp. No.	Aimed composite ratio, wt. %	Initial total wt., g.	Final product wt., g.
1	90 ZrB <sub>2</sub> – 10 TiB <sub>2</sub>		90.0
2	80 ZrB <sub>2</sub> – 20 TiB <sub>2</sub>		90.3
3	70 ZrB <sub>2</sub> – 30 TiB <sub>2</sub>		71.9
4	60 ZrB <sub>2</sub> – 40 TiB <sub>2</sub>		71.8
5	50 ZrB <sub>2</sub> – 50 TiB <sub>2</sub>	100	91.2
6	40 ZrB <sub>2</sub> – 60 TiB <sub>2</sub>		94.9
7	30 ZrB <sub>2</sub> – 70 TiB <sub>2</sub>		57.0
8	20 ZrB <sub>2</sub> – 80 TiB <sub>2</sub>		97.5
9	10 ZrB <sub>2</sub> – 90 TiB <sub>2</sub>		60.3



All of the products obtained as a result of SHS experiments are black-spongy. Mainly TiB<sub>2</sub>, ZrB<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, MgO and Mg<sub>3</sub>B<sub>2</sub>O<sub>6</sub> phases were detected in the structures. **Figure 5** gives the X-ray patterns of products formed according to initial ratios. When XRD patterns of SHS products were examined, TiB<sub>2</sub> phase was not observed in samples with small amounts of TiO<sub>2</sub> (10 and 20 wt. %) in the initial composition. ZrB<sub>2</sub> phase was not detected in the samples with the same amount of ZrO<sub>2</sub>. **Table 5** shows ratios by weight and the phases detected.



**Figure 5.** XRD patterns of SHS products. Experiments 1 – 9.

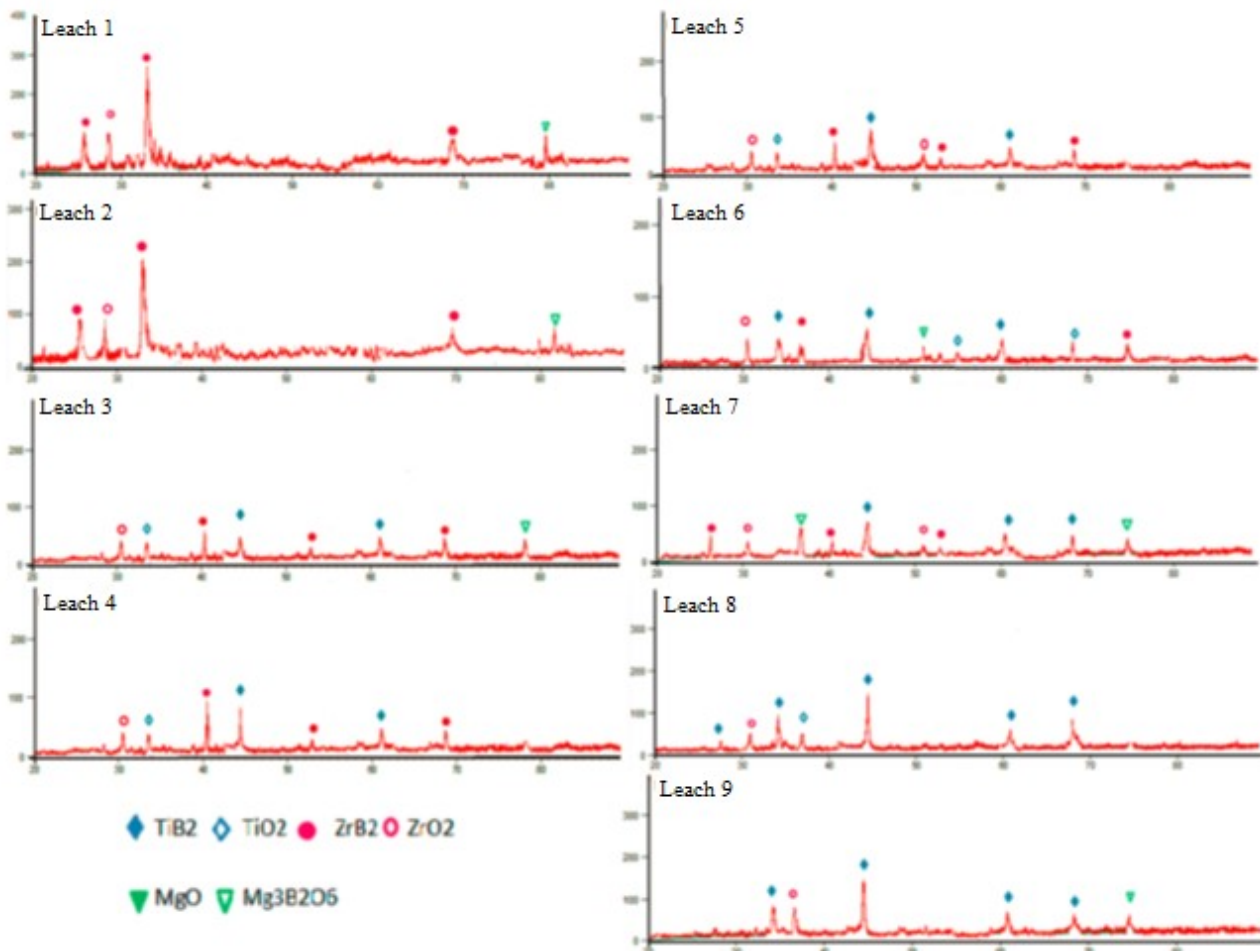
**Table 5.** Phases in SHS products detected by using XRD.

Exp. No.	Composite ratio, wt. %	Phases
1	90 ZrB <sub>2</sub> – 10 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO
2	80 ZrB <sub>2</sub> – 20 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO
3	70 ZrB <sub>2</sub> – 30 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO
4	60 ZrB <sub>2</sub> – 40 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO
5	50 ZrB <sub>2</sub> – 50 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO
6	40 ZrB <sub>2</sub> – 60 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO
7	30 ZrB <sub>2</sub> – 70 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO
8	20 ZrB <sub>2</sub> – 80 TiB <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO
9	10 ZrB <sub>2</sub> – 90 TiB <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO

Leaching experiments were carried out using HCl acid solution to obtain zirconium diboride and titanium diboride powder purified from the powder mixture obtained by the SHS method. The experiments were carried out in one step with 10 g samples. The amounts of products left in the filter cake after leaching were showed in **Table 6**. The results of X-ray analysis on the remaining filter cake after leaching were given in **Figure 6**.

**Table 6.** Weights of filter cakes.

Exp. No.	Filter cake, g.
1	6.22
2	5.62
3	6.14
4	3.37
5	7.96
6	7.34
7	7.85
8	7.91
9	7.77



**Figure 6.** XRD patterns of filter cakes.

When the XRD patterns of the filter cakes were examined, it was observed that the magnesium oxide, which was present in all samples, was eliminated as a result of the dissolution with HCl acid at 80 °C for 60 min. It has been found that only trace amounts of magnesium borate (Mg<sub>3</sub>B<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), which is another impurity present in the structure, were largely eliminated and trace amounts remained in some samples. It was observed that the ZrB<sub>2</sub> phase did not occur in the samples, where the amount of ZrO<sub>2</sub> was low (10 – 20 % ZrO<sub>2</sub> addition experiment). In addition, ZrO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> were detected in trace amounts in the final products. **Table 7** shows the phases detected by means of XRD on the filter cakes after leaching. **Table 8** presents chemical analysis of 4, 5 and 6 experiments.

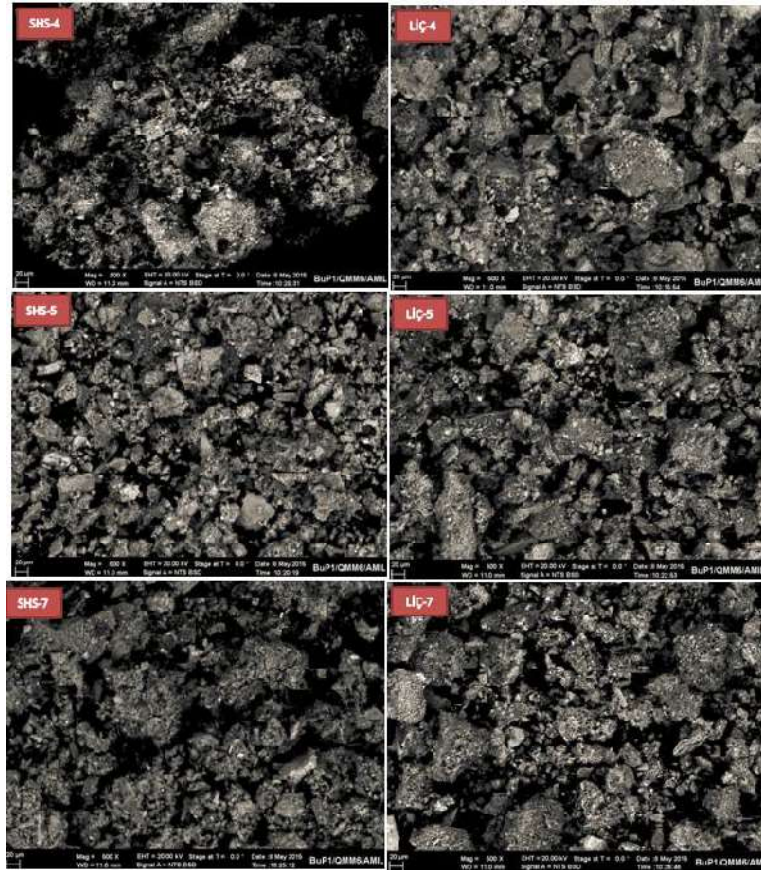
**Table 7.** Phases in filter cakes detected by using XRD.

Exp. No.	Composite ratio, wt. %	Phases
1	90 ZrB <sub>2</sub> – 10 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
2	80 ZrB <sub>2</sub> – 20 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
3	70 ZrB <sub>2</sub> – 30 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
4	60 ZrB <sub>2</sub> – 40 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub> , MgO
5	50 ZrB <sub>2</sub> – 50 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub>
6	40 ZrB <sub>2</sub> – 60 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
7	30 ZrB <sub>2</sub> – 70 TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub> , ZrO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
8	20 ZrB <sub>2</sub> – 80 TiB <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub>
9	10 ZrB <sub>2</sub> – 90 TiB <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub> , TiB <sub>2</sub> , Mg <sub>3</sub> B <sub>2</sub> O <sub>6</sub>

**Table 8.** Chemical analysis results of filter cakes.

Exp. No.	% Ti	% Zr	% B	% Mg
4	30.56	38.55	23.28	0.14
5	32.85	34.04	24.67	0.01
6	34.20	30.20	17.52	0.12

It can be easily understood from the XRD patterns that the samples having the optimum conditions have removed the majority of the impurities containing MgO and Mg<sub>3</sub>B<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. The samples, numbered 4 and 5, have little amounts of TiO<sub>2</sub> and ZrO<sub>2</sub>. SEM micrographs of the SHS products and the leached filter cakes were taken for experiments 4, 5 and 5. The SEM micrographs in question were given in **Figure 7**. According to **Figure 7**, SHS experiments samples have 48 µm particle sizes. Than leaching step was applied and particle size of sample reduced to sub micron scale.



**Figure 7.** SEM micrographs of selected SHS products (left) and filter cakes (right).

## 5. Conclusions

As a result of SHS experiments, it was observed that  $ZrB_2$  and  $TiB_2$  phases were not synthesized in the samples containing very low amount of  $ZrO_2$  and  $TiO_2$  in their initial raw materials, respectively. According to XRD results SHS products consisted of  $ZrB_2$ ,  $TiB_2$ ,  $MgO$ ,  $Mg_3B_2O_6$  phases. Moreover, there were unreacted  $ZrO_2$  and  $TiO_2$  phases remaining in low amounts as well. The undesired  $MgO$  and  $Mg_3B_2O_6$  structures in the SHS product were removed by leaching at  $80\text{ }^\circ\text{C}$  with  $HCl$  acid for 60 min. It was observed that the experiment, which was conducted to synthesize 50 %  $ZrB_2$  – 50 %  $TiB_2$  containing composite powder gave the most acceptable result.

## References

1. R. Telle, L. S. Sigl, K. Takagi. Ch. 7: Boride-based hard materials. In: Handbook of Ceramic Hard Materials (Ed. R. Riedel), 2000, Weinheim, Wiley–VCH, 802-845.
2. F. Habashi. Boron. In: Handbook of Extractive Metallurgy, 4, 1997, New York Wiley–VCH.
3. R. A. Cutler. Engineering properties of borides. In: ASTM Engineered Materials Handbook (4th Ed.), 1991, 787-803.
4. E. Karadayı. Production of Boron Carbide and Characterization, 2008.

5. M. Maraslioglu. Production of Titanium Diboride (M.Sc. Thesis), 2005, Gazi Univ.
6. Ed. A. W. Weimer. Carbide, Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing, 1997, London, Chapman & Hall.
7. T. B. Massalski, H. Okamoto, P. R. Subramanian, L. Karcprzak. Binary Alloy Phase Diagrams, 1990, ASM Int.
8. E. Bilgi, H. E. Camurlu, B. Akgun, Y. Topkaya, N. Sevinc. Formation of TiB<sub>2</sub> by volume combustion and mechanochemical process. Mater. Res. Bull., 2008, 43, 873-881.
9. R. G. Munro. Material properties of titanium diboride. J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol., 2000, 105, 709-720.
10. S. H. Kang, D. J. Kim. Synthesis of nano-titanium diboride powders by carbothermal reduction. J. Eur. Ceram. Soc., 2007, 27, 715-718.
11. K. Kurtoglu. M.Sc. Thesis, 2007, Istanbul Tech. Univ.
12. U. Demircan. M.Sc. Thesis, 2004, Istanbul Tech. Univ.
13. O. Odabas, M. Bugdayci, S. Kan, O. Yucel. Investigation of NiB master alloy production via SHS method. In: 14th Int. Symp. SHS (Abs. Book), 2017, Tbilisi, Georg. Natl. Acad. Press, 182-182.
14. W.-M. Tang, Zh.-X. Zheng, Y.-Ch. Wu, J.-M. Wang, J. Lu, J.-W. Liu. Synthesis of TiB<sub>2</sub> nanocrystalline powder by mechanical alloying. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 2006, 16, 613-617.
15. Y. Hwang, J. K. Lee. Preparation of TiB<sub>2</sub> powders by mechanical alloying. Mater. Lett., 2002, 54, 1-7.
16. J. Schmidt, M. Boehling, U. Burkhardt, Y. Grin. Preparation of titanium diboride TiB<sub>2</sub> by spark plasma sintering at slow heating rate. Sci. Technol. Adv. Mater., 2007, 8, 376-382.
17. L. Baca, N. Stelzer. Adapting of sol-gel process for preparation of TiB<sub>2</sub> powder from low-cost precursors. J. Eur. Ceram. Soc., 2008, 28, 907-911.
18. P. Li, Y. Wu, X. Liu. Controlled synthesis of different morphologies of TiB<sub>2</sub> microcrystals by aluminum melt reaction method. Mater. Res. Bull., 2013, 48, 2044-2048.
19. M. Alkan, M. S. Sonmez, B. Derin, O. Yucel. Effect of initial composition on boron carbide production by SHS process followed by acid leaching. Solid State Sci., 2012, 14, 1688-1691.
20. B. Akkas, M. Alkan, B. Derin, O. Yucel. Production of zirconium diboride powder by self propagating high temperature synthesis. Adv. Sci. Technol., 2010, 63, 251-256.
21. A. Turan, M. Bugdayci, O. Yucel, Self-propagating high temperature synthesis of TiB<sub>2</sub>. High Temp. Mater. Proc., 2015, 34, 185-193.



## ФОРМИРОВАНИЕ ДИСЛОКАЦИОННОЙ РОЗЕТКИ В КРИСТАЛЛАХ LiF ПРИ МИКРОИНДЕНТИРОВАНИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

М. Галусташвили, М. Абрамишвили, Д. Дриаев, В. Квачадзе, С. Цакадзе

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

Принята 28 мая 2018 года

### Аннотация

В кристаллах LiF наблюдалось изменение диаметра отпечатка индентора и длины лучей дислокационной розетки при экспозиции в сильном электрическом поле. Представленные результаты свидетельствуют о том, что в щелочногалоидных кристаллах реализуется дислокационный механизм массопереноса.

Нет единого и сложившегося мнения о механизме формирования отпечатка при индентировании кристалла. Наряду с традиционными представлениями, что деформация кристалла под воздействием индентора является следствием развития высокоплотной дислокационной структуры [1], существует мнение, что массоперенос на начальной стадии индентирования может быть обусловлен точечными дефектами (вакансиями или межузельными атомами) [2].

Ранее, при рассмотрении микромеханизмов образования отпечатка при индентировании ионных кристаллов, нами был сделан вывод, что участие в массопереносе межузельных атомов не может обеспечить наблюдаемую на опыте высокую скорость деформирования; такие большие скорости возможны только при скольжении дислокаций. Наиболее вероятным механизмом массопереноса при индентировании является зарождение под индентором межузельных призматических дислокационных петель и их дальнейшее движение в объем кристалла [3].

Настоящая работа является продолжением этих исследований и мы привлекаем такой немаловажный и отличительный параметр щелочногалоидных кристаллов, как заряд дислокаций.

В ионных кристаллах дислокации несут электрический заряд, знак и величина которого зависят от примесного состава и температуры кристалла, а также от скорости движения дислокаций (динамический заряд) и времени после прекращения их движения (статический заряд) [4]. Внешнее электрическое поле воздействует на движение дислокаций и, таким образом, влияет на те физические параметры, которые определяют упругопластические и силовые характеристики ионных кристаллов [5].

Для исследования были выбраны два типа кристаллов LiF, отличающихся знаком заряда дислокаций. Линейная плотность дислокационного заряда, предел текучести и микротвердость исследуемых кристаллов приведены в **Таблице 1**.

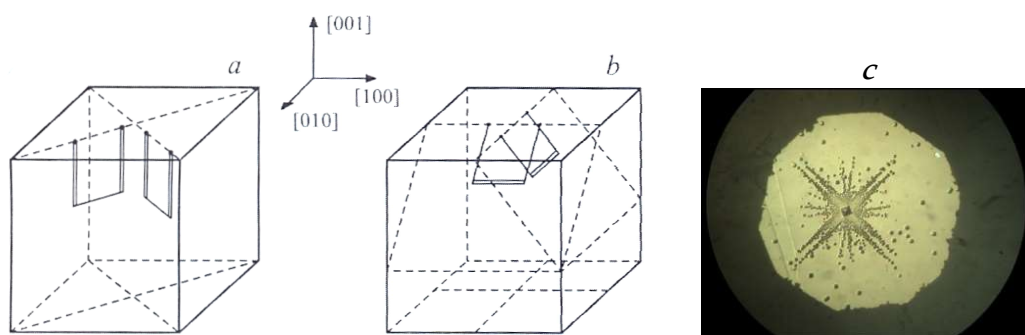
Таблица 1. Свойства исследованных образцов.

Образцы	Предел текучести $\sigma$ , МПа	Микротвердость $H$ , ГПа	Линейная плотность заряда дислокаций $q$ , Кул / м
LiF-1	5.0	1.50	$+ 2 \cdot 10^{-11}$
LiF-2	7.4	1.75	$- 1 \cdot 10^{-11}$

В экспериментах использовался микротвердомер ПМТ-3 с приспособлением для приложения высокого электрического поля. Как правило, в подобных экспериментах применяется однородное электрическое поле, вектор напряженности  $E$  которого параллелен или перпендикулярен индентируемой поверхности образца [6]. В такой схеме в некоторых плоскостях скольжения отсутствует составляющая поля  $E$ , на которую реагирует краевая часть дислокационных петель, образующихся при локальной деформации (известно, что винтовые дислокации заряда не несут [4]). В наших экспериментах электрическое поле создавалось между стальным индентором, к которому прикладывалось положительное напряжение ( $U = 3.5$  кВ), и нижней (заземленной) поверхностью образца. Индентором служил стальной конус, с вершиной в виде сферического сегмента высотой 60 и радиусом кривизны 140 мкм. Такая геометрия позволяла формировать очень сильное неоднородное электрическое поле в локальной области кристалла непосредственно под индентором ( $E \approx 40$  кВ / см). И главное, что составляющая  $E$  присутствовала во всех плоскостях скольжения.

Образцы размером  $10 \times 10 \times 1$  мм<sup>3</sup> выкалывались по плоскостям спайности {100}. Широкой гранью образец помещался на напыленную серебром керамическую подложку, которая заземлялась. Уколы индентором наносились на противоположную верхнюю грань (001) при нагрузке на индентор  $P = 0.5$  Н. Поле включалось в момент, когда индентор касался образца.

Схема дислокационных петель, возникающих в плоскостях скольжения при индентировании грани (001) кристалла LiF, представлена на **Рисунке 1**. Диагональные «краевые» лучи розетки  $I_1$  (вдоль  $\langle 110 \rangle$ ) и короткие «винтовые» лучи  $I_2$  (вдоль  $\langle 100 \rangle$ ) и представляют собой выходы на поверхность краевых и винтовых составляющих дислокационных полупетель в плоскостях скольжения  $\{110\}_{45}$  и  $\{110\}_{90}$ , соответственно [1].

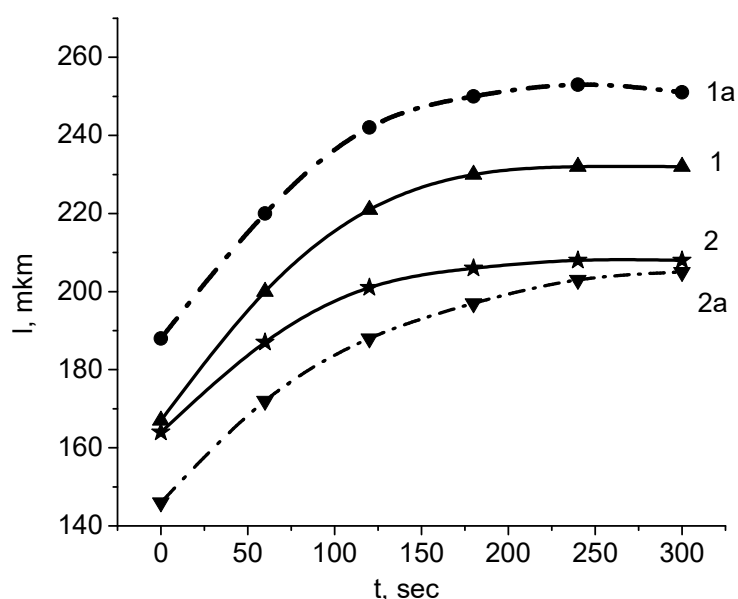


**Рисунок 1.** Расположение дислокационных петель, возникающих в плоскостях скольжения при уколе индентора в грань (001) кристалла LiF:  $a - \{110\}_{90}$  и  $b - \{110\}_{45}$ . Краевые компоненты петель отмечены двойной линией. Снимок  $c$  иллюстрирует картину травления вокруг индентора.

Линейную плотность дислокационного заряда измеряли по разработанному нами методу [7]; параметры дислокационной розетки вокруг отпечатка индентора (диагональ и глубина отпечатка, длина краевых и винтовых дислокационных лучей) определяли после химического травления образца с помощью оптического микроскопа. Каждая экспериментальная точка получена путем усреднения результатов 20 уколов индентором. Относительная ошибка не превышала 5 %.

Были проведены две серии экспериментов:

1. Измерялась зависимость диаметра отпечатка индентора и длины лучей  $l_1$  и  $l_2$  розетки от продолжительности нагружения.
2. Эти же измерения проводились при приложении к образцу одновременно с механической нагрузкой электрического поля.



**Рисунок 2.** Зависимость длины краевых лучей дислокационной розетки от времени воздействия нагрузки на индентор для LiF-1 (кривые 1 и 1a) и LiF-2 (кривые 2 и 2a). Кривые 1 и 2 без поля, 1a и 2a – с полем. Нагрузка на индентор  $P = 0.5$  Н.

Зависимости длины  $l_1$  краевых лучей дислокационной розетки от времени ( $t$ ) воздействия нагрузки на индентор в электрическом поле и без него показаны на **Рисунке 2** для кристаллов LiF-1 (кривые 1 и 1a) и LiF-2 (кривые 2 и 2a). Длина лучей  $l_1$  в поле возрастает при положительном (кривая 1a) и уменьшается при отрицательном (кривая 2a) заряде дислокаций. Величина эффекта составляет 13 и 11 %, соответственно (изменение  $l_2$  под действием электрического поля было незначительным, на уровне погрешности).

Очевидно, что изменение  $l_1$  связано с непосредственным воздействием внешнего электрического поля на зарождающиеся под индентором и заряжающиеся при движении краевые компоненты петель; в наших экспериментах для положительно заряженной дислокации составляющие механических и электрических сил в плоскостях скольжения имеют одно и то же направление, и они складываются, а для отрицательно заряженных дислокаций, напротив – вычитаются.



Как показали эксперименты, электрическое поле влияет также и на размер отпечатка и, следовательно, на эффективную микротвердость: диаметр отпечатка увеличивается, когда заряд дислокации положителен и уменьшается, когда он отрицательный; разница составляет около 8 %.

Зависимость  $l_1$  с течением времени ( $t$ ) приложения нагрузки выходит на насыщение, и чем тверже кристалл, тем быстрее происходит этот процесс. Временная зависимость эффекта поля на разных типах кристаллов также различна: в случае более твердых кристаллов (LiF-2 с отрицательным дислокационным зарядом) эффект поля через 300 с исчезает. Что же касается «мягких» кристаллов (LiF-1 с положительным дислокационным зарядом), то разница в длине дислокационных лучей, вызванная приложенным полем, практически не изменяется во времени, по крайней мере, за контролируемый нами период.

Длина дислокационного луча розетки определяется расстоянием от центра отпечатка до лидирующей дислокации, положение которой определяется равенством движущей силы (механической и электрической), действующей на нее во внешних полях, и силой сопротивления, определяемой свойствами кристаллической решетки. Из результатов, представленных на **Рисунке 2**, следует, что вклад электрической силы, в случае кристаллов с положительными дислокациями, со временем не изменяется, тогда как в случае отрицательных дислокаций сходит на нет. Выяснение причин такого поведения требует отдельной разработки и выходит за рамки данной работы.

Таким образом, полученные результаты показывают изменение параметров розетки вокруг отпечатка при индентировании кристалла в электрическом поле и свидетельствуют в пользу представлений, что деформация кристалла под воздействием сосредоточенной нагрузки происходит путем зарождения под индентором межузельных призматических дислокационных петель и их дальнейшего скольжения в объем кристалла.

### Ссылки

1. Ю. С. Боярская, Д. З. Драбо, М. С. Кац. Физика процессов микроиндентирования. 1986, Кишинев, 294 стр.
2. Ю. И. Головин, А. И. Тюрин. Пис. ЖЭТФ, 1994, 60, 722.
3. З. К. Саралидзе, М. В. Галусташвили, Д. Г. Дриаев. ФТТ, 2006, 48, 1229.
4. R. Whitworth. Adv. Phys., 1975, 24, 203.
5. Н. А. Тяпунина, Е. П. Белозерова. УФН, 1988, 156, 683.
6. Н. В. Загоруйко, В. И. Савенко, Н. Н. Беккауер. Пис. ЖЭТФ, 1971, 14, 283.
7. M. V. Galustashvili, D. G. Driaev, I. A. Politov, Z. K. Saralidze. Phys. Status Solidi A, 1989, 14, 99.

## INVESTIGATION AND THERMAL BEHAVIOUR OF DOUBLE CONDENSED COMPOUNDS OF GALLIUM, SCANDIUM, AND SILVER

M. Avaliani

R. Agladze Institute of Inorganic Chemistry & Electrochemistry  
I. Javakhishvili Tbilisi State University  
Tbilisi, Georgia  
avaliani21@hotmail.com

Accepted November 9, 2017

### Abstract

The work presents the result of experiments on synthesis, investigation and thermal behavior of a new compounds – double condensed phosphates, concretely: acidic di- and triphosphates of gallium–silver and scandium–silver,  $\text{AgSc}(\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7)_2$ ,  $\text{AgScHP}_3\text{O}_{10}$  and  $\text{AgGaHP}_3\text{O}_{10}$ , and double cyclotetraphosphates of mentioned metals,  $\text{AgScP}_4\text{O}_{12}$  and  $\text{AgGaP}_4\text{O}_{12}$ , obtained by us during investigation of polycomponent systems. The systems  $\text{M}^{\text{II}}\text{O}-\text{M}^{\text{III}}_2\text{O}_3-\text{P}_2\text{O}_5-\text{H}_2\text{O}$  were studied in the temperature range from 130 to 250 °C. The method (so-called Acad. I. V. Tananaev's method) of synthesis of double phosphates from solution-melts of phosphoric acids was applied. It was established the crystallization ranges of some condensed phosphates of scandium–silver and gallium–silver and found the thermal behavior of the synthesized compounds via thermogravimetric investigation.

### 1. Introduction

Many original studies in the field of phosphate's chemistry, notably in the field of chemistry of condensed phosphates of rare earths metals have begun in the 19th c. Later, the German school of chemistry has been very forceful and dynamic in the domain of condensed phosphates. Starting from the pioneer works of scientists a lot of number of condensed compounds, in fact – inorganic polymers were synthesized in the world; a great number of innovative researches in 20th c. are really valuable and were appreciated [1 – 7]. Among a variety of processes of condensation of phosphoric anions one of them leads to the prearrangement of cyclic, oligomeric or polymeric structures of condensed phosphates [2, 7].

Above all, chemistry of condensed phosphates advanced much rapidly for the causes of the development of advanced methods of analysis and of the important application of phosphates materials in several technical domains, including nanotechnologies. The chemistry of inorganic compounds of phosphorous has advanced intensively in the last time also for the purpose that condensed compounds of phosphorus are greatest applicable, useful and convenient to promote development of the chemistry of inorganic polymers, and last but not least – they are reasonably presumed as best fertilizers, detergents and as materials used in engineering, construction and other areas, such as raw materials for creation of phosphates

glasses, thermo-resistant constituents, effective applying nourishments, cleaners, cement substances, ion-exchange ingredients and also catalytic agents [1, 6, 7]. The composition and thermal properties, as well as the vibrational and luminescent properties of condensed compounds determine their use in quantum electronics. The biomaterials appear on the base of hydroxiapatite and polyphosphates much rapidly for the causes of the development of advanced methods of analysis and of the significant application of phosphates materials in several technical domains, including nanotechnologies.

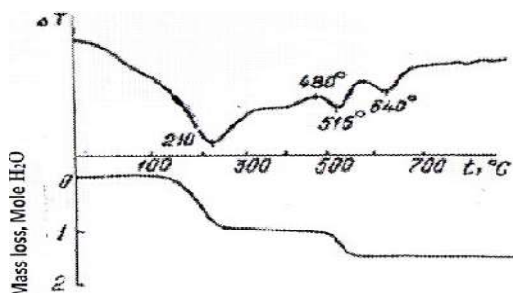
## 2. Experiments

Last decades we reported about our studies in the open systems  $M^I_2O-M^{III}_2O_3-P_2O_5-H_2O$  in the temperature range 130 – 550 °, where  $M^I$  is an alkali metal or silver, and  $M^{III}$  is Ga, In or Sc [1, 6, 8 – 11]. Various experiments revealed that by crystallization from melts of polyphosphoric acids the following double condensed compounds (namely the series of new inorganic polymers) were obtained: double condensed di- and triphosphates, cyclotetraphosphates, cyclooctaphosphates, cyclododecaphosphates, at the molar ratio  $P_2O_5 : M^I_2O : M^{III}_2O_3 = 15 : 2.5 : 1.0; 15 : 5 : 1.0; 15 : 7.5 : 1.0; 15 : 10 : 1.0$  [10 – 13] and  $15 : 3.5 : 1.5; 15 : 5 : 1.5; 15 : 6 : 1.5; 15 : 7.5 : 1.5; 15 : 8.5 : 1.5; 15 : 12 : 1.5$  [13 – 14]. Obtained condensed phosphates were examined in details by thermogravimetric analysis.

The thermogravimetric analysis was performed by DTA using Q1500–D derivatograph with heating rate of 10 °C / min. in air atmosphere and up to maximal temperature of 800 °C (sometimes to 1100 °C). Some compounds were examined by paper chromatography and the phases were identified by X-ray phase analysis – results will be presented in the work [15].

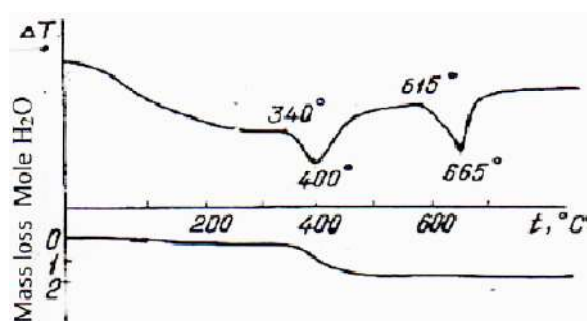
## 3. Results and discussions

The obtained data are the result of thermal studies of synthesized condensed phosphates. The thermogravimetric investigation of the acidic double condensed triphosphate  $AgScHP_3O_{10}$  obtained at 155 °C and molar ratio  $Ag_2O : Sc_2O_3 = 5$  (6; 6.5) was revealed two endothermic effects: I at temperature 200 – 210 °C, which corresponds to the elimination of crystallization water and II at 470(480) – 515 °C, which apparently corresponds to the detachment of chemically allied water (mass loss at mentioned temperatures see in **Figure 1**), the III effect at 530 – 540 °C links to the melting process of tetraphosphate according to the scheme:  $2AgScHP_3O_{10} \cdot 0.5H_2O - 2H_2O \rightarrow AgScP_4O_{12} + AgScP_2O_7$ .



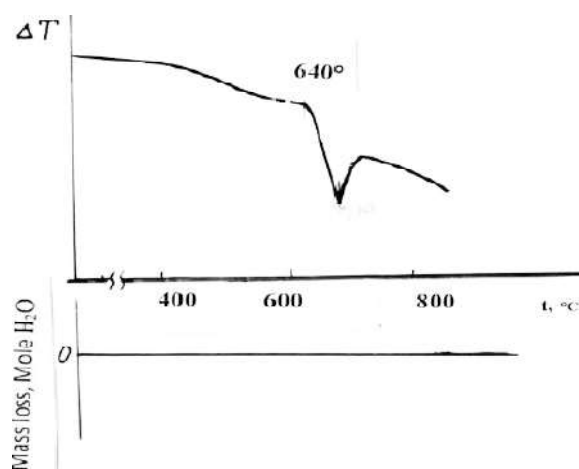
**Figure 1.** Thermogram of  $AgScHP_3O_{10} \cdot (0.5-1.0)H_2O$ .

The examination of the acidic double diphosphate of scandium and silver  $AgSc(H_2P_2O_7)_2$  (**Figure 2**) synthesized at 155 – 165 °C at the molar ratio  $Ag_2O : Sc_2O_3 = 7.5$  (8 – 10) prove the evidence of the decomposition by the scheme:  $AgSc(H_2P_2O_7)_2 - 2H_2O \rightarrow AgScP_4O_{12}$ .



**Figure 2.** Thermogram of acidic diphosphate of scandium-silver  $\text{AgSc}(\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7)_2$ .

Thermogravimetric study of the obtained double cyclotetraphosphate of scandium-silver  $\text{AgScP}_4\text{O}_{12}$  indicates that there is no mass loss. Endothermic effect at 625 – 640 °C shows the melting / decomposition of the compound according to the following scheme:  $\text{AgScP}_4\text{O}_{12}$  (630 – 640 °C)  $\rightarrow$   $\text{AgScP}_2\text{O}_7$  + polyphosphoric acids melts (**Figure 3**).



**Figure 3.** Thermogram of double cyclotetraphosphate of scandium-silver  $\text{AgScP}_4\text{O}_{12}$ .

The most stable phase is at relatively low temperatures from 130 – 150 °C, and even up to 165 – 170 °C. Taking into account the circumstance that the arrangement of cations Ag-Sc for double and triphosphates (in other words, typical X-ray images from single crystalline areas of double oligophosphates of scandium-silver samples) have not been reported in details and hence are not given in the database of file index for Testing and Materials (American Society for Testing and Materials – ASTM), our X-ray data was compared to similar compounds of Ag-P and our standard data models for similar double condensed phosphates of gallium, indium, and scandium with alkali metals. In analyzed samples, there are not revealed any initial components:  $\text{M}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AgNO}_3$  and / or their hydrates, as such they are already completely irreversibly reacted during synthesis process. Based on found and pursuant literature data [1 – 7] and also our synthesis conditions, experiences in this field, and to our standard data models [11, 13 – 16], the compounds structural composition will set up in our work [15]. Phases' identification was given in accordance with standard data of the ASTM's International Center for Diffraction Database.

#### 4. Conclusions

Comparing the results of double phosphates of scandium, gallium, and indium and alkali metals with literature data, we conclude that condensed compounds of scandium-silver, according to their composition and structure, coincide with phosphates of Ga-Na and Sc-Na and / or Ga-K, and are not similar to corresponding compounds of rare earth elements.

## Acknowledgments

Finally, we would like to express our gratitude to our colleagues: D. Dzanashvili, M. Gvelesiani, N. Barnovi, E. Shoshiashvili for assistance in the work.

## References

1. I. V. Tananaev. Pure & Appl. Chem., 1980, 52, 1099.
2. M.-Th. Averbuch–Pouchot, A. Durif. Topics in Phosphate Chemistry, 1996, Singapore, World Scientific.
3. A. Durif. Solid State Sci., 2005, 7, 760.
4. E. V. Murashova, N. N. Chudinova. Inorg. Mater., 2001, 37, 1521.
5. I. Grunze, N. N. Chudinova, X. Grunze. Inorg. Mater., 1989, 25, 886.
6. Ed.-in-Ch. I. V. Tananaev. silicates, germinates, phosphates, arsenates, vanadates. In: Less-Common Element Chemistry. Rare-Earth Element Chemistry (Monograph), 1988. Int. Union Pure & Appl. Chem.
7. A. Durif. Crystal Chemistry of Condensed Phosphates. 2013, Dordrecht, Springer Sci.
8. I. V. Tananaev, M. A. Avaliani. Synthesis of condensed indium phosphates in polyphosphoric acid melts. In: Inorganic Materials, 1977, New York, Spring ST, 233.
9. M. A. Avaliani, N. N. Chudinova, I. V. Tananaev. Condensed sodium–indium phosphates. Proc. Acad. Sci. USSR, 1984 – www.inis.iaea.org.
10. N. N. Chudinova, I. Grunze, L. S. Guzeeva, M. A. Avaliani. Synthesis of double condensed cesium gallium phosphates. Inorg. Mater., 1987 – www.osti.gov.
11. M. A. Avaliani. Synthesis and Characterization of Gallium Indium Condensed Phosphates (PhD Dissertation), 1982, Moscow, N. Kurnakoff Inst. General & Inorg. Chem., 185.
12. M. Avaliani, M. Gvelesiani. Areas of crystallization of condensed scandium and cesium phosphates and regularities of their formation. Proc. Georg. Acad. Sci. (Ser. Chem.), 2006, 32, 52.
13. M. Avaliani, M. Gvelesiani, N. Barnovi, B. Purtseladze, D. Dzanashvili. New investigations of polycomponent systems. Proc. Georg. Acad. Sci. (Ser. Chem.), 2016, 42, 308.
14. M. Avaliani. Main types of condensed phosphates obtained in open systems from solution-melts of phosphoric acids. In: Abs. 4th Int. Conf. “Nanotechnologies” (Nano – 2016), 2016, Tbilisi, Tech. Univ.
15. M. A. Avaliani, D. D. Dzanashvili, N. V. Barnovi. About New Inorganic Polymers – Double Condensed Phosphates of Silver and Trivalent Metals, 2017 – *in press*.
16. M. A. Avaliani, I. V. Tananaev, M. K. Gvelesiani. Synthesis and investigation of double condensed phosphates of scandium and alkali metals. In: Abs. Synth. Chem. Phosphorus, Sulfur, Silicon & Rel. Elements. 2003 – 2011, Berlin, Fiz Chemie.

მძიმე ლითონების Zn-ისა და Cd-ის იონების ერთდროული მოქმედება  
წყალმცენარის *Sprulina platensis* ბიომასასთან კულტივირების პროცესში

ე. ლელაღუტაშვილი, ნ. ბაღდავაძე, ე. გინტური,  
ნ. კუჭავა, ა. რჩელიშვილი, ლ. ტულუში

ე. ანდრონიკაშვილის სახ. ფიზიკის ინსტიტუტი  
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
თბილისი, საქართველო

მიღებულია 2017 წლის 30 ნოემბერს

## ანოტაცია

შესწავლილია *Sprulina platensis*-ის უჯრედების მიერ ლითონების Zn-ისა და Cd-ის აკუმულირების პროცესი მკვებავ გარემოში კულტივირების პირობებში, როდესაც თითოეული მათგანის კონცენტრაცია შეადგენდა 20, 30 და 40 მგ / ლ-ს. 48 სთ-იანი კულტივირების შემდეგ გამოვლინდა წყალმცენარის მიმართ ლითონების ტოქსიკურობა, რომელიც 72 სთ-ისთვის დასრულდა ავტოლიზით. მისი გამომწვევი დოზა შეადგენდა, შესაბამისად, 4.40, 12.83 და 4.21 Zn და 0.86, 4.52 და 0.65 Cd მკგ / გ-ს მშრალი ბიომასის წონისათვის.

მძიმე და ტოქსიკური ლითონების ზემოქმედების გამოკვლევა უჯრედის სიცოცხლის უნარიანობაზე თანამედროვე ბიოქიმიური და ანალიტიკური მეთოდების გამოყენებით წარმოადგენს ერთ-ერთ პერსპექტიულ მიმართულებას სიცოცხლის შემსწავლელი მეცნიერებებისათვის (Life Sciences). ასეთი გამოკვლევების შედეგები ემსახურება მეცნიერულად დასაბუთებულ მიდგომას იმ მეთოდების შემუშავებაზე, რომლებიც მიმართულია ლითონების იონების დაბმასა და დეტოქსიკაციაზე ანდა მათი ორგანიზმიდან გამოყოფის საკითხების შესწავლაზე [1].

ცნობილია, რომ შთანთქმული ლითონების იონების ნაწილობრივი ბმა ხორციელდება სპეციალიზებული ცილებით. უჯრედის სიცოცხლის უნარიანობაზე მძიმე და ტოქსიკური ლითონების იონების გავლენის შესწავლამ აჩვენა, რომ მათი დეფიციტი იწვევს მეტაბოლიზმის მიმდინარეობის სხვადასხვა ცვლილებებს როგორც უჯრედში, ასევე – მთელ ორგანიზმში, მაშინ როდესაც ჭარბი კონცენტრაციის შემთხვევაში იონები ავლენენ ტოქსიკურ და კარცნოგენულ თვისებებს. მცენარეულ უჯრედში მძიმე ლითონების სიჭარბე ხელს უწყობს მათ ინჰიბირებას და მიტოხონდრიუმის რღვევას.

ცნობილია, რომ ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეებს შეუძლიათ დააგროვონ ზოგიერთი მძიმე და ტოქსიკური ლითონები, რომლებიც არ არიან საშიში მათი



უჯრედის სიცოცხლისთვის, მაგრამ საშიშია იმ ცოცხალი ორგანიზმებისათვის, რომლებიც ამ უჯრედებით იკვებებიან [2]. ლურჯ-მწვანე მიკროწყალმცენარე *Spirulina platensis* წარმოადგენს ცოცხალი უჯრედის პერსპექტიულ მოდელს იმ კვლევებისათვის, რომლებიც დაკავშირებულია უჯრედების და ლითონების ურთიერთქმედებასთან. მნიშვნელოვანია ის ფაქტორი, რომ ამ წყალმცენარის უჯრედის კედელი მდიდარია კათიონებით, ცილებით და ლიპიდებით, რომლებიც წარმოადგენენ ლითონების იონების ბმის ცენტრებს [3].

*Spirulina platensis*-ის უჯრედებთან ლითონების იონების ურთიერთქმედების პროცესების შესწავლა კულტივირების დინამიკაში შესაძლებელს ხდის ერთდროულად მივიღოთ ინფორმაცია მათი აკუმულირების, ინჰიბირებისა და სიცოცხლის უნარიანობის შესახებ, რაც ამტკიცებს ასეთი მეთოდების გამოყენების მიზანშეწონილობას.

წინამდებარე ნაშრომის მიზანია მძიმე ლითონების Zn-ისა და Cd-ის სხვადასხვა კონცენტრაციებით დატვირთულ მკვებავ გარემოში კულტივირებული *Spirulina platensis*-ის ბიომასით ლითონების ერთობლივი აკუმულირების პროცესის შესწავლა დინამიკაში. ბიომასის ზრდის, აკუმულირების, ინჰიბირებისა და ავტოლიზის დოზების რაოდენობრივი განსაზღვრა უზრუნველყოფილი იყო ლაბორატორიაში აპრობირებული ატომური ადსორციული ანალიზის მეთოდის გამოყენებით [4]. ექსპერიმენტში გამოყენებული ტექნიკა შეიცავდა შემდეგ მოწყობილობებს: მინიბიორეაქტორს, რომელიც შედგებოდა ოთხი 250 მლ მოცულობის მინის ცილინდრული მენზურისაგან, ლუმინისცენტური ნათურების ნაკრებისაგან, რომელიც უზრუნველყოფდა 3000 ლქ განათებას, და UVTL-12-250 ხელსაწყოს ბაზაზე შექმნილ მკვებავი გარემოს ბარბატირების მოწყობილობას, რომელიც აწვდიდა ამ გარემოს ჰაერს 2 % ნახშირბადის შემცველობით.

ექსპერიმენტი მიმდინარეობდა ოთხი მინიბიორეაქტორის გამოყენებით, რომლებშიც მოთავსდა სამუშაო მკვებავი გარემო. ის წარმოადგენდა დისტილატზე Zarruk-ის ტექნოლოგიით დამზადებულ ჰომოგენურ ხსნარს და *Spirulina platensis*-ის შტამზე IPPAS B-256 დამზადებულ *Spirulina platensis*-ის ბიომასას, რომელიც მიღებული იყო რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის ა.კ. ტიმირიაზევის სახ. მცენარეთა ფიზიოლოგიის ინსტიტუტიდან [5]. ამავე რეცეპტით ჩვენ მიერ დამზადებულ ანალოგიური შემადგენლობის 1 ლ მკვებავ გარემოს დაემატა 900 მგ სველი ჰომოგენიზირებული *Spirulina platensis* და ჩაიტვირთა ოთხი მინიბიორეაქტორის ოთხ მენზურაში 200 მლ რაოდენობით თითოეულში. მინიბიორეაქტორი 1 განეკუთვნა კონტროლს, მინიბიორეაქტორში 2 მკვებავ გარემოს დაემატა 800 Zn და 800 Cd მკგ / ლ, მინიბიორეაქტორში 3 – 1200 Zn და 1200 Cd მკგ / ლ და მინიბიორეაქტორში 4 – 1600 Zn და 1600 Cd მკგ / ლ. ექსპერიმენტის მიმდინარეობდა 6 დღეს [6].

საკვლევი ლითონების Zn-ისა და Cd-ის შემცველი ხსნარები დამზადდა მათი ნაერთების,  $ZnSO_4$ -ისა და Cd-გლიცინატის, გამოყენებით, რომელთა რაოდენობაც ზემოთ აღწერილი სამი შემთხვევისათვის, შესაბამისად, შეადგენდა: 20 – 20, 30 – 30 და 40 – 40 მკგ / ლ-ს. საკონტროლო (მკვებავი) გარემო შეიცავდა *Spirulina platensis*-ს.

ბიორეაქტორში ჩატვირთული მასალა შეიცავდა მკვებავ გარემოს, *Spirulina platensis*-ს, ბიომასას და ლითონთა შემცველი ნაერთების სუსპენზიურ ხსნარებს.

ექსპერიმენტი ტარდებოდა განუწყვეტლივი ბარბატირების, განათებისა და 32 – 34 °C ტემპერატურის პირობებში. აგრეთვე, რეგულარულად იზომებოდა სუსპენზიის pH.

საკვლევი ბიომასის ნიმუშების აღება დაიწყო ბიორეაქტორის სამუშაო რეჟიმში ჩართვიდან 24 სთ-ის შემდეგ და სრულდებოდა ყოველ 24 სთ-ში. ნიმუშები აიღებოდა ოთხივე ბიორეაქტორიდან, თითოეული 20 მლ-ის რაოდენობით, ირეცხებოდა დისტილატით და ლიოფილურად შრებოდა ლიოფილიზატორში. აწონილ მშრალ ნიმუშებში აკუმულირებული Zn-ისა და Cd-ის შემცველობა გაიზომა ატომურ აბსორბციული ანალიზის მეთოდის გამოყენებით [7].

კულტივირების მე-3, მე-4 და მე-5 დღეს პროცესები განვითარდა შემდეგნაირად, ჯერ სუსპენზიები გაუფერულდა ბიორეაქტორებში 3 და 4, შემდეგ კი – ბიორეაქტორის 2 სუსპენზიაც. კონტროლის სუსპენზია მე-6 დღესაც ინარჩუნებდა *Sprulina platensis*-ისათვის დამახასიათებელ ბუნებრივ მწვანე ფერს. ექსპერიმენტში ამ ეტაპზე ინჰიბირება მხოლოდ ვიზუალურად დაიმზირებოდა.

რაც შეეხება ავტოლიზის დამახასიათებელ ტესტს, მისათვის საინტერესოა ბიომასის კონტროლის შედეგების შეფასება. ცხრილში 1 წარმოდგენილია *Sprulina platensis*-ის კულტივირების პროცესში ბიომასის ცვლილების შედარება კონტროლსა და ექსპერიმენტში.

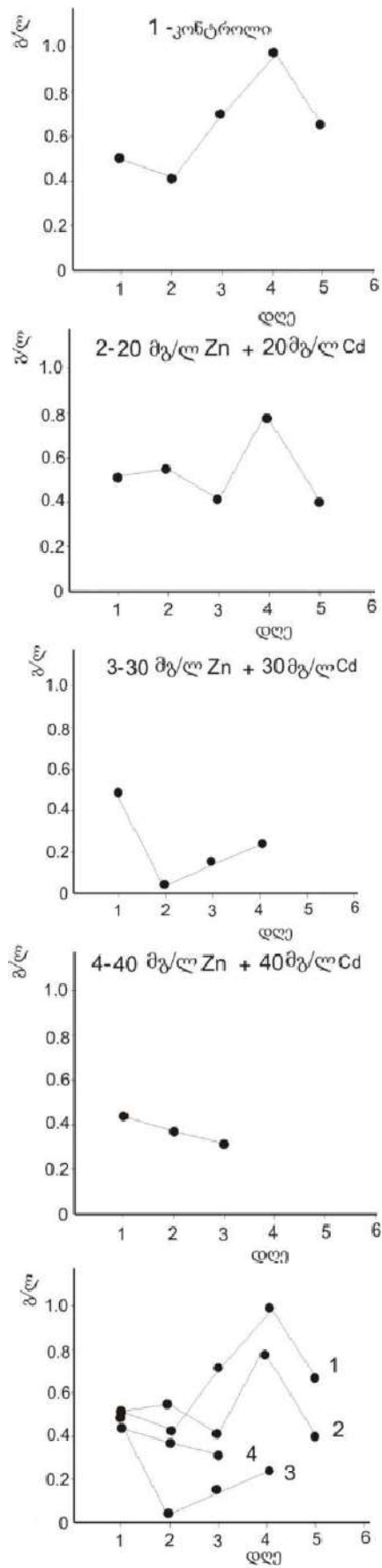
**ცხრილი 1.** მძიმე ლითონებით Zn-ითა და Cd-ით დატვირთულ მკვებავ გარემოში კულტივირებული *Sprulina platensis*-ის ბიომასით აკუმულირებული იონების კონცენტრაციები მკვ / გ.

საათები	მგ / ლ ბიომასა 1 კულტივირებული კონტროლი	მგ / ლ ბიომასა 2 აკუმულირებული Zn + Cd		მგ / ლ ბიომასა 3 აკუმულირებული Zn + Cd		მგ / ლ ბიომასა 4 აკუმულირებული Zn + Cd	
		მკვ / გ Zn	მკვ / გ Cd	მკვ / გ Zn	მკვ / გ Cd	მკვ / გ Zn	მკვ / გ Cd
24	430	520		560		430	
48	280	570		27		404	
72	570	420		90		340	
–	–	ავტოლიზი		ავტოლიზი		ავტოლიზი	
96	910	–		–		–	
120	650	–		–		–	
		მკვ / გ Zn	მკვ / გ Cd	მკვ / გ Zn	მკვ / გ Cd	მკვ / გ Zn	მკვ / გ Cd
24	–	2.28	0.85	3.08	0.83	3.86	1.02
48	–	3.05	1.29	–	–	3.35	2.10
72	–	4.40	0.86	12.83	4.52	4.21	0.65

კონტროლი გვიჩვენებს ბიომასის ზრდის ნამატს *Sprulina platensis*-ის კულტივირებისთვის მკვებავ გარემოში და ექსპერიმენტში, როდესაც მკვებავ გარემოში დამატებულია ლითონების ხსნარები. კულტივირების პროცესში ლითონების და *Sprulina platensis*-ის ბიომასის (უჯრედების) ურთიერთქმედება მკვეთრად გამოიხატება ბიომასის ნამატით, რომელსაც ვაკონტროლებთ კულტივირების პროცესში ბიომასის სინჯების მშრალი წონის მნიშვნელობის განსაზღვრით.

შედეგები მოყვანილია როგორც ცხრილში 1, ისე – სურათზე 1, სადაც ნაჩვენებია ექსპერიმენტის მსვლელობა და ბიომასის ზრდის მაჩვენებლები, ინჰიბირებისა და ავტოლიზის დრო, აკუმულირებული Zn-ისა და Cd-ის რაოდენობები.



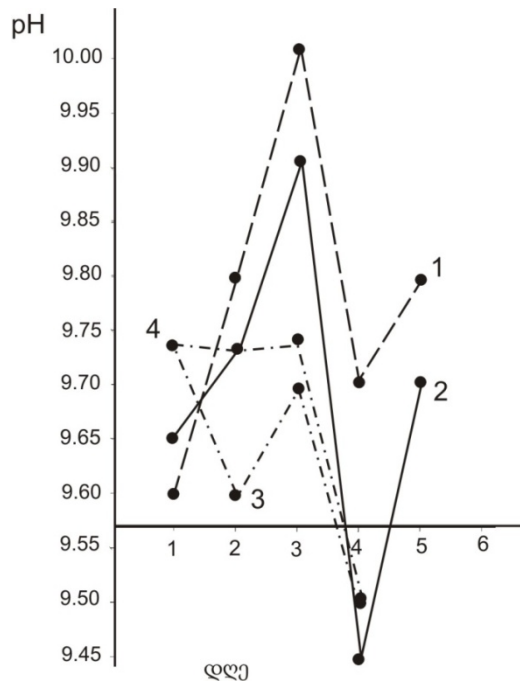


სურათი 1. Zn-ითა და Cd-ით დატვირთულ მკვებავ სუსპენზიაში კულტივირებული *Sprulina platensis*-ის ბიომასის ზრდის დინამიკა.

**ცხრილი 2.** pH-ის ცვლილება სხვადასხვა კონცენტრაციის ლითონებით დატვირთულ მკვებავ გარემოში ბიომასის ზრდის პროცესში.

დღეები	pH – 2 Zn 20 მგ / ლ + Cd 20 მგ / ლ	pH – 3 Zn 30 მგ / ლ + Cd 30 მგ / ლ	pH – 4 Zn 40 მგ / ლ + Cd 40 მგ / ლ	pH – 1 კონტროლი
I	9.65	9.73	9.75	9.61
II	9.73	9.73	9.60	9.80
III	9.93	9.74	9.66 ავტოლიზი	9.93
IV	8.0 ავტოლიზი (სრული)	9.50 ავტოლიზი (სრული)	8.39 ავტოლიზი (სრული)	9.71
V	9.70	–	–	9.80

**ცხრილში 2** მოყვანილია ლითონებით Zn-ითა და Cd-ით დატვირთულ სუსპენზიაში pH-ის ცვლილება კულტივირების პროცესში. იგივე დამოკიდებულება თვალსაჩინოდ წარმოდგენილია **სურათზე 2**.



**სურათი 2.** ლითონებით Zn-ითა და Cd-ით დატვირთულ სუსპენზიაში კულტივირების პროცესში pH-ის ცვლილების დინამიკა.

ჩატარებული ექსპერიმენტის მნიშვნელოვან შედეგს წარმოადგენს *Sprulina platensis*-ის მძიმე ლითონებით დატვირთულ გარემოში კულტივირების პროცესის ინჰიბირებისა და ავტოლიზის გამომწვევი დატვირთვის იმ დოზების დადგენა, რომლებიც ატომური ადსორბციის ანალიზის მეთოდის საშუალებით განისაზღვრა ლიოფილურად გამომშრალ ბიომასის ნიმუშებში.

### დამოწმებანი

1. L. M. Mosulishvili, et al. Development of Pharmaces Base in Blue-Green Alga *Sprulina platensis*. JINR Preprint P18–2008–8, 2008, Dubna.
2. A. I. Belokobilsky et al. Accumulation of selenium and chromium in the growth dynamics of *Sprulina platensis*. J. Radioanal. & Nucl. Chem., 2004, 259, 1, 65-68.
3. А. И. Белокобыльский и др. Изучение некоторых физико-химических свойств *Sprulina platensis* в динамике роста культуры. Препринт ОИЯИ D18–2002–130, 2002, Дубна.
4. ა. რჩელიშვილი და სხვები. Cu-ისა და Sn-ის აკუმულაცია ხორბლისა და ქერის მიერ. Nano Studies, 2014, **10**, 107-110.
5. G. Zarnouk. Doctoral Thesis, 1966, Paris, Fact. Sci. Univ. Paris, 146 pp.
6. ე. ლელაღუტაშვილი, ნ. ბაღდავაძე, ე. გინტური, ნ. კუჭავა, ა. რჩელიშვილი, ლ. ტულუში. ქიმიური ელემენტების Zn-ისა და Cd-ის ერთდროული ურთიერთქმედება ციანობაქტერია *Sprulina platensis*-ის ბიომასასთან. Nano Studies, 2016, **13**, p51-58.
7. თ. ყალაბეგიშვილი და სხვები. საქართველოს ატმოსფერულ ნალექებში ზოგიერთი ქიმიური ელემენტის აკუმულაციის შესწავლა ხავსების ბიომონიტორინგისა და ატომური აბსორბციული სპექტრომეტრიის გამოყენებით. საქ. მეცნ. აკად. მაცნე (ქიმ. სერ.), 2017.

Na(I)-ის, Ca(II)-ის, Mg(II)-ის, Rb(I)-ისა და Cs(I)-ის იონების ბავშვებს  
Cr(VI)-ის თანაობისას კულტივირებულ *Arthrobacter species* ბაქტერიებზე

ო. რჩეულიშვილი, ე. ღელაღუტაშვილი

ე. ანდრონიკაშვილის სახ. ფიზიკის ინსტიტუტი  
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
თბილისი, საქართველო

მიღებულია 2017 წლის 6 დეკემბერს

### ანოტაცია

შესწავლილ იქნა *in vivo* და *in vitro* პირობებში Na(I)-ის, Ca(II)-ის, Mg(II)-ის, Rb(I)-ისა და Cs(I)-ის იონების გავლენა Cr(VI) + *Arthrobacter species* 61B ან *Arthrobacter globiformis* 151B ბაქტერიებზე. Na(I)-ის იონების გავლენა ვერ იქნა აღმოჩენილი, ხოლო სხვა იონების გავლენის ეფექტურობა ემორჩილება შემდეგ თანმიმდევრობას: Ca(II) < Mg(II) < Rb(I) < Cs(I).

### შესავალი

ნიადაგის მიკრობიოლოგიური მდგომარეობა მძიმე და ტოქსიკურ ლითონთა იონების ჭარბი რაოდენობის ზემოქმედების შედეგად განიცდის ცვლილებებს, რაც ნიადაგის საფარის დაბინძურებასთანაა დაკავშირებული. მძიმე ლითონები პირვანდელ მდგომარეობაშიც და გარდაქმნილი სახითაც ინტენსიურად უკავშირდებიან ნიადაგის შემადგენელ მინერალურ და ორგანულ ნივთიერებებს. ქიმიური ელემენტების ტოქსოგენურობის, ბიოკუთვნილობისა და სხვა თვალსაზრისით საჭიროა დადგინდეს გარემომცველ გარემოზე ანტროპოგენული დატვირთვის ზღვარი და მისი დაქვეითების ხერხები. გარემო არეში მოხვედრილ ლითონთა იონებისაგან ბიოლოგიურად გაწმენდისათვის მნიშვნელოვან გარემოებას წარმოადგენს მიკროორგანიზმების არსებობა. ბუნებრივ გარემო პირობებში მიკროორგანიზმების მიერ ლითონების ბიოსორბცია დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მათ შორის სხვა ლითონთა იონებზეც. ლიტერატურიდან ცნობილია, რომ მანგანუმის ოქსიდაზი ნიადაგში სამვალენტო ქრომის იმობილიზირებული ფორმის რეოქსიდაციას იწვევს [1], ხოლო Ca(II) ზრდის ენზიმურ აქტივობას, მაშინ როდესაც სხვა იონები (Hg(II), Cd(II), Zn(II)) მას თრგუნავენ. გრამდადებითი ბაქტერიების *Arthrobacter* სახეობებს შეუძლიათ

ტოქსიკური Cr(VI)-ის დეტოქსიკაცია მისი Cr(III)-ად გარდაქმნით. მათ რიცხვს მიეკუთვნება აერობული *Arthrobacter oxidas* 61B და *Arthrobacter globiformis* 151B ქართული შტამები, რომლებიც გამოყოფილ იქნა საქართველოს ერთ-ერთი დაბინძურებული რეგიონის ბაზალტის ნიმუშებიდან. ქრომის თანაობისას აღნიშნულ შტამებზე შესწავლილ იქნა თუთიისა და მანგანუმის იონების მოქმედება [ 2 – 4].

წინამდებარე შრომაში Cr(VI)-ის თანაობისას გაზრდილ აერობულ *Arthrobacter species* 61B-ისა და *Arthrobacter globiformis* 151B-ის ბაქტერიებზე ჩვენ მიერ შესწავლილ იქნა სხვა ლითონთა იონების, კერძოდ, ნატრიუმის(I), კალციუმის(II), ცეზიუმის(I), რუბიდიუმისა(I) და მაგნიუმის(II) გავლენა ულტრაიისფერი-ხილული სინათლის სპექტროსკოპიის მეთოდით. ექსპერიმენტები ტარდებოდა როგორც *in vivo*, ისე – *in vitro* პირობებში.

ცნობილია, რომ რუბიდიუმი ქიმიურად მაღალაქტიურია. ის გამოიყენება როგორც ფოტოელემენტების ტექნოლოგიაში, ისე – ფარმაცევტიკაში. ცეზიუმი ბუნებაში ფართოდ გავრცელებული ელემენტია. ერთ-ერთი მისი რადიაქტიური იზოტოპი <sup>137</sup>Cs გამოიყენება სხივურ თერაპიასა და სამეცნიერო კვლევებში. მაგნიუმი მთელი რიგი ფერმენტების სტრუქტურული კომპონენტია. იგი ანტისტრესული მაკროელემენტია, რომელიც დადებით გავლენას ახდენს გულსისხლძარღვთა და ნერვულ სისტემაზე. კალციუმი მონაწილეობს უჯრედის მემბრანის გამტარიანობის რეგულაციაში, მას აქვს ანტიალერგიული და ანტიანთებითი თვისებები.

### ექსპერიმენტული ნაწილი

ექსპერიმენტებში გამოყენებულ იქნა ლითონების შემდეგი ნაერთები: K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, NaCl, RbCl, CsCl, CaCl<sub>2</sub> და MgCl<sub>2</sub> (sigma). *Arthrobacter species* 61B და *Arthrobacter globiformis* 151B კულტივირებული იყო საკვებ გარემოში [5].

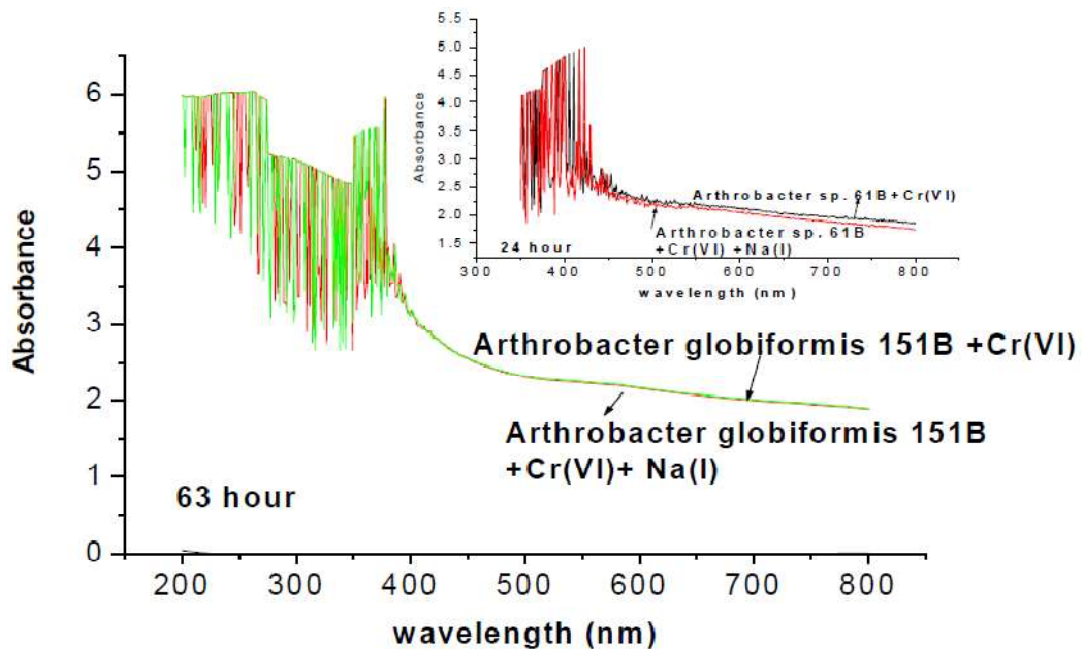
*Arthrobacter*-ის ტიპის ბაქტერიების ზრდისას საკვებ გარემოში ნიადაგისათვის საჭირო მინერალებთან ერთად შეყვანილ იქნა კოლბაში 1 მხოლოდ Cr(VI)-ის იონები 4 მგ / მლ ოდენობით, კოლბაში 2 – Cr(VI)-ის იონები 4 მგ / მლ + 3.56 მგ / მლ ნატრიუმის იონები (საკვები გარემო თავად შეიცავდა 1.5 მგ / მლ ნატრიუმს და დამატებით იქნა შეყვანილი 1.56 მგ / მლ). კოლბაში 3, როგორც საკონტროლოში, ბაქტერიები იზრდებოდნენ სტანდარტულ საკვებ გარემოში. *Arthrobacter species* 61B-ის შემთხვევაში ზრდის პროცესის ხანგრძლივობა შეადგენდა 24 სთ-ს, ხოლო *Arthrobacter globiformis* 151B-ისათვის – 63 სთ-ს.

გაზომვები ტარდებოდა ულტრაიისფერი-ხილული სინათლის სპექტრომეტრზე Citra 10e ტალღის 200 – 800 ნმ სიგრძეთა არეში.

### შედეგები და მათი განსჯა

სურათზე 1 ნაჩვენებია Cr(VI) + *Arthrobacter species* 61B-ისა და Cr(VI) + *Arthrobacter globiformis* 151B-ის სპექტრები და, აგრეთვე, Cr(VI) + *Arthrobacter species* 61B + Na(I)-ისა და Cr(VI) + *Arthrobacter globiformis* 151B + Na(I)-ის სპექტრები, რომლებიც

*in vivo* პირობებში გვიჩვენებს, ერთი მხრივ, Cr(VI)-ისა და, მეორე მხრივ, Cr(VI) + Na(I)-ის ზემოთ მითითებული კონცენტრაციების საკვებ გარემოში შეყვანისას Na(I)-ის გავლენას *Arthrobacter* + Cr(VI)-ზე. ორივე ტიპის ბაქტერიისათვის შემთხვევაში (1) Cr(VI) + *Arthrobacter species* 61B-ისა და Cr(VI) + *Arthrobacter species* 61B + Na(I)-ის და (2) Cr(VI) + *Arthrobacter globiformis* 151B-ისა და Cr(VI) + *Arthrobacter globiformis* 151B + Na(I)-ის სპექტრები პრაქტიკულად ერთმანეთს ემთხვევა, რაც იმაზე მიუთითებს რომ *in vivo* პირობებში, როგორც 24 სთ-ის, ასევე – 63 სთ-ის ხანგრძლივობით ბაქტერიის ზრდისას ექსვალენტური ქრომის ბაქტერიებთან შეკავშირებაზე ზრდის პროცესში ნატრიუმის იონები გავლენას ვერ ახდენენ.



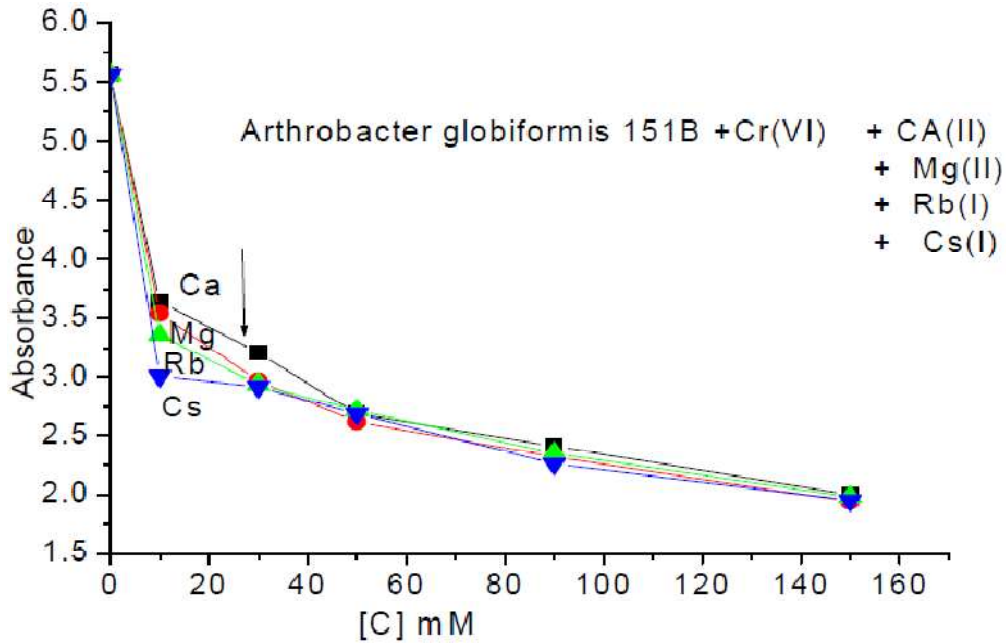
**სურათი 1.** Cr(VI) + *Arthrobacter globiformis* 151B-ისა და Cr(VI) + *Arthrobacter globiformis* 151B + Na(I)-ის შთანთქმის სპექტრები.  
ჩანართი: Cr(VI) + *Arthrobacter species* 61B-ისა და Cr(VI) + *Arthrobacter species* 61B + Na(I)-ის შთანთქმის სპექტრები.

ზემოთ აღნიშნულ ბაქტერიებზე შესწავლილ იქნა, აგრეთვე, კალციუმის(II), რუბიდიუმის(I), ცეზიუმისა(I) და მაგნიუმის(II) იონების გავლენა *in vitro* პირობებში, როდესაც Cr(VI)-ის თანაობისას გაზრდილ *Arthrobacter globiformis* 151B-ს (ზრდის ხანგრძლივობა 63 სთ) და *Arthrobacter species* 61B-ს (ზრდის ხანგრძლივობა 24 სთ) ვუმატებდით სხვადასხვა კონცენტრაციის კალციუმის(II), რუბიდიუმის(I), ცეზიუმისა(I) და მაგნიუმის(II) იონებს. ორივე ტიპის ბაქტერიების უჯრედების წონა მუდმივი რჩებოდა, ხოლო ლითონის კონცენტრაცია იცვლებოდა 10 – 150 მმოლი ინტერვალში.

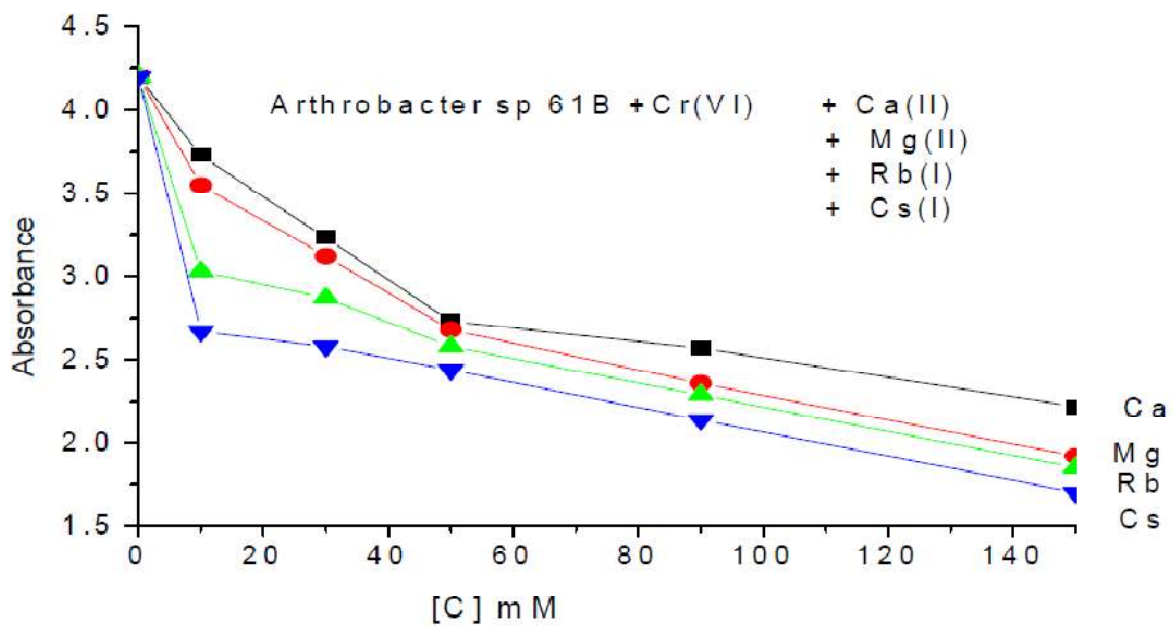
**სურათებზე 2 და 3** ნაჩვენებია სხვადასხვა კონცენტრაციის კალციუმის, რუბიდიუმის, ცეზიუმისა და მაგნიუმის იონების გავლენა აღნიშნულ ბაქტერიებზე. როგორც ამ სურათებიდან ჩანს, ლითონთა იონების კონცენტრაციის ზრდისას შთანთქმის ინტენსივობა მცირდება. უფრო მეტად ეს ცვლილება *Arthrobacter species* 61B-ისთვისაა თვალსაჩინო. ეფექტურობის მიხედვით იგი შეესაბამება შემდეგ რიგს:



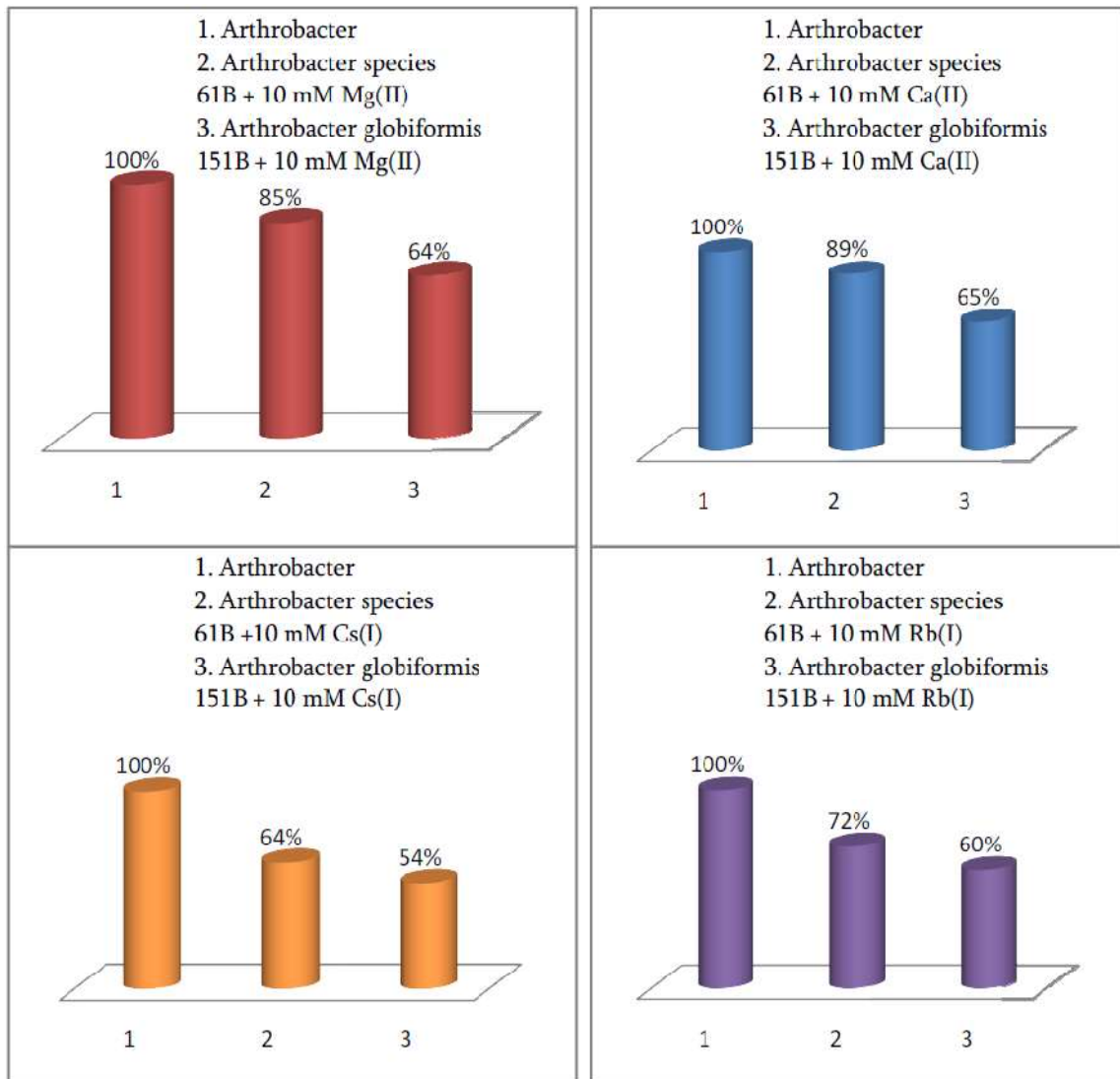
Ca(II) < Mg(II) < Rb(I) < Cs(I). რაც შეეხება *Arthrobacter globiformis* 151B-ს, 30 მმოლი კონცენტრაციამდე ეფექტურობის რიგი იგივეა, რაც *Arthrobacter species* 61B-ის შემთხვევაში, ხოლო უფრო მაღალი კონცენტრაციების დამატებით ლითონთა იონების გავლენებს შორის განსხვავება ნაკლებად დაიკვირვება.



სურათი 2. Cr(VI)-ის თანაობისას გაზრდილ აერობულ *Arthrobacter globiformis* 151B ბაქტერიაზე კალციუმის(II), ცეზიუმის(I), რუბიდიუმისა(I) და მაგნიუმის(II) გავლენა.



სურათი 3. Cr(VI)-ის თანაობისას გაზრდილ აერობულ *Arthrobacter species* 61B ბაქტერიაზე კალციუმის(II), ცეზიუმის(I), რუბიდიუმისა(I) და მაგნიუმის(II) გავლენა.



**სურათი 4.** შთანთქმის ინტენსივობის პროცენტული წილი Mg(II)-ის, Ca(II)-ის, Rb(I)-ისა და Cs(I)-ის იონების 10 მმოლი კონცენტრაციის დამატებით *Arthrobacter species* 61B და *Arthrobacter globiformis* 151B ბაქტერიებზე.

**სურათზე 4** ნაჩვენებია შთანთქმის ინტენსივობის პროცენტული წილი Mg(II)-ის, Ca(II)-ის, Rb(I)-ისა და Cs(I)-ის იონების 10 მმოლი კონცენტრაციის დამატებით *Arthrobacter species* 61B-ისა და *Arthrobacter globiformis* 151B-ის ბაქტერიებზე (შესაბამისად, 366.30 და 361.44 ნმ ტალღის სიგრძეებზე). როგორც ამ სურათიდან ჩანს, აღნიშნული იონების ყველაზე დაბალი კონცენტრაციის დამატებისას განსხვავებულია არა მხოლოდ ამ იონების გავლენის პროცენტული წილი, არამედ – ბაქტერიებს შორისაც დაიკვირვება განსხვავება. *Arthrobacter species* 61B ბაქტერიებზე შთანთქმის ინტენსივობის პროცენტული წილი ყველაზე ნაკლებია ცეზიუმის იონებისათვის (64 %), ხოლო ყველაზე მეტი – კალციუმის იონებისათვის (89 %). *Arthrobacter globiformis* 151B ბაქტერიების შემთხვევაში პროცენტული წილის ცვლილების რიგი იგივეა, ოღონდ,



რიცხვითი მნიშვნელობები განსხვავებულია: ცეზიუმისათვის – 54 %, ხოლო კალციუმისათვის – 65 %.

### მადლიერება

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით (გრანტის # FR/218 018/16).

### დამოწმებანი

1. R. Elangovar, L. Philip, K. Chandraraj. Appl. Biochem.& Biotechnol., 2010, 160, 81-97.
2. E. Gelagutashvili, A. Rcheulishvili. Nano Studies, 2015, 11, 207-210.
3. ე. ლელაღუტაშვილი, ნ. ბაღდავაძე, ე. გინტური, ნ. კუჭავა, ა. რჩეულიშვილი, ლ. ტულუში. Nano Studies, 2016, 13, 51-58.
4. E. Gelagutashvili. Open Acc. J Met., 2013, 3, 2A1 (Spec. Iss.: Heavy Met.), 62-67.
5. N. Tsibakhashvili, L. Mosulishvili, T. Kalabegishvili, D. Pataraya., M. Gurielidze, G. Nadareishvili, H.-Y. Holman. Fresenius Envir. Bull. (FEB), 2002, 11, 7, 352-361.

წინამხრის ელექტრული იმპედანსის  
დისპერსია და სპექტრული მახასიათებელი

მ. გიგინეიშვილი<sup>1</sup>, მ. ჩიხლაძე<sup>2</sup>, თ. ხაჩიძე<sup>2</sup>, ო. კეთილაძე<sup>2</sup>

<sup>1</sup>სააქციო საზოგადოება „კურაციო“  
თბილისი, საქართველო

<sup>2</sup>საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტი  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
თბილისი, საქართველო  
chixladze\_manana@mail.ru

მიღებულია 2017 წლის 13 დეკემბერს

### ანოტაცია

შრომში ხაზგასმულია ადამიანის ორგანოთა და ქსოვილთა ელექტრული იმპედანსის დისპერსიისა და სპექტრული მახასიათებლის ცოდნის მნიშვნელობა სხვადასხვა დაავადებათა და პათოლოგიათა დადგენაში. კერძოდ, აღწერილია ადამიანის წინამხრის იმპედანსის დისპერსიისა და სპექტრული მახასიათებლის გაზომვის ერთ-ერთი მეთოდი. შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკული სახით.

ელექტროგამტარობის თეორიის თანახმად, ბიოლოგიურ ორგანიზმში დენის კარგი გამტარებია ბიოსითხეები და ქსოვილები – სისხლი, ლიმფა, კუჭის წვენი, შარდი, თავზურგტვინის სითხე, კუნთები – რადგან ისინი შედგება დიდი რაოდენობის წყლისა და მაღალი ძვრადობის მქონე იონებისგან. ცუდი ელექტროგამტარებია ნერვული ქსოვილი, ცხიმი, ძვლისაზრდელა და კანი. კანის ელექტროგამტარობა მის სისქეზე და ზედაპირის მდგომარეობაზეა დამოკიდებული. რაოდენობრივი შეფასება იმისა, თუ როგორ ატარებს დენს ცოცხალი ობიექტები, ანუ ბიოლოგიური სისტემების ელექტროგამტარობის (ბსე) გამოკვლევა საშუალებას იძლევა გავიგოთ ისინი ნორმალურად ფუნქციონირებენ, თუ ადგილი აქვს პათოლოგიას.

ბსე-ის მნიშვნელობა დამოკიდებულია თავისუფალი ელექტრული მუხტების კონცენტრაციასა და ძვრადობაზე. ელექტროქიმიის თვალსაზრისით, ცოცხალი ორგანიზმი უჯრედებით და ელექტროლიტთა ხსნარებით შევსებული სისტემაა. მის მიერ ელექტრული დენის გატარებაში მონაწილეობენ თავისუფალი მუხტები: არაორგანული მოლეკულების იონები და ორგანული მჟავების, ცილებისა და სხვა ორგანულ ნაერთთა იონები, ასევე – ბმული მუხტები და მძიმე იონები, რომელთა ძვრადობაც დაბალია და მნიშვნელოვან გავლენას ვერ ახდენს ბსე-ის სიდიდეზე. გარეშე ელექტრული ველის მოქმედებისას ბიოლოგიურ სისტემებში შემდეგი ორი პროცესი მიმდინარეობს:

- (1) ელექტრული ველის ზემოქმედებით მასში არსებული თავისუფალი მუხტები – იონები იწყებენ მოწესრიგებულ მოძრაობას, აღიმკვრება ელექტრული დენი და გამოიყოფა სითბო, რომლის სიდიდეც დამოკიდებულია ობიექტის აქტიურ წინაღობაზე.
- (2) ელექტრული ველი მოქმედებს ბმულ მუხტებზე, რომელთაც არ შეუძლიათ თავისუფლად გადაადგილდნენ, და ასევე იმ მუხტებზეც, რომელთაც გადაადგილების არე ძალიან შეზღუდულია. ახდენს მათ ორიენტირებას სივრცეში, ანუ იწვევს პოლარიზებას.

უჯრედთა, ქსოვილთა, ორგანოთა, თუ მთლიანი ორგანიზმის ბსე-ის (ან წინაღობის) გასაზომად მასში ატარებენ მუდმივ ან ცვლად სინუსოიდურ დენს, რომლის სიხშირე მათედი ჰერცებიდან  $\sim 10^{10}$  ჰც-ს აღწევს. მუდმივი დენის გამოყენებისას ბსე-ის საჭირო სიზუსტით გაზომვა მემბრანებისა და ელექტროდების პოლარიზების მაღალი ხარისხის გამო უკიდურესად გაძნელებულია. ასევე გაზრდილია დენის მოქმედებით უჯრედთა დაზიანების საშიშროება. ცვლადი დენის გამოყენებისას ეს სირთულეები მკვეთრად მცირდება, რადგანაც ცვლადი დენის მიმართ ბიოორგანიზმის იმპედანსი შედარებით ნაკლებია.

ბიოორგანიზმთა იმპედანსი შედგება აქტიური და ტევადური წინაღობებისაგან. ტევადური წინაღობის არსებობა აიხსნება შემდეგი გარემოებით: უჯრედის შიგნით არსებული ციტოპლაზმა დენის კარგი გამტარია, მაგრამ უჯრედები ერთმანეთისაგან გამოყოფილია მემბრანებით, რომლებიც გაცილებით ცუდი გამტარებია, რის გამოც ასეთ სისტემებს აქვთ ელექტროტევადობა. შესაბამისად, ძაბვა ფაზაში ჩამორჩება დენს ანუ ფაზაში ძვრა  $\alpha < 0$ . ბიოორგანიზმთა იმპედანსს ახასიათებს მკვეთრად გამოსახული დისპერსია. კერძოდ, ცვლადი დენის სიხშირის ზრდასთან ერთად მისი მნიშვნელობა მცირდება. ეს გამოწვეულია როგორც აქტიური წინაღობის (აქტიური წინაღობის დისპერსია დამახასიათებელია ცოცხალი ორგანიზმებისათვის), ისე ტევადური წინაღობის შემცირებით, პოლარიზების ეფექტის შესუსტების გამო. ამიტომ იმპედანსის დენის სიხშირეზე დამოკიდებულების,  $Z = f(\omega)$ , გრაფიკს კლებადი ფუნქციის სახე აქვს.

ბიოლოგიური სისტემის ცალკეულ ორგანოებს ასევე აქვთ სპექტრული მახასიათებელი – დამოკიდებულება ფაზაში ძვრის კუთხესა და დენის სიხშირეს შორის,  $\alpha = f(\omega)$ , რომელიც უფრო რთულია, იმპედანსის დისპერსიის მრუდთან შედარებით.

აღსანიშნავია, რომ იმპედანსის დისპერსიის და სპექტრული მახასიათებლის გრაფიკული ფორმა ნორმიდან მცირედი გადახრების დროსაც კი საგრძნობლად იცვლება. ამიტომ მათ შესწავლას მნიშვნელოვანი ადგილი უჭირავს სხვადასხვა დაავადებებისა და პათოლოგიების დიაგნოსტიკის სფეროში. ზოგადად, ბიოქსოვილების კვდომის შემთხვევაში დისპერსია თანდათან ქრება, რადგანაც იშლება „ცოცხალი კონდენსატორები“ – უჯრედები და მხოლოდ ომური წინაღობაღა რჩება. ამიტომ დისპერსიისა და სპექტრული მახასიათებლის გამოკვლევა საშუალებას იძლევა შევაფასოთ ბიოლოგიური ობიექტის ქსოვილის, თუ ორგანოს სიცოცხლისუნარიანობა.

რუსმა ბიოფიზიკოსმა ტარუსოვმა უჯრედების ცხოველუნარიანობის შესაფასებლად შემოიტანა სპეციალური კრიტერიუმი: სიცოცხლისუნარიანობის (პოლარიზების) კოეფიციენტი  $K$ , რომელიც სიდიდით ტოლია დაბალ სიხშირეზე ბიოლოგიური ქსოვილის უჯრედის იმპედანსის  $Z_{low}$  ფარდობისა მაღალ სიხშირეზე მის იმპედანსთან,  $Z_{high}$ :

$$K = \frac{Z_{low}}{Z_{high}}$$

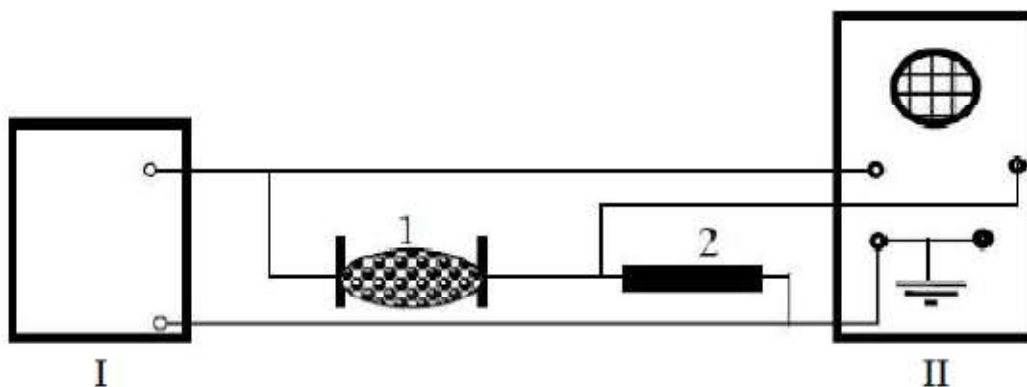
მაღალ და დაბალ სიხშირეთა დიაპაზონი განისაზღვრება უჯრედთა ტიპის მიხედვით. მაგალითად, კუნთის უჯრედისთვის ეს სიხშირეებია  $10^3$  და  $10^6$  ჰც, სისხლის უჯრედისთვის და ცხიმის უჯრედისთვის –  $10^4$  და  $10^7$  ჰც, კანისათვის 10 და  $10^4$  ჰც და ა.შ. ჯანმრთელი ბიოლოგიური ქსოვილის შემთხვევაში  $K > 1$ . ქსოვილის კვდომის დროს დაბალ სიხშირეებზე იზრდება უჯრედთა მემბრანების განვლადობა იონების მიერ ანუ მცირდება  $Z_{low}$ , მაშინ როდესაც  $Z_{high}$  პრაქტიკულად რჩება მუდმივი. შესაბამისად,  $K \rightarrow 1$ .

ჩვენი მიზანი იყო ექსპერიმენტის საშუალებით დაგვეფიქსირებინა ადამიანის წინამხრის ელექტრული იმპედანსის დისპერსია და სპექტრული მახასიათებელი.



სურათი 1. ელექტროდთა მდებარეობა წინამხარზე.

სურათზე 1 ნაჩვენებია ელექტროდთა მდებარეობა წინამხარზე (ელექტროდები და წინამხარი წინასწარ იყო დამუშავებული სპეციალური ანტისეპტიკური სითხით), ხოლო სურათზე 2 მოცემულია ექსპერიმენტის ელექტრული სქემა.



სურათი 2. I – ბგერითი სიხშირის გენერატორი და II – ოსცილოგრაფი; 1 – ადამიანის წინამხარი, და 2 – R რეზისტორი.

გენერატორის მომჭერებზე და ადამიანის წინამხარზე ძაბვათა ვარდნა  $U_g$  და  $U_h$  აისახება ოსცილოგრაფზე სინუსოიდური გრაფიკების სახით. იმის გამო, რომ წრედი მიმდევრობითია,  $R = 4.7$  კომი წინააღმდეგობაზე ძაბვის ვარდნის ამპლიტუდური მნიშვნელობა ტოლია

$$U_2 = U_g - U_h .$$

შესაბამისი დენის ამპლიტუდური მნიშვნელობა კი იქნება

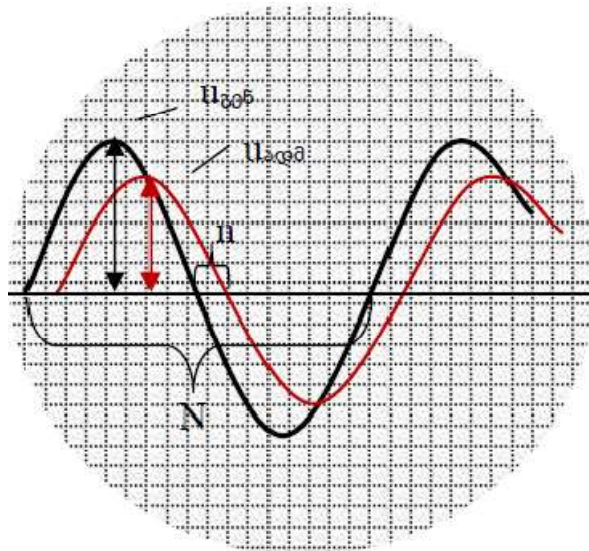
$$I = \frac{U_2}{R} = \frac{U_g - U_h}{R} ,$$

ხოლო მხრის იმპედანსი

$$Z = \frac{U_h}{I} .$$

მარტივი გარდაქმნით მიიღება:

$$Z = \frac{RU_h}{U_g - U_h} .$$



სურათი 3. გამოსახულება ოსცილოგრაფის ეკრანზე.

ოსცილოგრაფის ეკრანზე (სურათი 3)  $x$ -ღერძის გასწვრივ ერთ სრულ რხევას შეესაბამება უჯრების  $N$  რაოდენობა, ხოლო  $U_g$  -ისა და  $U_h$  -ის გრაფიკებს შორის წანაცვლებას –  $n$  რაოდენობა. მოცემულ სიხშირეზე წრედში გამავალ დენსა და წინამხარზე არსებულ ძაბვას შორის ძვრის კუთხე იგივეა რაც ფაზათა სხვაობა  $U_g$  -სა და  $U_h$  -ს შორის ( $U_g$  ფაზაში თანხვედრილია დენსა). ამიტომ მისი გამოთვლა შესაძლებელია პროპორციით

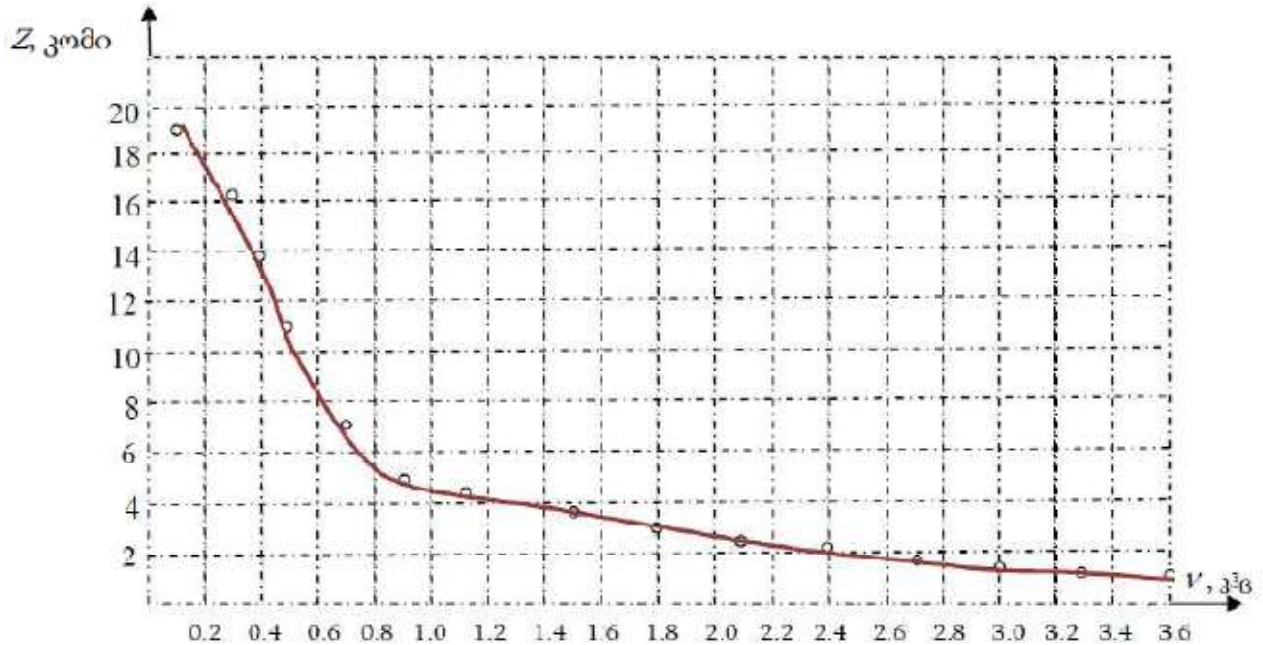
$$\frac{n}{N} = \frac{\alpha}{360^\circ} ,$$

საიდანაც

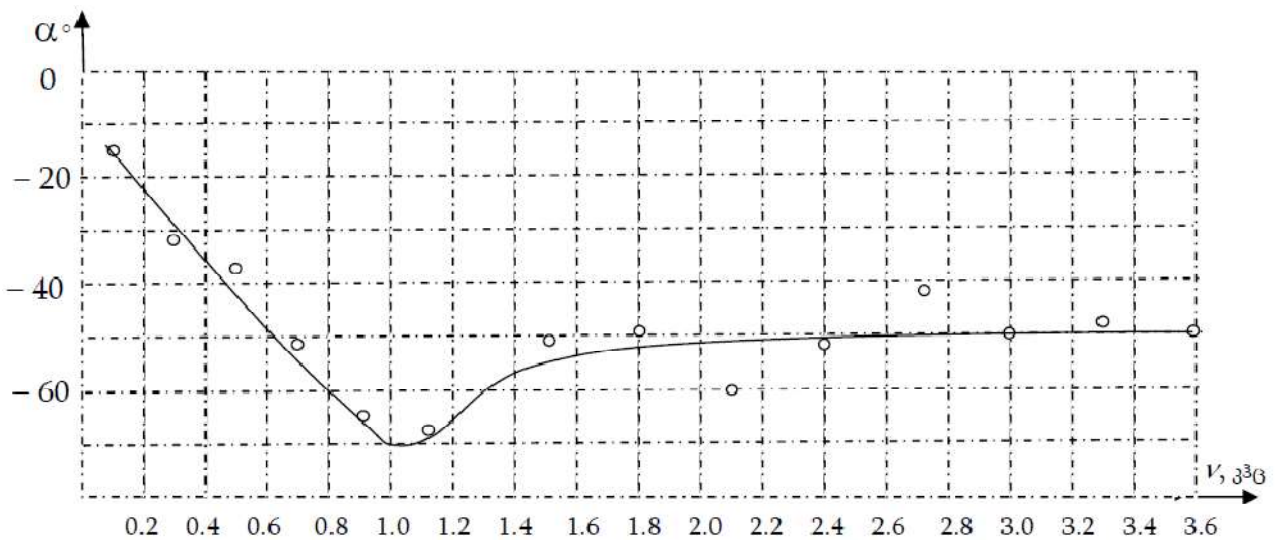
$$\alpha = \frac{n}{N} \times 360^\circ .$$



სურათებზე 4 და 5 მოცემულია ჩვენ მიერ მრავალჯერადი გაზომვების შედეგად მიღებული წინამხრის იმპედანსის დისპერსია და სპექტრული მახასიათებელი ცვლადი დენის სიხშირის დიაპაზონში 0.1 – 3.6 კჰც.



სურათი 4. წინამხრის იმპედანსის დისპერსია.



სურათი 5. წინამხრის სპექტრული მახასიათებელი.

წინამხრის იმპედანსის დისპერსიის მახასიათებლიდან (სურათი 4) ნათლად ჩანს, რომ დაბალ სიხშირეზე იმპედანსის  $Z_{low}$  ფარდობა მაღალ სიხშირეზე მის იმპედანსთან  $Z_{high}$  ბევრად აღემატება ერთს, რაც ამ შემთხვევაში ბიოლოგიური ქსოვილის უჯრედის მაღალ სიცოცხლისუნარიანობაზე მეტყველებს.



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.
3. მ. ჩიხლაძე, მ. გიგინეიშვილი, ო. კეთილაძე. სამედიცინო ფიზიკის საფუძვლები, 2017, თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი – ე-ვერსია: 3732.
4. Ю. С. Вайль, И. А. Гофман, В. Р. Еремин, Л. А. Воликова. Практикум по медицинской и биологической физике, 1987, Ленинград.

ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ  
РАДИОАКТИВНОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
И ОБРАБОТКА СПЕКТРОВ ИХ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Н. Е. Кучава

Институт физики им. Э. Андроникашвили  
Тбилисский Государственный университет им. И. Джавахишвили  
Тбилиси, Грузия  
e.kuchava@mail.ru

Принята 5 марта 2018 года

**Аннотация**

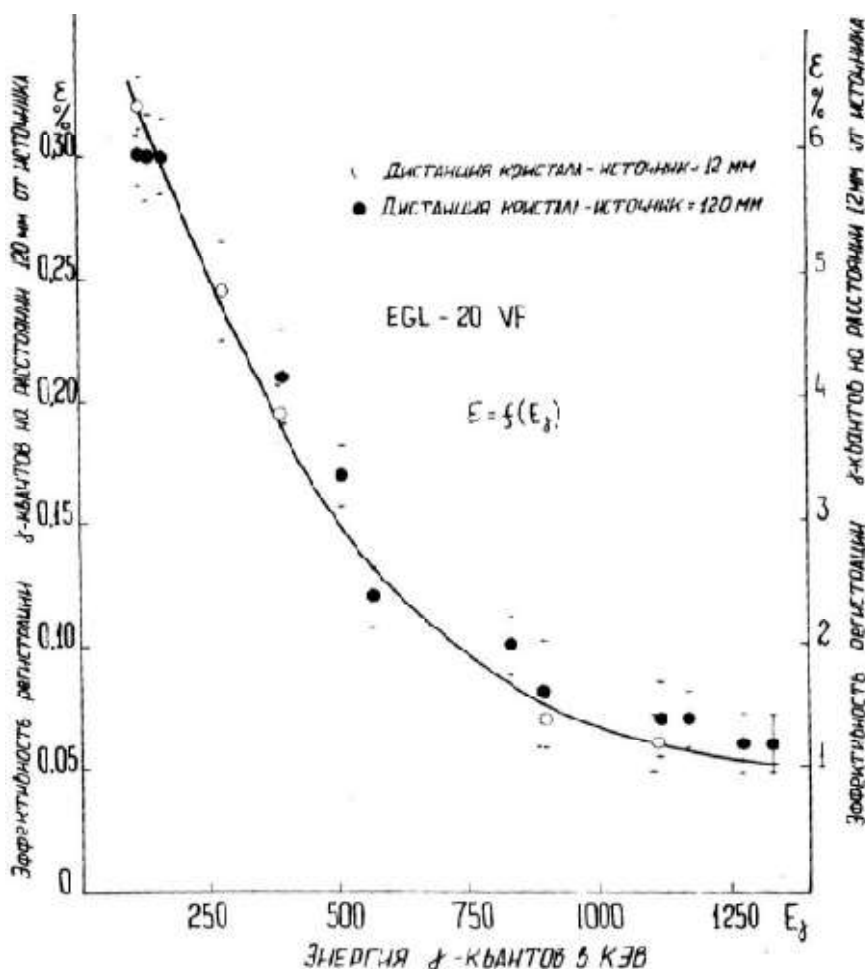
В работе были изучены вопросы расшифровки сложных спектров гамма-излучения биологических материалов, облученных в каналах ядерного реактора. Информация, полученная с помощью полупроводниковых детекторов и программированных анализаторов показывает значительное увеличение точности определения в них содержания химических элементов методом инструментального нейтронного активационного анализа.

Известно, что развитие и совершенствование гамма-спектрометрии позволяет существенно увеличить селективность и точность сравнительного метода инструментального нейтронного активационного анализа (ИНАА). При применении такого метода вместе с исследуемым образцом облучается и стандарт сравнения с известным содержанием определяемого химического элемента, приготовленного на основе фенолформальдегидной смолы (ФФС). Известно также, что применение полупроводниковых Ge:Li детекторов (ППД) увеличивает число одновременно определяемых в одном биологическом образце химических элементов что, в свою очередь, уменьшает количество необходимого для ИНАА материала.

Анализ исследуемого объекта происходил следующим образом: облученный в канале ядерного реактора (ЯР) биологический образец помещался на поверхность Ge:Li детектора, в нашем случае производства французской фирмы Epertec EGL–20 VF, с объемом 114 см<sup>3</sup> и разрешением 2.1 кэВ для энергии 1333 кэВ от радионуклида <sup>60</sup>Co. Отношение фотопика к комптоновскому равно 44. Детектор был окружен свинцовой

защитой стенок толщиной в 10 см, что значительно уменьшало внешний фон потока энергии от различных продуктов распада U, Th и  $^{40}\text{K}$  (фотопика природного происхождения), которые при длительном счете могут вносить значительный вклад в гамма-спектре.

Одним из важных факторов гамма-спектрометрических измерений является калибровка спектрометра. Вопросы калибровки и расчеты эффективности разных типов Ge:Li детекторов обсуждены в работах [1–5]. Для обработки гамма-спектров исследуемого биологического материала и стандарта сравнения, накопленных с помощью ППД, был использован многоканальный программированный анализатор французской фирмы Intertechnique IN-45, который позволяет быструю обработку фотопиков с вычетом вклада от окружающего фона. С помощью телетайпа M-700 и самописца происходила запись накопленной цифровой информации. Определением энергии и интенсивности фотопиков устанавливается присутствие различных химических элементов в исследуемом биологическом материале.



**Рисуно 1.** Зависимость эффективности регистрации гамма-квантов от их энергии с использованием полупроводниковых детекторов EGL-20 VF.

Зависимость определенной нами фотоэффективности от энергии гамма-квантов для вышеуказанного детектора с использованием стандартных образцовых гамма-источников ОСГИ, приведена на **Рисунке 1**. Эти зффективности были определены на двух

различных расстояниях от кристалла: 12 и 120 мм. Видно, что эффективность представляет функцию энергии излучения и в области энергии гамма-квантов от 200 до 1300 кэВ описывается экспоненциальной функцией.

В настоящее время в Институте физики им. Э. Андроникашвили гамма-спектрометрические измерения, вместе с другими приборами, осуществляются с помощью Closed-Coaxial Ge-детектора (Canberrafirm), объем активной зоны которого составляет 138 см<sup>3</sup>, относительная фотоэффективность равняется 30 %, отношение фотопика к комптоновскому равно 58, а разрешение составляет 1.8 кэВ от энергии 1333 кэВ. В качестве анализатора импульсов используется анализатор Inspector-2000.

Для разработки селективных методов определения различных химических элементов в биологических материалах методом ИНАА требуется детальное изучение их спектров гамма-излучения, так как они имеют очень сложный элементный состав, что затрудняет количественное определение химического элемента. Для обработки таких спектров существуют специальные методы [4, 5]. В работе [5] для обработки спектров, полученных с помощью ППД, разработаны комплекс аппаратуры и компьютерное программное обеспечение, а также ряд программ обработки гамма-спектров для ИНАА, в котором гамма-спектр представлен, как сумма трех компонентов:

$$S(x) = \sum_{n=1}^i A_i P_i(x) + B(x) + \delta(x),$$

где  $A_i$  – параметры спектра,  $P_i(x)$  – пики полного поглощения энергии гамма-квантов,  $B(x)$  – фоновая составляющая, а  $\delta(x)$  – статистическая погрешность (погрешности в разных каналах считаются независимыми).

Обработка гамма-спектров – это разложение их на компоненты и статистическая оценка их параметров с помощью метода наименьших квадратов [6]. Результаты обработки представляются в виде элементного состава пробы в единицах г / г. В некоторых наших экспериментах определение гамма-энергии радионуклида производили как градуировочной кривой с помощью специальных стандартных источников ОСГИ, так и при помощи линейных уравнений, полученных с использованием метода наименьших квадратов для данной калибровки спектрометра. Такое уравнение, устанавливающее зависимость между энергией гамма-квантов ( $E_\gamma$ ) и номером канала ( $N$ ), имеет вид:

$$E_\gamma = a + bN,$$

где  $a$  и  $b$  – постоянные коэффициенты для данной калибровки спектрометра:

$$a = \overline{E_\gamma} - b\overline{N},$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (E_\gamma - \overline{E_\gamma})(N - \overline{N})}{\sum_{i=1}^N (N - \overline{N})^2}.$$

Максимальная ошибка, допущенная во время определения энергии, равняется 2 – 3 кэВ.

Энергетические спектрограммы излучения биологических материалов в зависимости от времени облучения и выдержки, полученные Ge:Li детекторами высокого разрешения, как было отмечено выше, характеризуются очень сложной структурой. Поэтому будем рассматривать все детали поэтапно. В начале, после прекращения облучения, радиоактивность биологического материала обусловлена короткоживущими радионуклидами: <sup>38</sup>Cl, <sup>24</sup>Na, <sup>42</sup>K, <sup>32</sup>P, <sup>56</sup>Mn, <sup>82</sup>Br и т.д. Из-за того, что исследуемые биологические материалы в каналах ЯР облучались в полном потоке нейтронов (спектр деления), кроме (n,γ) реакций возможны и другие, например, (n,p), (n,α) и (n,2n). Наблюдаемые в гамма-спектре радионуклиды <sup>58</sup>Co и <sup>54</sup>Fe образуются по (n,p) реакциям на нуклидах <sup>58</sup>Ni и <sup>54</sup>Mn.

Таблица 1. Ядерно-физические характеристики радионуклидов некоторых химических элементов, определяемых в исследуемых биологических материалах.

Химический элемент	Аналитический радионуклид	Распространенность радионуклида в природной смеси, %	Сечение активации, мб	Период полураспада	Энергия гамма-излучения, кэВ (выход гамма-квантов, %)
Fe	<sup>59</sup> Fe	0.29	1280 ± 50	44.5 день	1099.3 (56.5)
					1291.5 (43.2)
Zn	<sup>65</sup> Zn	48.63	760 ± 20	264 день	1115.4 (50.8)
Br	<sup>82</sup> Br	49.314	260	1.47 день	554.3 (70.8)
					776.6 (83.5)
Rb	<sup>86</sup> Rb	72.1654	427 ± 11	18.7 день	1076.6 (8.76)
Se	<sup>75</sup> Se	0.88	51800 ± 1200	120 день	264.6 (59.6)
					279.5 (25.3)
Ba	<sup>131</sup> Ba	0.1058	8800 ± 900	11.5 день	216.1 (100)
Cr	<sup>51</sup> Cr	4.3452	15900 ± 200	27.7 день	320.1 (9.83)
Ag	<sup>110m</sup> Ag	48.1608	4700 ± 200	250 день	657.8 (94.5)
					884.5 (72.6)
Hg	<sup>203</sup> Hg	29.799	4900 ± 100	46.9 день	279.1 (81.4)
Cs	<sup>134</sup> Cs	100	26500 ± 1500	2.06 год	604.7 (97.6)
					795.8 (85.4)
Sb	<sup>124</sup> Sb	42.75	4100 ± 100	60, 2 день	602.6 (97.8)
Co	<sup>60</sup> Co	100	18650 ± 1700	5.27 год	1173 (100)
					1333 (100)
Sc	<sup>46</sup> Sc	100	17400 ± 1100	83.9 день	889.3 (100)
					1120.5 (100)
Au	<sup>203</sup> Au	100	98800 ± 300	2.7 день	411.8 (95.5)

В спектрах гамма-излучения исследуемых биологических материалов через 8 – 10 дней после прекращения облучения интегральным потоком нейтронов в  $10^{19}$  нейтрон /  $\text{см}^2$  все же доминируют вышеуказанные сравнительно короткоживущие радионуклиды, мешающие определению количества интересующих нас долгоживущих радионуклидов. По этой причине мы начинали проводить измерения через 3 – 4 недели после прекращения облучения.

Считаем, что и без показа рисунков можно успешно охарактеризовать спектры гамма-излучения исследуемых биологических материалов, если разделить их на несколько участков энергии:

- до 500 кэВ,
- от 500 до 1000 кэВ,

и дальше

- до 1500 кэВ.

В области энергий до 500 кэВ в гамма-спектре присутствуют следующие радионуклиды:  $^{131}\text{Ba}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{198}\text{Au}$  и  $^{75}\text{Se}$ . Область 200 – 400 кэВ занята в основном фотопиками радионуклида  $^{75}\text{Se}$ . Для определения содержания селена была выбрана энергия 265 кэВ, окрестность которой свободна от мешающих пиковых энергий радионуклидов других элементов. Коротко рассмотрим только те фотопики, которые представляют сумму нескольких очень близких энергий разных радионуклидов.

Фотопик с энергией 280 кэВ образуется в результате наложения двух энергий, принадлежащих  $^{75}\text{Se}$  и  $^{203}\text{Hg}$ . При количественной оценке ртути по долгоживущему радионуклиду  $^{203}\text{Hg}$  необходимо ввести поправку, учитывающую вклад от  $^{75}\text{Se}$ , радиоактивность которого определяется по энергии 265 кэВ. Коэффициент поправки в этом случае равняется 0.42.

В области энергий 500 – 1000 кэВ в спектре гамма-излучения биологических материалов выделяются энергии следующих радионуклидов:  $^{82}\text{Br}$ ,  $^{122}\text{Sb}$ ,  $^{124}\text{Sb}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  и  $^{46}\text{Sc}$ . Энергия 603 кэВ представляет суперпозицию энергий двух радионуклидов:  $^{124}\text{Sb}$  и  $^{134}\text{Cs}$ . Для определения количества Sb была использована поправка, связанная с энергией в 795 кэВ от  $^{134}\text{Cs}$ . В данном случае коэффициент поправки равняется 1.61. Требуется введение поправки и для определения Sc по энергии 889 кэВ. В окрестности указанного значения энергии происходит наложение гамма-линии от  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ , равной 884 кэВ. Вводится поправка, связанная с энергией 657 кэВ, которая принадлежит  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ , свободной от вкладов энергий других радионуклидов. В этом случае коэффициент поправки равняется 0.58.

Энергетический интервал 1000 – 1500 кэВ характеризуется энергиями следующих радионуклидов:  $^{86}\text{Rb}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  и  $^{60}\text{Co}$ . В спектре гамма-излучения биологических материалов присутствует радионуклид  $^{46}\text{Sc}$  с энергией 1120 кэВ. Поэтому при определении интенсивности сигнала радионуклида  $^{65}\text{Zn}$  нужно ввести соответствующую поправку. Поправочный коэффициент в данном случае равняется 0.80.

В **Таблице 1** приведены ядерно-физические характеристики одного и того же биологического образца, одновременно определяемых нами долгоживущих радионуклидов химических элементов: Fe, Zn, Br, Rb, Se, Ba, Cr, Ag, Hg, Cs, Sb, Co, Sc и Au. В последнем столбце таблицы приведены значения энергии гамма-излучения, по интенсивности которых велись расчеты содержания химических элементов в биологических материалах [6, 7].



В заключение следует отметить, что правильная идентификация спектров гамма-излучения и учет вклада «мешающих» энергий в гамма-спектре радионуклидов в биологических материалах имеют важное значение в повышении точности определения содержания следовых химических элементов методом ИНАА.

#### Ссылки

1. Е. В. Сухов, В. И. Фирсов. В сб.: Тез. докл. 2-го Всесоюз. Совещ. по активац. анал., 1968. Ташкент, 34-36.
2. П. Л. Грузин и др. В кн.: Активационный анализ в народном хозяйстве, 1974, Ташкент, Фан, 113-115.
3. E. Lavin. Nucl. Inst. & Meth., 1973, 103, 197-198.
4. M. Hospes, et al. Radiochem. Radioanal. Lett., 1978, 32, 181- 197.
5. В. Я. Выропаев и др. Ат. энер., 1977, 43, 187-190.
6. Ю. В. Линник. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений, 1962, Москва, Физматгиз.
7. И. В. Меднис. Справочник, 1991, Рига, Зинатне.

## HIGHLY PHOTSENSITIVE AND RADIANT ENERGY- SAVING MOLECULAR SWITCHES

L. V. Devadze, J. P. Maisuradze, G. Sh. Petriashvili,  
Ts. I. Zurabishvili, N. O. Sepashvili, Sh. A. Akhobadze

V. Chavchanidze Institute of Cybernetics  
Georgian Technical University  
Tbilisi, Georgia  
devadze2005@yahoo.com

Accepted June 11, 2018

### Abstract

The merocyanine molecules formed as a result of photoinduction with the ultraviolet light are structured as nano-particles, the micelles. The originated micelles deplete the base solution off merocyanine molecules and spiropyran molecules start to transform into the merocyanine molecules to restore the thermodynamic equilibrium. The merocyanine molecules formed photochemically are added by the molecules formed to restore thermodynamic equilibrium. The coloration of the system continues at the expense of the internal energy without consuming the radiant energy. By doping the composition in the polymer by using the innovative method developed by the authors, highly photosensitive and energy-saving polymer films with the ability of optical properties photo-regulation were obtained. Such a saving of the electrical power is quite significant when recording and reading large information massives. Therefore, it is purposeful to use such polymer films as a photosensitive system in modern computers recording and processing the data, molecular machines, etc.

### Introduction

The work is based on an increase of effective photosensitivity of some spiropyrans (spirochromens) in a liquid-crystal matrix, which previously was discovered and studied by the authors [1].

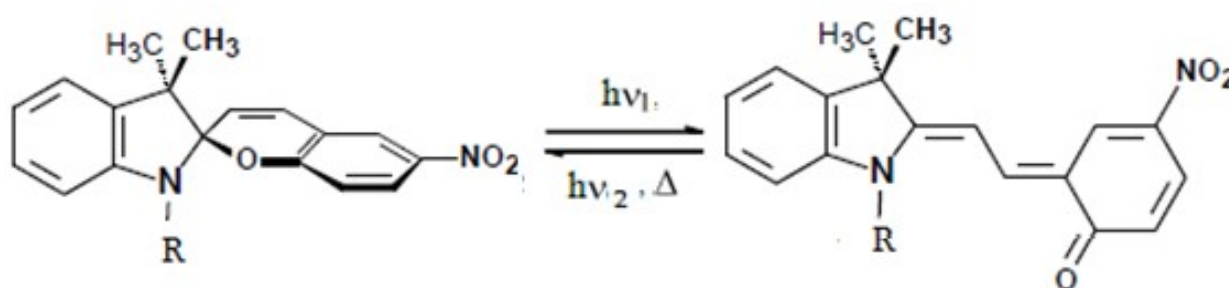
The principal structural detail of the equipment used in molecular electronics and photonics is an electronic switch, or bistable compound, which can exist in two, thermodynamically stable isomeric forms. A transfer from one isomeric form into another under the external impact is followed by a reversible change of its physical properties, which is used to record and read the coded information. In terms of informatics, these structures are

associated with the concepts of logical zero (0) and logical one (1), while the regroupings between the bistable structures are associated with the information shifts.

Some important advantages of the bistable photochromic molecular systems to other types of switches are: ecological purity of the energy, i.e. the light, needed to initiate switching, swift response (at a femtosecond level), availability of modern optical equipment (lasers, radiation detectors), etc. The photochromic molecular switches can be used as the basis to make: three-dimensional data storage and processing systems, regulated filters of optical density, logical units of the molecular machines, different kinds of sensors (e.g. chemosensors used to detect heavy metal ions), containers delivering the drugs in a living body, etc. [2].

## Results and discussion

A photochromic molecule is made up of two units: a photoantenna, which absorbs the light quantum, and a functional unit, which responds to the changes induced by the absorption in the photoantenna. In such systems, the light plays the role of a trigger mechanism. The spiropyrans among the photochromes are distinguished for preparation easiness and wide structural variations that allows obtaining the compounds with desirable thermodynamic, kinetic, spectral and photochemical properties. A photo-initiated isomerization of spiropyrans is given in **Figure 1**.



**Figure 1.** R = C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>, n = 1 – compound I, and n = 14 – compound II.

A photoinduced regrouping of spiropyran cyclic structure in coplanar merocyanine is followed by the changes of such physical properties of the compound, as dipole moment, polarization capability, absorption, irradiation spectra, etc. The macroscopic properties of the compound change as well.

A photoinduced isomerization of spiropyrans is characterized by a high quantum yield of direct and inverse reactions and record-high coefficients of two-photon absorption for both isomers. This fact made it possible to create the first prototype of three-dimensional molecular memory, with the volume of information recorded in it by using the ultraviolet light reaching  $\sim 10^{14}$  bit / cm<sup>3</sup> [3].

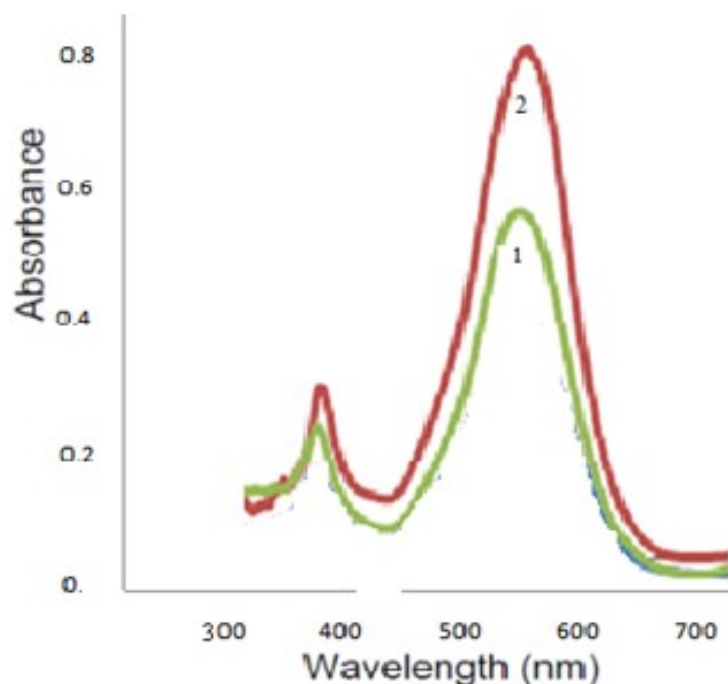
Surface activity of photoinduced merocyanine of some spiropyrans is important. A spiropyran molecule, which contains a long alkyl radical at a nitrogen atom, in terms of the UV light photoinduction, is transformed into amphiphilic, merocyanine molecule: with zwitterion (lyophilic) and non-polar (lyophobic) fragments. Surfactant molecules in a polar solvent with

the balance between the lyophilic and lyophobic fragments of a molecule (length of alkyl radical  $\geq C_8H_{17}$  and  $\leq C_{18}H_{37}$ ), at a certain temperature and in terms of critical concentration of micelle formation, self-organize into nanoparticles, the micelles [4]. The physical-chemical properties of nanoparticles differ from the properties of both, the individual molecules and the massive body. As a result of the study of nanostructures united as stable supra-molecular structures under the influence of intramolecular forces, it is possible to create and develop the desirable nanomaterials with properties better than those of the natural materials [5].

Let us consider a system, which represents a nemato-chiral liquid-crystal composition doped with a spiropyran with a long alkyl radical ( $R = C_{14}H_{29}$ ) at the nitrogen atom and photoinduced reaction taking place in it. The initial single-phase equilibrium solution is colorless. Immediately after switching the UV light, the solution is colored and the originated merocyanine molecules, under the influence of the lyophobic forces, self-structure into the micelles. At this moment, their Gibbs potential is minimal. A nanophase is formed in the solution. At a macro-level, the solution remains single-phase and homogenous, but it is double-phase and heterogeneous at a nano-level. At a given temperature, before the irradiation, the solution consists of a matrix, spiropyran and small number of merocyanine molecules, which are in thermodynamic equilibrium with the spiropyran. In terms of the thermodynamic equilibrium,  $K_T < K_{PH}$ , where  $K_T$  is a constant of a thermodynamic equilibrium and  $K_{PH}$  is a constant of a photochemical equilibrium. During the exposition with UV light, the thermodynamic equilibrium of the composition is violated, the system approaches the photochemical equilibrium and the solution gets colored. The formation and increased concentration of the merocyanine molecules in the irradiation process is followed by their structuring as micelles. The critical concentration of micelle formation, due to its inversely proportional relationship with the alkyl radical length, is low for the compounds with a long alkyl radical and micelle formation starts as soon as the trigger is switched. The pseudophase formed at the nano-level in the base solution, the micelles, deplete the base solution of merocyanine molecules and spiropyran molecules start to transform into the merocyanine molecules to restore the thermodynamic equilibrium. The merocyanine molecules formed photochemically are added by the merocyanine molecules formed to restore the thermodynamic equilibrium, i.e. the process is realized at the expense of the internal energy and the system coloration continues without consuming radial energy. During the photo-reaction described above, at the moment the trigger is switched off, before the relaxation process starts, the photochemical equilibrium in the system is established, while thermodynamic equilibrium is violated. The recording of the coded information must be occurred during thermodynamic equilibrium, since this is a photochemical process. To save the recorded information, it is necessary to control the duration of the relaxation processes by means of solvent polarity, temperature and etc.

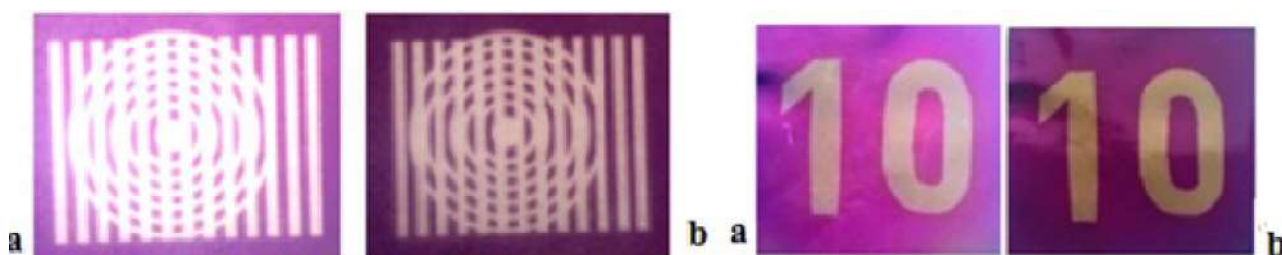
For practical use, it is comfortable to place the spiropyrans in the solid media, e.g. their integration with a polymer matrix and preparation of photosensitive systems to record, store and read out the information or creation of three-dimensional optical devices. Clearly, the polymer matrix must have satisfactory physical-mechanical properties: high transparency, compatibility with the spiropyran and free volume for the isomerization of an integrated molecule. The experiment has demonstrated that immediate placement of the molecule in the polymer leads to the constrained free movement. The reaction of discoloration taking place in the dark is no more of the first order and the possibility of nanostructuring, the micelle

formation, is limited. By means of the study, we concluded that the degree of structuring is particularly high in a self-organized liquid-crystal media. Therefore, it is better to place the spiropyran molecule in the polymer not immediately, but by means of a liquid crystal. With this thought in mind, we realized the microcapsulating of the liquid-crystal composition doped with spiropyran in polymethylmethacrylate (PMMA) by using the innovation technology designed by us [6].



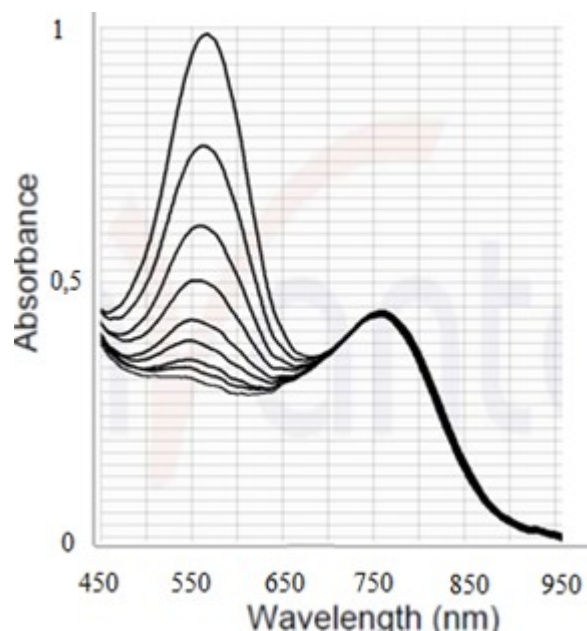
**Figure 2.** Absorption spectra of photoinduced spiropyran doped nemato-chiral liquid-crystal compositions integrated with a polymer by microcapsulating 1 – R = CH<sub>3</sub> (compound I) and 2 – R = C<sub>14</sub>H<sub>29</sub> (compound II).

The experiment has demonstrated that between two equimole compositions, one of which is doped with a short-radical spiropyran and another is doped with a long-radical analogue, when the spiropyran is transformed into merocyanine, in terms of the same exposition, the height of the absorption band of the latter composition exceeds that of the former (**Figure 2**), i.e. in order to obtain the same quality of the recorded information, less radiant energy is consumed in the latter case. This result was clearly seen when recording the image on the polymer films (**Figure 3**).



**Figure 3.** a – doped with compound I and b – doped with compound II.

At using the method of microcapsulating, based on the innovation technology designed by us, all properties of the composition in the capsule are preserved and the degree of freedom of a molecule is high; the process of nanostructuring is not constrained, the course of the relaxation processes, for example, the spontaneous reaction of discoloration, is of the first order (**Figure 4**), etc.



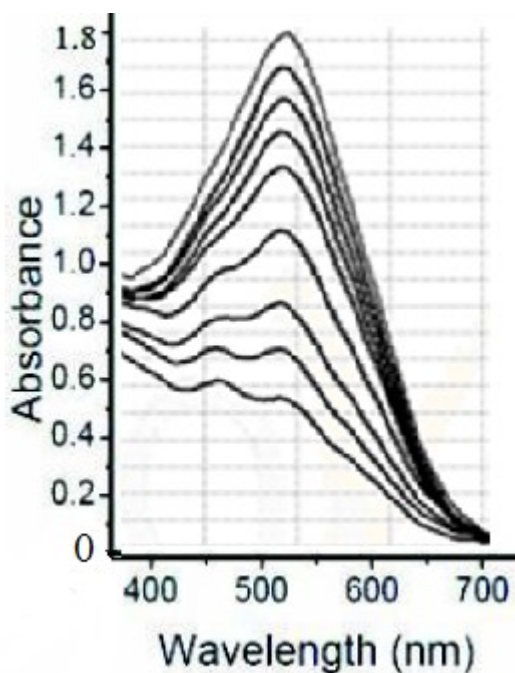
**Figure 4.** Process of dark decoloration of photoinduced by UV light of polymeric films. Shortwave band corresponds to merocyanine and longwave band corresponds to Bragg selective reflection.

The saving of the electrical power at studying the laboratory samples is insignificant, but it is quite significant during recording and reading out large information massives.

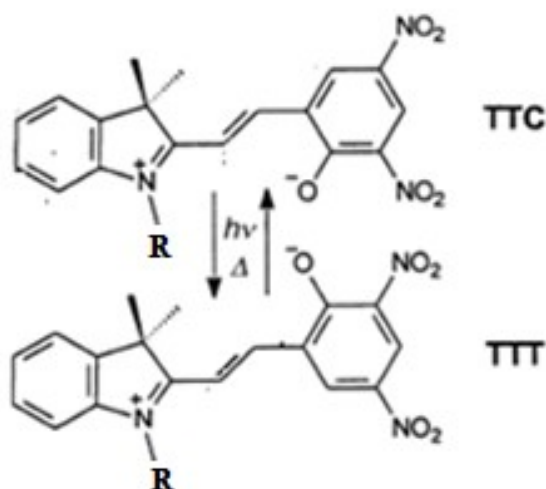
Nemato-chiral liquid-crystal compositions doped with dinitro-substituted spiropyran in position 6-8 (compound III) turned out to be interesting.

In case of two electro-acceptor  $\text{NO}_2$  groups, in the molecule of compound III, C–O bond is disrupted right in the initial state. Therefore, the solution in the dark is colored, i.e. the thermodynamic equilibrium is shifted to merocyanine,  $K_T > K_{PH}$ . Negative (inverse) photochromy, typical to these compounds, is used to create two-direction optical switches, data storage and processing systems, as well as in the fields of biology, military (for a soldier's uniform camouflage), etc. [7 – 9]. Micelle formation of compound III in liquid-crystal matrix, starts as soon as the solution is prepared, without a trigger. It is evidenced by the anomalously high solubility of the compound (with 20 wt. %). For a short-radical analogue, this value is one order less [8]. We studied the kinetics of the spontaneous reaction of the solution discolored with visible light in nemato-chiral liquid-crystal matrix, at a room temperature (**Figure 5**). The absorption band of spectrum consists of two peaks, as the coloration reaction starts. The shortwave peak, trans-trans-cis-isomer (TTC) purportedly, is higher than the relevant absorption band of longwave trans-trans-trans-isomer (TTT) (**Figure 6**).





**Figure 5.** Dark coloration of discolored solution of compound III in liquid-crystal matrix (between the curves,  $\tau \approx 1.5$  min).



**Figure 6.** R = C<sub>14</sub>H<sub>29</sub> – compound III.

After some time, the two peaks reach the same height and then, the longwave peak starts increasing and the shortwave peak starts lowering and merging with the longwave peak, evidencing that at restoring the thermodynamic equilibrium in the solution a short-term life TTC isomer is transformed into stable TTT. Nanostructuring of the system increased the life duration of TTC isomer to some minutes (**Figure 5**).

In the non-micelled solutions of compound III, with a short radical at a nitrogen atom, due to the short life of TTC ( $\tau \approx 95$  ps), observation of this process is possible only by using a superfast equipment, so called flash photolysis [11].

## Experimental

We observed the process of saving the radiant energy in the nemato-chiral liquid-crystal compositions doped with short- and long-radical spiropyran, microcapsulated in polymer films. Spiropyran 6-nitro-2H-chromen-2-spiro-2'-N-alkyl-3', 3'-dimethylindoline and all its derivatives examined in the work are synthesized by us [10, 12]. We used certified liquid crystals by Merck firm to make liquid-crystal compositions.

For practical use, as mentioned above, it was necessary to place the composition in the solid polymer media by microcapsulating method and prepare photosensitive films on their basis [13]. For the light generation of the image, we irradiated the photochromic polymer film with mercury lamp HG 100 AS and 340 – 420 nm wide-band filter. The image was deleted by using the same light source, by using a 540 – 630 nm wide-band filter. We studied the absorption and reflection spectra by means of optic-fiber spectrometer Avaspec-2048, Avantes, linked to the computer.

## Conclusion

The equipment used in molecular electronics and photonics can be switched and operated by using the radiant energy: the information is recorded by using the ultraviolet (UV) light and is read with the visible light or fluorescence; however, electrical power is consumed in any case. The work proposes highly photosensitive and stable molecular switches created by microcapsulating in the polymer of nemato-chiral liquid-crystal compositions doped with long-radical spiropyran. They help saving the electrical power needed for the photoinduction occurring during the photochromic transformations.

## References

1. K. Japaridze, L. Devadze, J. Maisuradze, G. Petriashvili, Ts. Zurabishvili, I. Mzhavanadze, N. Sepashvili. *Bull. Georg. Natl. Acad. Sci.*, 2013, 7, 57.
2. R. Klajn. *Chem. Soc. Rev.*, 2014, **43**, 148.
3. D. A. Parthenopoulos, P. M. Rentzepis. *Science*, 1989, **24**, 842.
4. J. N. Israelachvili, D. J. Mitchell, B. W. Ninham. *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 2*, 1976, 72, 1525.
5. R. Klajn, J. Fraser Stoddart, B. A. Grzybowski. *Chem. Soc. Rev.*, 2010, 39, 2203.
6. K. Japaridze, Ts. Zurabishvili, G. Petriashvili. *Georgian Patent # P 5232*, 2011.
7. V. A. Barachevsky. *Rev. J. Chem.*, 2017, 7, 334.
8. V. A. Barachevsky, T. M. Valova. *Opt. & Spectrosc.*, 2017, 123, 404.
9. W. Tian, J. Tian. *Dyes & Pigm.*, 2014, 105, 66.
10. K. G. Japaridze, L. V. Devadze, J. P. Maisuradze, N. O. Sepashvili, G. Sh. Petriashvili. In: *Abs. 7th All-Russ. Conf. "Molecular Modeling"*, 2011, Moscow, **30**.

11. J. Buback, M. Kullmann, F. Langhojer, P. Nuernberger, R. Schmidt, F. Wurthner. *J. Am. Chem. Soc.*, 2010, 11, 132.
12. K. G. Japaridze, J. P. Maisuradze, G. G Gachechiladze, E. S. Gomelauri. *Chem. Heterocyclic Comp.*, 1971, 6, 775.
13. G. Petriashvili, M. P. de Santo, L. Devadze, Ts. Zurabishvili, N. Sepashvili, R. Gary, R. Barberi. *Macromol. Rap. Commun.*, 2016, 37, 500.

ლითონთა იონების (Ag(I), Co(II), Ni(II), Zn(II) და Mn(II))  
გავლენა ციანობაქტერიის *Spirulina platensis* ინტაქტური  
უჯრედების ცალკეულ კომპონენტებზე ულტრა-  
იისდერი-ხილული სინათლის სპექტროსკოპიით

ე. დელალუტაშვილი, ნ. ბაღდავაძე

ე. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტი  
ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
თბილისი, საქართველო

მიღებულია 2018 წლის 2 ივლისს

ანოტაცია

შესწავლილ იქნა ლითონთა იონების (Ag(I), Co(II), Ni(II), Zn(II) და Mn(II)) გავლენა ციანობაქტერიის *Spirulina platensis*-ის ინტაქტური უჯრედების კომპონენტებზე ულტრაიისფერი-ხილული სინათლის სპექტროსკოპიით. ნაჩვენებია, რომ აღნიშნული იონების *Spirulina platensis*-ის ინტაქტური უჯრედების ცალკეულ კომპონენტებზე გავლენის ეფექტურობები ერთმანეთისაგან განსხვავებულია.

სპირულინა ერთუჯრედიანი და ბოჭკოვანი ცისფერ-მწვანე წყალმცენარეა, რომლის გამოყენებაც სულ უფრო მეტად პოპულარული ხდება ჯანმრთელი საკვების წარმოებაში, მედიცინაში, ფარმაციაში, ნანოტექნოლოგიებში და ა.შ. აგრეთვე, სპირულინა შესწავლილ იქნა, როგორც ცხოველთა უჯრედების ზრდის სტიმულატორი [1]. ის, ჩვეულებრივ, იმყოფება წყლის ეკოსისტემაში.

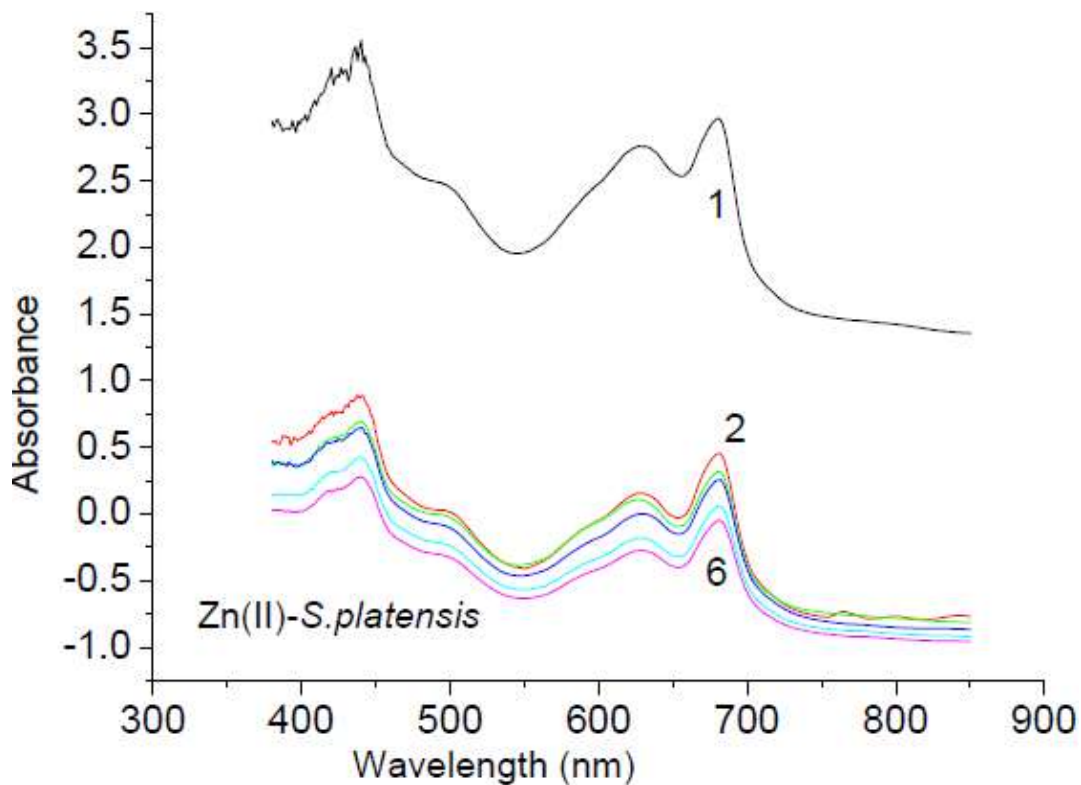
სპირულინა ბუნების ერთ-ერთი პირველი ფოტოსინთეზური ორგანიზმია, რომელსაც შეუძლია გარდაქმნას სინათლის ენერგია რთული მეტაბოლური პროცესების მეშვეობით. სპირულინას ოპტიმალური ზრდის დიაპაზონია pH = 9 – 11. უძველეს დროში მექსიკელები (აცტეკები) ამ მიკროორგანიზმს იყენებდნენ როგორც საკვებს. დღეისათვის იგივე მიზნით მისი გამოყენება აფრიკული ტომების (მაგალითად, Kanembu) მიერ ხდება. მისი ქიმიური შემადგენლობა შეიცავს ცილებს (50 – 70 %), ნახშირწყლებს (15 – 25 %), შეუცვლელ ცხიმოვან მჟავებს, ვიტამინებსა და ძირითად ცილას ფიკოციანინს (14 – 17 %). ის ძლიერი წყალში ხსნადი ანტიდამჟანგავია. ფიკოციანინი ცნობილია, როგორც იმუნური სისტემის სტიმულატორი [2].

ციანობაქტერიებს გარემოში ლითონების არსებობის ინდიკატორებად თვლიან. შრომებში [3 – 5] ჩვენ მიერ შესწავლილ იქნა სხვადასხვა ლითონთა *in vitro* ბიოსორბცია და აკუმულირება ამ წყალმცენარისა და მისი ძირითადი ცილის – ფიკოციანინის მიერ.

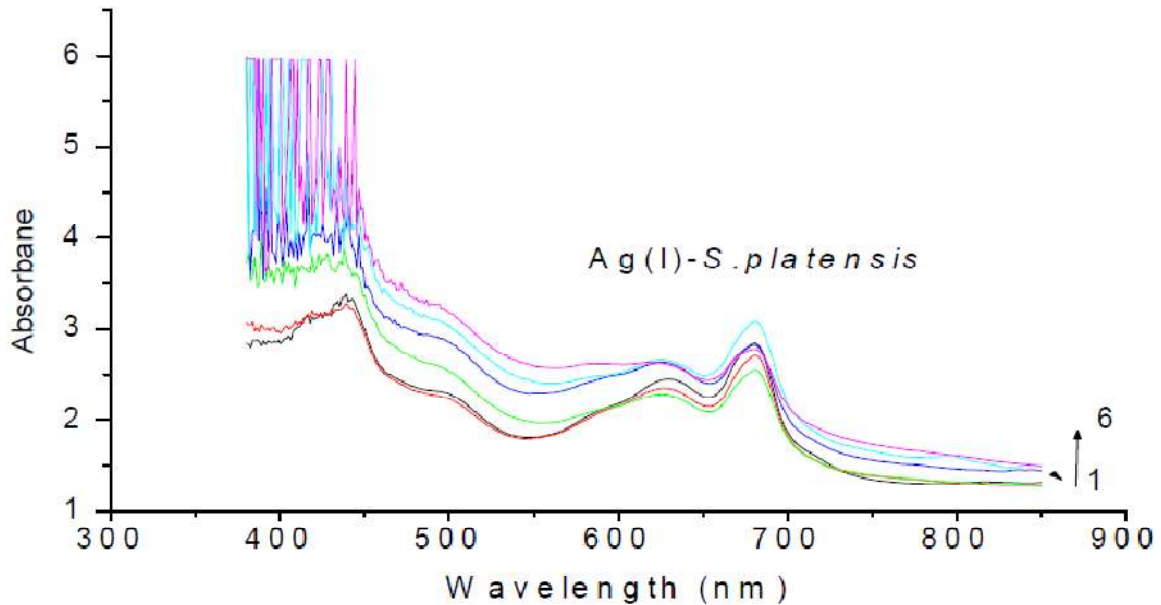
წინამდებარე შრომა შეეხება ზოგიერთი ლითონის იონის გავლენას ციანობაქტერიის *Spirulina platensis* ინტაქტური უჯრედების ცალკეულ კომპონენტებზე ულტრაიისფერი–ხილული სინათლის სპექტროსკოპიით.

ექსპერიმენტები ტარდებოდა ლუმინესცენტური ნათურებით შექმნილი მუდმივი განათების რეჟიმში უწყვეტი ბარბატირებით + 32 °C ტემპერატურაზე. წყალმცენარის კულტივირება წარმოებდა Zarrouk-ის [6] მკვებავ გარემოში (pH = 9). ნიმუშების აღება ხორციელდებოდა 6 დღის შემდეგ (სტაციონარულ ფაზაში). შთანთქმის სპექტრების ჩაწერა *Spirulina platensis*-ის ინტაქტურ უჯრედებზე ლითონთა იონების გავლენის შესასწავლად განხორციელდა 300 – 850 ნმ ტალღის სიგრძეთა ინტერვალში ულტრაიისფერი–ხილული სინათლის სპექტრომეტრზე Cintra 10e (მონაცემთა ინტერვალი: 1.254, სკანირების სიჩქარე: 150). ექსპერიმენტებში გამოყენებულ იქნა ქიმიურად სუფთა ლითონთა იონები: Co(II)-ის, Ni(II)-ის, Zn(II)-ისა და Mn(II)-ის ქლორიდების, ხოლო Ag(I)-ის შემთხვევაში ნიტრატის სახით. ყველა ხსნარი მომზადდა ორგზის დისტილირებულ წყალზე პოლიეთილენის ჭურჭელში.

სურათებზე 1 და 2, როგორც მაგალითი, წარმოდგენილია *Spirulina platensis*-ის შთანთქმის სპექტრი 380 – 850 ნმ ტალღის სიგრძეთა დიაპაზონში (მრუდი 1) და მასზე თუთიისა(II) და ვერცხლის(I) იონების გავლენა (მრუდები 2 – 6).



სურათი 1. *Spirulina platensis*-ის შთანთქმის სპექტრი (1) და თუთიის გავლენა შთანთქმის ინტენსივობაზე. [C<sub>ლითონი</sub>] – (1 – 6) → 0 – 6 მლ / მოლი.



**სურათი 2.** *Spirulina platensis*-ის შთანთქმის სპექტრი (1) და ვერცხლის გავლენა შთანთქმის ინტენსივობაზე. [C<sub>ლითონი</sub>] – (1 – 6) → 0 – 6 მლ / მოლი.

აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია ტალღის სიგრძე, ხოლო ორდინატთა ღერძზე – შთანთქმის ინტენსივობა. როგორც სურათიდან ჩანს, შთანთქმის ინტენსივობის მაქსიმუმები დაიმზირვება 410, 440, 628 და 681 ნმ ტალღის სიგრძეებზე. ლიტერატურიდან ცნობილია, რომ ეს ინტენსივობები შეესაბამება კაროტინოიდებს, *Spirulina platensis*-ის ძირითად ცილას – ფიკოციანინს და ქლოროფილს.

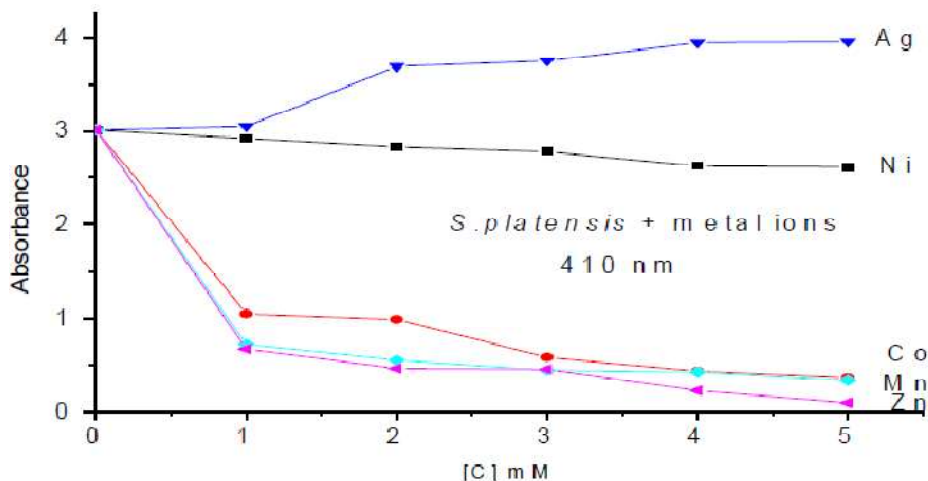
ამგვარაა, რომ თუთიის იონების დამატებისას შთანთქმის ინტენსივობა ამ ტალღის სიგრძეებზე მცირდება. შთანთქმის ინტენსივობის ცვლილება დაფიქსირდა ტყვიისა და სპილენძის იონებისათვისაც [7]. ეს ცვლილება ატარებს განსხვავებულ ხასიათს სხვადასხვა ლითონის იონის შემთხვევაში. ტყვიისა და სპილენძის შთანთქმის სპექტრების შედარებისას აღმოჩნდა, რომ ტყვია უფრო ეფექტურად მოქმედებს *Spirulina platensis*-ზე, სპილენძთან შედარებით როგორც 440 ნმ ტალღის სიგრძეზე, სადაც გაერთიანებულია ქლოროფილისა და კაროტინოიდების სპექტრები, ისე – 628 და 681 ნმ ტალღის სიგრძეებზე, რომლებიც შეესაბამება ფიკოციანინსა და ქლოროფილს.

თუთიისაგან განსხვავებით, ვერცხლის იონების დამატებისას შთანთქმის ინტენსივობა მატულობს და ეს დაიმზირვება 410, 440, 628 და 681 ნმ ტალღის სიგრძეებზეც, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ქლოროფილის, ფიკოციანინისა და კაროტინოიდების ინტენსივობაზე ვერცხლი ეფექტურად ზემოქმედებს.

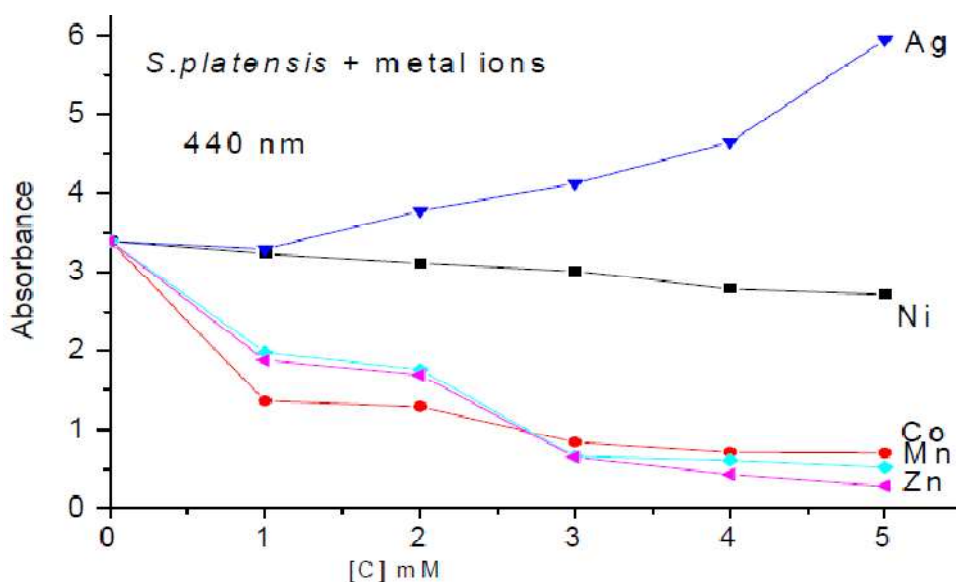
მსგავსი კვლევები გაგრძელდა სხვადასხვა ლითონთა იონების ეფექტურობის შესასწავლად და ერთმანეთთან შესადარებლად. თითოეული ექსპერიმენტი ტარდებოდა 3-ჯერ.

**სურათებზე 3 – 6** წარმოდგენილია ლითონთა იონების – Ag(I), Co(II), Ni(II), Mn(II) და Zn(II) – გავლენით შთანთქმის ინტენსივობის ცვლილება ქლოროფილის, ფიკოციანინისა და კაროტინოიდებისათვის. 410 ნმ ტალღის სიგრძე ქლოროფილის შთანთქმის პიკს შეესაბამება.





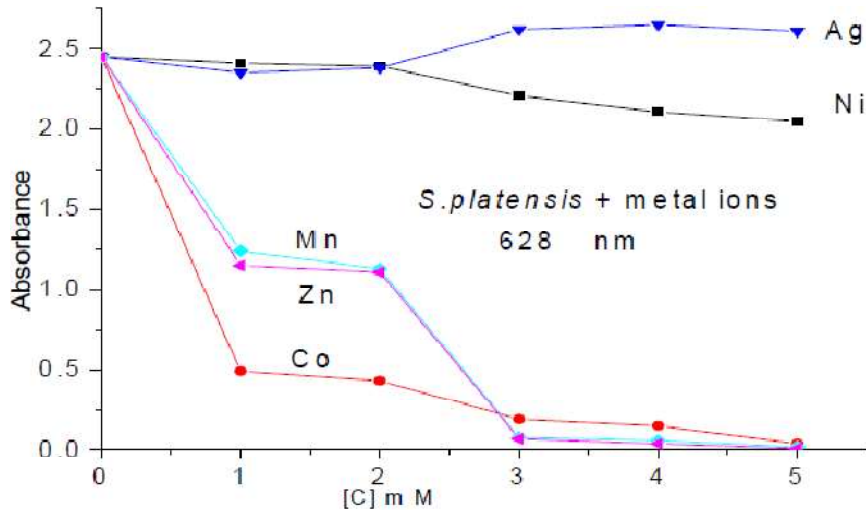
სურათი 3. *Spirulina platensis*-ზე ლითონთა იონების გავლენა 410 ნმ ტალღის სიგრძის სინათლის შთანთქმაზე. სტანდარტული ცდომილება არ აღემატება 6 – 7 % -ს.



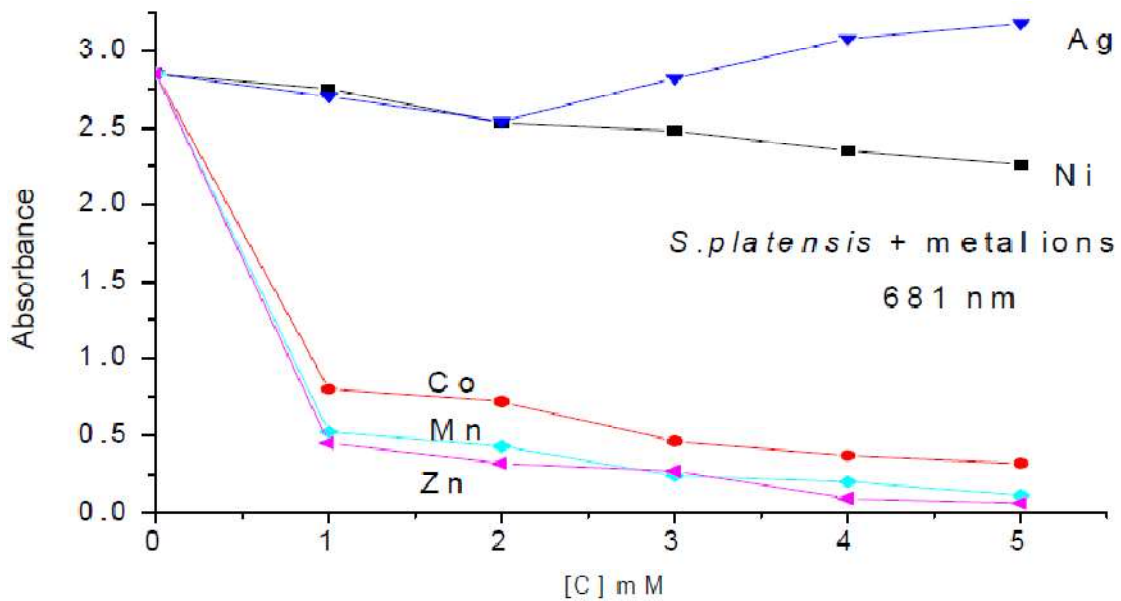
სურათი 4. *Spirulina platensis*-ზე ლითონთა იონების გავლენა 440 ნმ ტალღის სიგრძის სინათლის შთანთქმაზე. სტანდარტული ცდომილება არ აღემატება 6 – 7 % -ს.

როგორც სურათიდან 3, ჩანს (და როგორც უკვე ავღნიშნეთ) ამ ტალღის სიგრძეზე ვერცხლის იონებისათვის შთანთქმის ინტენსივობა მატულობს, ნიკელის იონებისათვის თითქმის არ იცვლება, ხოლო Co(II), Mn(II) და Zn(II) იონებისათვის კონცენტრაციის ზრდა იწვევს შთანთქმის ინტენსივობის შემცირებას. ამ სამი იონიდან ყველაზე მეტად ცვლილება დაკავშირებულია თუთიასთან, ყველაზე ნაკლები კი – კობალტთან.

ანალოგიური სურათია 440 ნმ ტალღის სიგრძეზე, რომელიც ქლოროფილისა და კაროტინოიდების შთანთქმის გაერთიანებულ პიკს წარმოადგენს. 440 ნმ ტალღის სიგრძეზეც ვერცხლის იონების დამატებით ინტენსივობა იზრდება უფრო მკვეთრად, ვიდრე 410 ნმ-ზე, ხოლო Co(II)-ის, Ni(II)-ის, Mn(II)-ისა და Zn(II)-ის ეფექტურობის რიგი იგივეა, რაც დაიმზირებოდა 410 ნმ-ზე.



სურათი 5. *Spirulina platensis*-ზე ლითონთა იონების გავლენა 628 ნმ ტალღის სიგრძის სინათლის შთანთქმაზე. სტანდარტული ცდომილება არ აღემატება 6 – 7 % -ს.



სურათი 6. *Spirulina platensis*-ზე ლითონთა იონების გავლენა 681 ნმ ტალღის სიგრძის სინათლის შთანთქმაზე. სტანდარტული ცდომილება არ აღემატება 6 – 7 % -ს.

რაც შეეხება 628 ნმ-ზე შთანთქმის ინტენსივობის ცვლილებას, რომელიც *Spirulina platensis*-ის ძირითადი ცილის – ფიკოციანინის შთანთქმის პიკს წარმოადგენს, მცირე კონცენტრაციების შემთხვევაში (1 – 2 მლ / მოლი) ვერცხლისა და ნიკელის იონების გავლენა თითქმის არ დაიბზირება, ხოლო კონცენტრაციის შემდგომი ზრდისას ვერცხლის შემთხვევაში ადგილი აქვს შთანთქმის ინტენსივობის ზრდას, მაშინ როდესაც ნიკელისათვის – უმნიშვნელო შემცირებას. Co(II)-ის, Mn(II)-ისა და Zn(II)-ის ეფექტურობის შედარებიდან აღნიშნულ ტალღის სიგრძეზე 410 და 440 ნმ-ზე მოპოვებულ მონაცემებთან დაიბზირება განსხვავება. ეს არის Co(II)-ის იონების მიერ

ინტენსივობის მეტი შემცირება მისი კონცენტრაციის ზრდისას (1 – 3 მლ / მოლი), ვიდრე Mn(II)-ისა და Zn(II)-ის იონების კონცენტრაციების ზრდის შემთხვევაში.

შრომებში [3 – 5 ] ჩვენს მიერ განსაზღვრულ იქნა მძიმე და ტოქსიკურ ლითონთა იონების ურთიერთქმედების ენერგია *Spirulina platensis*-დან გამოყოფილ ფიკოციანინთან. იზოლირებული ფიკოციანინისთვის მიღებული შედეგებიდან აშკარაა რომ ლითონთა იონების – Cu(II), Cr(III), Zn(II), Ag(I) და Pb(II) – ურთიერთქმედების ბუნება C-ფიკოციანინთან *in vitro* ატარებს კოოპერატიულ ხასიათს. ურთიერთქმედების ასეთი ტენდენცია შეინიშნება როგორც თერმოდინამიკული (წონასწორული დიალიზი), ასევე სპექტრული (ფლუორესცენტული ტიტრაცია) მეთოდებით შესწავლისას. ამასთან იონებს შორის ყველაზე მეტი ეფექტურობით გამოირჩევა Ag(I) და ყველაზე მეტ მსგავსებასაც ცისტეინის ნაშთებთან (რომლებიც ფიკოციანინში ძირითად აქტიურ ცენტრებს წარმოადგენენ) ვერცხლის იონები ამჟღავნებენ. ვერცხლის იონების *in vitro* გავლენისაგან განსხვავებით, სადაც ეს იონები შთანთქმის და ფლუორესცენციის ინტენსივობის ყველაზე დიდი შემცირებით გამოირჩევიან, *Spirulina platensis*-ის ინტაქტურ უჯრედებში კი პირიქით – მათი დამატება შთანთქმის ინტენსივობის მატებას იწვევს.

**სურათზე 6**, სადაც 681 ნმ ტალღის სიგრძეზე ლითონთა იონების – Ag(I), Co(II), Ni(II), Mn(II) და Zn(II) – *Spirulina platensis*-ის ინტაქტურ უჯრედებზე გავლენაა ნაჩვენები, აშკარაა, რომ ინტენსივობის ეს ცვლილება თითქმის იდენტურია **სურათზე 4** წარმოდგენილი ცვლილებისა. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ 440 და 681 ნმ-ზე ქლოროფილის შთანთქმის მაქსიმუმებია, მაშინ შეიძლება დავასკვნათ, რომ *Spirulina platensis*-ის ქლოროფილის მიერ შთანთქმის ინტენსივობის ორივე პიკზე ლითონთა აღნიშნული იონები ერთნაირად მოქმედებს.

### დამოწმებანი

1. S. D. Stella, G. Usharani, S. Sivasakthi. Int. J. Microbiol. Res., 2013, 4, 3, 219-226.
2. N. Iijima, S. Jensen, G. Knutsen. J. Appl. Phyc., 1982, 5, 495-504.
3. E. Gelagutashvili. Chapter 9, In: Plants and Microbes, 2014, 154-174.
4. E. Gelagutashvili. Am. J. Biomed. & Life Sci.. 2013, 1, 1, 12-16.
5. E. Gelagutashvili. Am. J. Nano Res. & Appl., 2017, 5, 3-1, 5-8.
6. G. Zarnouk. Doctoral Thesis, 1966, Paris, Fact. Sci. Univ. Paris, 146 pp.
7. ე. ლელაღუტაშვილი, ნ. ბაღდავაძე, ა. რჩელიძე. Nano Studies, 2017, 15/16, 47-52.

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРАДИАЦИОННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ФТОРИДА ЛИТИЯ С ВЫСОКОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ДВУХВАЛЕНТНОГО МЕТАЛЛА (Mg и Pb)

В. Г. Квачадзе, М. Г. Абрамишвили, М. В. Галусташвили, Д. Г. Дриаев

Институт физики им. Э. Андроликашвили  
Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили  
Тбилиси, Грузия  
maxsvet@yahoo.com

Принята 4 октября 2018 года

### Аннотация

Исследованы механические свойства, чистых и легированных двухвалентными ионами (Pb и Mg) монокристаллов LiF после гамма-облучения. Обнаруженные в легированном LiF при сравнительно высоких дозах ( $\geq 4$  Мрад) аномалии связаны с существенным понижением скорости радиационного упрочнения и восстановлением пластичности облученного образца. Наблюдаемое явление обусловлено возникновением в результате облучения одной активной системы плоскостей скольжения и распадом крупных скоплений.

### Введение

Многолетние интенсивные исследования кристаллов LiF обусловили возможность их довольно широкого практического применения. В первую очередь имеются в виду детекторы ядерного излучения [1] и активные элементы ближней инфракрасной области для перестраиваемых лазеров [2].

Указанные исследования способствовали не только выявлению новых свойств, но и существенному улучшению уже обнаруженных. Так, чувствительность детекторов на основе LiF за это время повысилась примерно в 100 раз; возросли термическая стабильность и мощность излучения  $F^{+2}$ -лазерных центров. В обоих случаях существенную роль играют примеси, особенно двухвалентные ионы металлов.

Настоящая работа лежит в русле исследований последних лет и ставит своей целью изучение особенностей поведения (имеются в виду механические характеристики) гамма-облученных кристаллов LiF с высокой концентрацией примесей Mg и Pb.

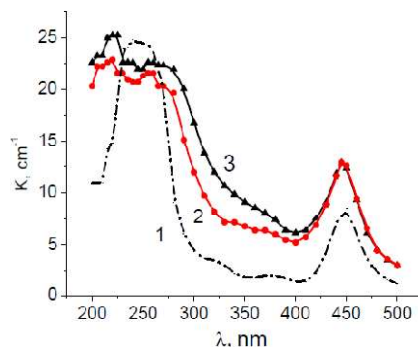
### Эксперимент

Измерялись диаграммы напряжение–деформация  $\sigma(\varepsilon)$  и спектры оптического поглощения  $\gamma$ -облученных монокристаллов фторида лития (изготовлены фирмой ВРР): номинально чистых (н.ч., общее количество примесей  $\sim 10^{-4}$  мол. %) и содержащих двухвалентные металлические ионы свинца (LiF:Pb,  $1 \cdot 10^{-1}$  мол. %) и магния (LiF:Mg,  $3 \cdot 10^{-2}$  мол. %). Суммарное количество остальных примесей (Fe, Mn, Ni, Cu и т.д.) в образцах было существенно ниже. Большая часть примеси в LiF:Pb и LiF:Mg находилась в виде крупных преципитатов (типа  $MgF_2$ ), которые возникают в случае концентрации примесного металла выше предела растворимости, о чем свидетельствуют т.н. фоновые ямки, возникающие после химического травления образца [3]. Пострадиационные измерения спектров оптического поглощения проводились на спектрофотометрах СФ–29

и AvaSpec-2048-14-USB2. Диаграмма напряжение–деформация снималась на деформационной машине DY-22 со скоростью  $10^{-4} \text{ с}^{-1}$ . Эксперименты проводились при комнатной температуре.  $^{60}\text{Co}$  служил источником  $\gamma$ -излучения интенсивности  $0.04 \text{ Гр / с}$ .

### Результаты и обсуждение

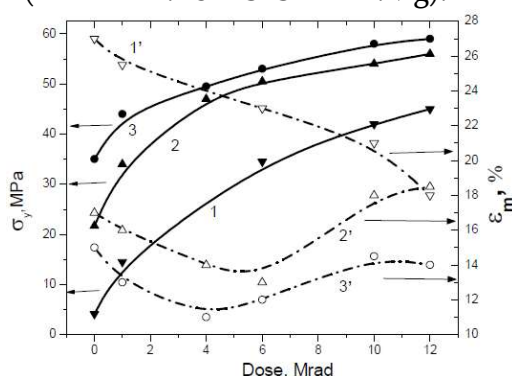
На **Рисунке 1** представлен характерный спектр поглощения для LiF:Pb и LiF:Mg после облучения дозой 4 Мрад.



**Рисунок 1.** Спектры оптического поглощения:  
1 – н.ч. LiF, 2 – LiF:Mg и 3 – LiF:Pb (4 Мрад).

В спектрах примесных кристаллов (кривые 2 и 3) в области электронного F-центра (250 нм) наблюдается структура – результат двойного встраивания этих центров: в узлах регулярной решетки и вблизи искаженных областей (например, F-центры вблизи  $\text{Mg}^+\text{V}_c^-$  (268 нм) и  $\text{Mg}^0\text{V}_c^-$  (225 нм) [4]). Никаких особенностей в районе 250 нм в н.ч. LiF (кривая 1) не наблюдалось. С увеличением дозы  $\gamma$ -облучения указанная микроструктура постепенно исчезает. Ярко выражен  $\text{F}_2^-$  (450 нм) и другие агрегатные центры окраски (300 – 400 нм).

На **Рисунке 2** представлены зависимости предела текучести  $\sigma_y$  и максимальной пластической деформации  $\varepsilon_m$  от дозы  $\gamma$ -облучения для номинально чистых (1–1') и примесных монокристаллов (2–2' – LiF:Pb и 3–3' – LiF:Mg).

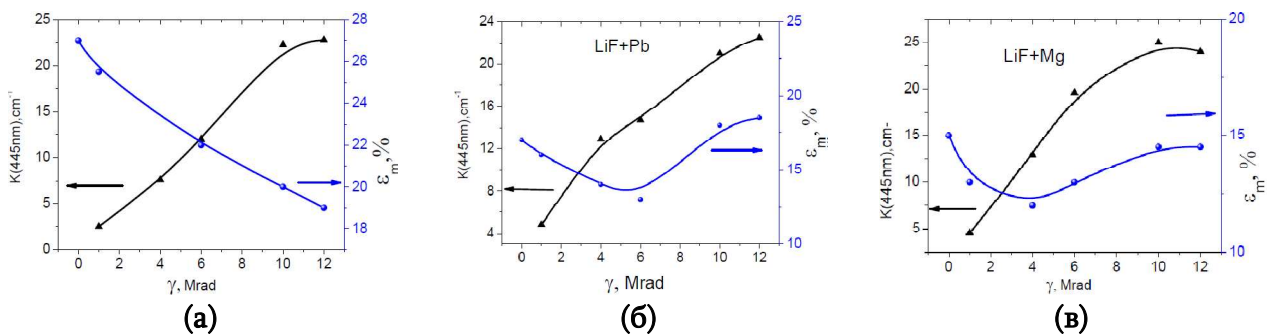


**Рисунок 2.** Зависимость предела текучести и максимальной пластической деформации от дозы  $\gamma$ -облучения: 1–1' – н.ч. LiF, 2–2' – LiF:Pb и 3–3' – LiF:Mg.

В н.ч. образцах облучение приводит к обычно наблюдаемому с ростом дозы повышению предела текучести (кривая 1) и монотонному уменьшению пластичности (кривая 1'). Как показано в наших ранних работах, основную роль в упрочнении и охрупчивании, особенно при малых дозах, играют различного рода анизотропные дефекты [5]. Сопоставим изменение механических характеристик облученных образцов с кривыми накопления анизотропного  $\text{F}_2^-$ -центра. Для н.ч. LiF по мере увеличения



количества  $F_2$ - и других агрегатных центров окраски наблюдается обычное при облучении монотонное уменьшение  $\varepsilon_m$  (на **Рисунке 3а** это показано для  $F_2$ -центра) и почти десятикратное увеличение  $\sigma_y$  (кривая 1 на **Рисунке 2**).



**Рисунок 3.** Зависимость накопления  $F_2$ -центров (445 нм) и максимальной пластической деформации от дозы  $\gamma$ -облучения: (а) н.ч. LiF, (б) LiF:Pb и (в) LiF:Mg.

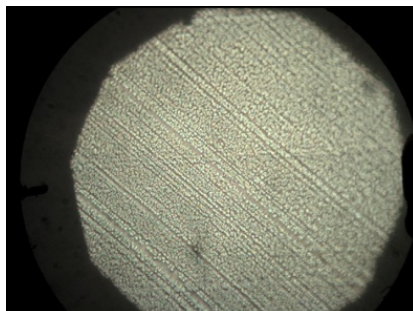
Совершенно иная картина наблюдается в случае гамма-облученных образцов LiF с высоким содержанием Pb и Mg. В примесных кристаллах значительная доля упрочняющего ресурса принадлежит примеси (уже до облучения их предел текучести существенно, в 4 – 5-раз, выше, чем у н.ч. кристаллов), которая, в основном, представлена в виде выделений второй фазы (преципитатов). По этой причине относительное радиационное упрочнение н.ч. кристалла выше, по сравнению с примесным (при 12 Мрад почти десятикратное в н.ч. кристалле и примерно двукратное – в примесных кристаллах).

Что же касается пластичности, то с дозой в примесных кристаллах она меняется немонотонно. Выявляется характерная особенность: до 4 Мрад пластичность, как обычно, понижается, а начиная с 4 Мрад (в случае LiF:Pb – с 5 – 6 Мрад) наблюдается парадоксальный рост  $\varepsilon_m$  вплоть до дозы 10 Мрад (кривые 2 и 3 на **Рисунке 2**). При этом в районе 4 Мрад и выше резко замедляется процесс упрочнения (кривые 2 и 3 на **Рисунке 2**).

Выше отмечалось, что наличие двухвалентной металлической примеси приводит к значительному увеличению жесткости кристаллов. Помимо примеси, свой вклад в упрочнение вносят дефекты, возникающие в процессе облучения. Однако основное внимание обращает на себя не природа радиационного упрочнения, а то, как влияет последнее на развитие структуры в процессе деформации, тем более, что влияние облучения сильно зависит от содержания примеси в кристалле, уменьшаясь с увеличением ее концентрации [3]. Ранее нами было показано [6], что облучение, одновременно с упрочняющим эффектом, способствует самопроизвольному выделению преимущественной системы скольжения дислокаций. При этом наблюдается существенное возрастание длины площадки текучести и некоторое уменьшение коэффициента деформационного упрочнения.

Все это отражают экспериментальные кривые  $\sigma(\varepsilon)$  облученных примесных образцов, а также выявляемая химическим травлением дислокационная структура. На **Рисунке 4** представлена картина травления облученного (4 Мрад) образца LiF:Pb, продеформированного до  $\varepsilon = 2\%$ , из которой явствует, что деформация кристалла протекает в одной системе плоскостей скольжения (нет встречных блокирующих полос). В интервале «аномальных» доз (4 – 5 Мрад) процесс растворения преципитатов происходит особенно интенсивно, подтверждением чему является почти полное отсутствие фоновых плоскодонных ямок травления (рябь), обусловленных преципитатами.





**Рисунок 4.** Картина травления кристалла LiF:Pb (4 Мрад) после 2 %-ой деформации, иллюстрирующая полное отсутствие встречных полос скольжения – односистемное скольжение.

С другой стороны, пересыщение точечными радиационными дефектами способствует образованию агрегатных центров, в том числе с участием примесных атомов, о чем свидетельствуют оптические измерения. Очевидно, что изменение количества, размеров, мощности, а также пространственного распределения дефектов создает наиболее благоприятные условия для их преодоления дислокациями при односистемном скольжении в указанном интервале доз, повышая наблюдаемую пластификацию кристалла.

### **Заключение**

Показано, что кристаллы фтористого лития, легированные двухвалентной металлической примесью (Pb и Mg), при концентрациях выше предела ее растворимости, обнаруживают аномальное поведение при  $\gamma$ -облучении: существенное понижение скорости радиационного упрочнения и частичное восстановление пластичности в интервале доз 4 – 10 Мрад. В основе эффекта лежат два процесса – односистемное скольжение (спровоцированное облучением) и облегченное движение дислокаций вследствие растворения примесных преципитатов.

### **Ссылки**

1. N. Salah, P. D. Sahare, A. A. Rupasov. Thermoluminescence of nanocrystalline LiF:Mg, Cu, P. J. Luminesc., 2007, 124, 357.
2. A. Yu. Dergachev, S. B. Mirov. Optics Commun., 1998 147, 107.
3. Б. И. Смирнов. Дислокационная структура и упрочнение кристаллов. 1981, Ленинград, Наука.
4. А. И. Непомнящих, Е. А. Раджабов, А. В. Егранов. Центры окраски и люминесценция кристаллов LiF, 1984, Новосибирск, Наука.
5. V. Kvatchadze, M. Galustashvili. Ch.4: Mechanical and optical properties of ionic crystals, exposed to the combined action of various external fields (Review). In: Ionizing Radiation: Applications, Sources and Biological Effects (Eds: E. Belotserkovsky, Z. Ostaltsov), 2012, Nova Sci. Publ. Inc., New York, 59.
6. М. В. Галусташвили, Д. Г. Дрияев, З. К. Саралидзе. Самопроизвольное выделение преимущественной системы скольжения при одноосном сжатии ЩГК. ФТТ, 1985, 27, 2320.

## PYROLYTIC SYNTHESIS OF BORON NITRIDE NANOFLLAKES

D. Jishiashvili<sup>1,2</sup>, Z. Shiolashvili<sup>1</sup>, A. Chirakadze<sup>1</sup>, N. Makhatadze<sup>1</sup>,  
V. Gobronidze<sup>1</sup>, A. Jishiashvili<sup>1</sup>, K. Gorgadze<sup>1</sup>, D. Kanchaveli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>V. Chavchanidze institute of Cybernetics  
Georgian Technical University  
Tbilisi, Georgia  
d\_jishiashvili@gtu.ge

<sup>2</sup>E. Andronikashvili Institute of Physics  
I. Javakhishvili Tbilisi state University  
Tbilisi, Georgia

<sup>3</sup>Memorial Sloan Kettering Cancer Center  
New York, USA

Accepted November 4, 2017

### Abstract

Hexagonal BN is considered to be a promising material for wide applications in different nanodevices. In this work, we have synthesized h-BN using the new technology, which is a combination of a pyrolytic growth in the mixture of hydrazine and ammonium chloride vapors (20 h anneal at 800 °C) followed by a rapid thermal annealing with IR irradiation (flashed with 9 kW total power). Using this technology BN nanoflakes with thicknesses less than 100 nm have been produced. These nanoflakes were studied by scanning electron microscopy, energy dispersive X-ray spectroscopy and X-ray diffraction.

Boron Nitride has four common polytypes: hexagonal (h-BN), wurtzite (w-BN), cubic zinc blende (c-BN) and rhombohedral (r-BN) [1 – 3]. These main morphologies are analogous to the polymorphs of carbon. The h-BN attracted great attention due to its unique physical and chemical properties. This material is composed of (BN)<sub>3</sub> rings formed by *sp*<sup>3</sup> hybridized orbitals of constituent atoms. However, in contrast to graphene, in h-BN the B–N bond has a noticeable ionic component and the intra-layer bonding in h-BN is very strong. As for the bonding between adjacent layers, they are formed by a very weak van der Waals bonds. This causes the high thermal conductivity of h-BN, because the phonons and, hence, the heat can easily propagate across the layers, while the electron localization prevents the electron conduction and the material remains insulating. This type of structure also offers many other unique properties, which make h-BN to be very interesting material for applications in different fields, including its use as a platform for graphene-based devices [4 – 12].

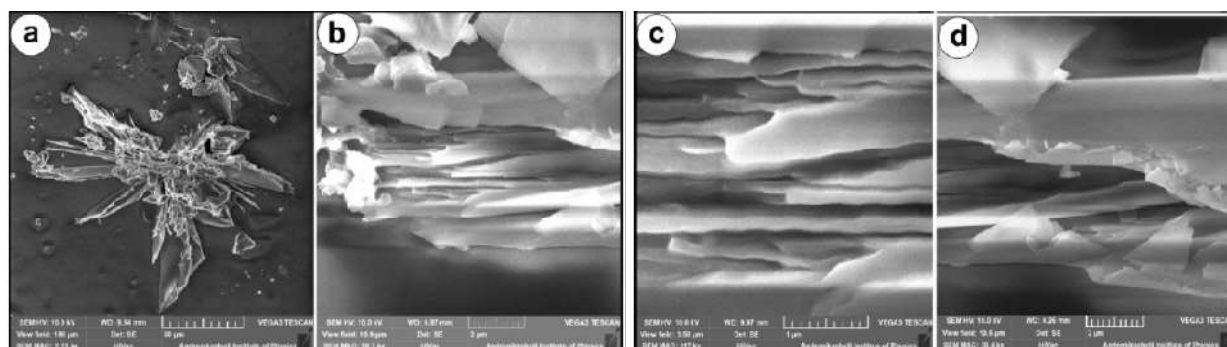
Boron and boron nitride have a high melting temperature (~ 2075 and ~ 3000 °C, respectively) and any technology, which implies the application of B, generally needs high process temperatures, which are usually in the range of 1000 – 1600 °C [13 – 16]. One strategy to decrease the crystallization onset temperature of BN is the application of crystallization promoters like CaCO<sub>3</sub> or Li<sub>3</sub>N [17 – 19]. This method allowed for the growth of crystalline h-BN

layers at 1000 °C. One of the interesting methods was described in [20]. The authors used the rapid thermal annealing (RTA) with IR radiation to decrease the growth in temperature of h-BN down to 800 °C.

The purpose of this short work was to study the composition and structure of nanomaterials produced pyrolytically using the boron powder and the vapor of ammonium chloride (NH<sub>4</sub>Cl) and hydrazine (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>). Our main emphasis was on the investigation of the properties of nanomaterials rather than on the technological aspects, because the technology involves the presence of complicated precursors and the study of a role of each one is a subject of a special investigation. Here we report about the results of our initial experiments on the growth of BN nanoflakes.

Recently we have developed the pyrolytic technology, which is based on the application of N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> vapor for producing nitride nanomaterials, such as Ga<sub>3</sub>N<sub>4</sub> and InN. It should be noted that the hydrazine was containing 3 mol. % water molecules which served for the production of volatile suboxides of source materials. Due to the formation of active nitriding precursors in the hydrazine vapor, the synthetic temperature for both nanomaterials was significantly decreased. The features of the technology and some of its details are presented in [21, 22]. For producing boron nitride nanoflakes this technology was slightly changed by adding the NH<sub>4</sub>Cl powder to the boron powder, which in its turn served as a source material. The microelectronic grade Si, placed in the cold zone of a reactor, was used as a substrate for the growth of BN nanoflakes. The substrate temperature was varied up to 800 °C. The growth of nanomaterials was performed during 20 h after which the substrate was transferred to the RTA facility and annealed with 9 kW IR flashes. The duration of each flash was 3 min followed by 5 min pause. The maximum temperature at the end of a flash was close to 1000 °C. Before annealing, the RTA tube was purged by pure nitrogen for 40 min and during the annealing the nitrogen flow rate was kept at 18 cm<sup>3</sup> / min.

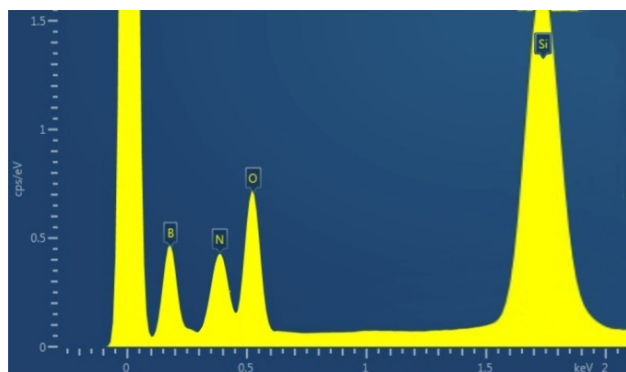
The morphology of nanomaterials was analyzed using Tescan VEGA-3 LMU scanning electron microscope (SEM) equipped with Oxford instruments energy dispersive spectrometer (EDS). The XRD patterns were recorded using Shimadzu XRD-6000 diffractometer.



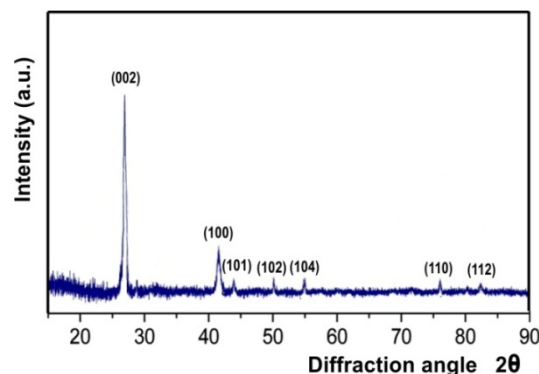
**Figure 1.** SEM image of micro-sized structure, formed onto the Si substrate after pyrolytic synthesis at 800 °C, followed by RTA treatment (5 IR flashes) (a) and magnified SEM pictures of BN nanoflakes (b – d).

**Figure 1a** represents the microstructures that were covering the whole surface of Si substrate after the growth and RTA processes. These microstructures had white color and were quite large, exceeding hundred micrometers in some directions. More morphological details are

shown in **Figures 1b – d**, which are presenting the magnified view of some elements of the microstructure. As can be seen, this micro-formation has a layered structure comprising the flakes with thicknesses well below 100 nm. Even the rough estimate of the thicknesses of some flakes gives the values less than 20 – 30 nm. It is clear that the layers have been exfoliated from the stacked bulk material. By analogy with graphene, the most probable reason for exfoliation may be the thermal exfoliation during RTA process [23].



**Figure 2.** ED spectrum of nano-Materials depicted in **Figure 1** indicating presence of four elements.



**Figure 3.** XRD pattern of h-BN grown by pyrolytic method and RTA treatment.

The composition of synthesized nanomaterials was studied using EDS method. **Figure 2** shows the EDS spectrum with four prominent peaks that can be attributed to boron, nitrogen, oxygen and silicon. The Si peak appears from the Si substrate, while the appearance of oxygen peak may have several reasons. It may arise from the native oxide of Si, together with the oxidized layer, formed by water oxidation of Si substrate during the synthesis, or may originate from oxygen, which is incorporated in the BN layer. The detailed reason for oxygen signal appearance will be studied separately. The obtained results have only qualitative nature.

The detailed information on the structure of synthesized nanomaterials was obtained by XRD method. To accomplish this task nanomaterials synthesized in several processes, were scrapped off from the Si substrates, mixed with bonding agent (paratone oil) and analyzed. The diffraction pattern is presented in **Figure 3**.

All peaks can be assigned to the hexagonal BN according to JCPDS file number 01-073-2095. In spite of the presence of a broad background in the region of low diffraction angles and slight widening of peaks at half maximum heights, the crystalline structure of pyrolytic BN can be considered to be sufficiently perfect. Our further work will be aimed at the transmission electron microscopic study of produced nanoflakes.

In conclusion, the first results of our experimental work on the synthesis of BN nanomaterial using pyrolytic method followed by an RTA process demonstrated the ability of this technology to produce h-BN nanoflakes.

### Acknowledgment

This work was financially supported by the joint SRNSF and STCU Grant # 7089.

## References

1. M. Naftaly, J. Leist, J. R. Fletcher. *Opt. Mater. Express*, 2013, 3, 260.
2. W. J. Yu, W. M. Lau, S. Chan, Z. F. Liu, Q. Q. Zheng. *Phys. Rev. B*, 2003, 67, 14108.
3. Y. Wei-Jian. Master's Thesis. The Chinese University of Hong Kong, 2000.
4. K. K. Kim, A. Hsu, X. Jia, S. M. Kim, Y. Shi, M. Dresselhaus, T. Palacios, J. Kong. *ACS Nano*, 2012, 6, 8583.
5. X. Wang, Y. Yanga, G. Jianga, Z. Yuanc, S. Yuan. *Diam. Rel. Mater.*, 2018, 81, 89.
6. C. R. Dean, A. F. Young, I. Meric, C. Lee, L. Wang, S. Sorgenfrei, K. Watanabe, T. Taniguchi, P. Kim, K. L. Shepard, J. Hone. *Nat. Nanotechnol.*, 2010, 5, 722.
7. W. Gannett, W. Regan, K. Watanabe, T. Taniguchi, M. F. Crommie, A. Zettl. *Appl. Phys. Lett.*, 2011, 98, 242105.
8. G.-H. Lee, Y.-J. Yu, C. Lee, C. Dean, K. L. Shepard, P. Kim, J. Hone. *Appl. Phys. Lett.*, 2011, 99, 243114.
9. D. Golberg, Y. Bando, Y. Huang, T. Terao, M. Mitome, C. Tang, C. Zhi. *ACS Nano*, 2010, 4, 2979.
10. R. Decker, Y. Wang, V. W. Brar, W. Regan, H.-Z. Tsai, Q. Wu, W. Gannett, A. Zettl, M. F. Crommie. *Nano Lett.*, 2011, 11, 2291.
11. J. Xue, J. Sanchez–Yamagishi, D. Bulmash, P. Jacquod, A. Deshpande, K. Watanabe, T. Taniguchi, P. Jarillo–Herrero, B. J. LeRoy. *Nat. Mater.*, 2011, 10, 282.
12. L. Chkhartishvili. *Boron-Containing Nanostructured Materials for Neutron-Shields*. In: *Nanostructured Materials for the Detection of CBRN* (Eds. J. Bonca, S. Kruchinin). NATO Sci. Peace & Sec. Ser. A: Chem. & Biol., 2018, Dordrecht., Springer, 133.
13. H. Wang, Y. Zhao, Y. Xie, X. Ma. *J. Semicon*, 2017, 38, 031003.
14. B. Singh, G. Kaur, P. Singh, K. Singh. *Sci. Rep.*, 2016, 35535, 6.
15. B. Zhang, Q. Wu, H. Yu, C. Bulin, H. Sun, R. Li, X. Ge, R. Xing. *Nanoscale Res. Lett.* 2017, 12, 596.
16. Y. Zhao, Z. Liu, C. Cao, C. Wang, Y. Fang. *Sci. Rep.*, 2017, 9006, 7.
17. S. Yuan, B. Toury, S. Benayoun, R. Chiriac, F. Gombault, C. Journet, A. Brioude. *Eur. J. Inorg. Chem.*, 2014, 32, 5507.
18. Y. Du, Z. Su, D. Yang, X. Yang, X. Ji, X. Gong, T. Zhang. *Mater. Lett.*, 2007, 61, 3409.
19. S. Yuan, S. Linas, C. Journet, P. Steyer, V. Garnier, G. Bonnefont, A. Brioude, B. Toury. *Sci. Rep.*, 2016, 20388, 6.
20. S. Yuan, C. Journet, S. Linas, V. Garnier, P. Steyer, S. Benayoun, A. Brioude, B. Toury. *Crystals*, 2016, 6, 55.
21. A. Jishiashvili, Z. Shiolashvili, N. Makhatadze, D. Jishiashvili, A. Chirakadze, D. Sukhanov, D. Kanchaveli. *Oriental J. Chem.*, 2017, 33, 1103.
22. D. Jishiashvili, Z. Shiolashvili, A. Chirakadze, A. Jishiashvili, N. Makhatadze, K. Gorgadze. *AIMS Mater. Sci.*, 2016, 3, 470.
23. M. Cai, D. Thorpe, D. H. Adamson, H. C. Schniepp. *J. Mater. Chem.*, 2012, 22, 24992.

გარემოს კლიმატური პირობების ზემოქმედება  
ნანობიონაწილაკების ქცევაზე შეზღუდულ სივრცეში

გ. ჩიხლაძე, ქ. კაპანაძე

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

მიღებულია 2018 წლის 4 დეკემბერს

**ანოტაცია**

ნაშრომში განხილულ იქნა გარემოს კლიმატური პირობების ანუ ამინდის ცვლილების ზემოქმედების ხარისხი ნანობიონაწილაკების ქცევაზე შეზღუდულ სივრცეში. განისაზღვრა აეროზოლური ნაწილაკების ზომების დამოკიდებულება გარემოს ტემპერატურასა და ტენიანობაზე. ასევე შეფასდა აეროზოლური ნაწილაკების დალექვის სიჩქარე და შესაბამისი დრო. განსაზღვრულია ნაწილაკების კონცენტრაციისა და წყაროდან ამოფრქვევის სიჩქარე, შეფასებულია ნაწილაკებში ვირუსების ქცევის (აქტიური / პასიური) პირობები.

**ძირითადი ნაწილი**

ჩატარებული კვლევის მიზანი იყო გარემოს კლიმატური ცვლილებების ზემოქმედების ხარისხის დადგენა ნანობიონაწილაკების ქცევაზე შეზღუდულ სივრცეში. კერძოდ, განიხილულ იქნა აეროზოლური ნაწილაკების ზომების დამოკიდებულება გარემოს ტემპერატურასა და ტენიანობაზე. ასევე, ჩატარდა აეროზოლური ნაწილაკების დალექვის სიჩქარისა და შესაბამისი დროის შეფასება.

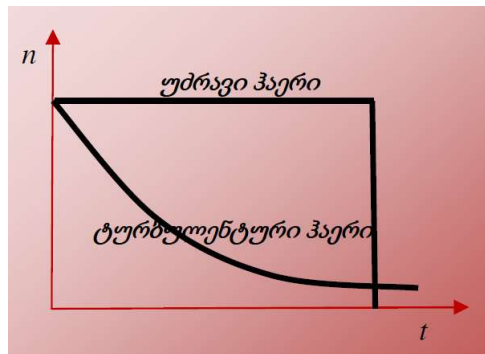
**ცხრილი 1.** ზედაპირზე (1.5 მ მანძილიდან) ნაწილაკების დაფენის დრო მათ დიამეტრზე დამოკიდებულებით.

0.5 მკმ	–	41 სთ
1 მკმ	–	12 სთ
3 მკმ	–	1.5 სთ
10 მკმ	–	8.2 წთ
100 მკმ	–	5.8 წმ

**ცხრილში 1** [1] ნაჩვენებია პირობით ზედაპირზე 1.5 მ მანძილიდან ნაწილაკების ერთ მწკრივად დაფენის დრო მათ ზომაზე / დიამეტრზე დამოკიდებულების მიხედვით. ცხრილიდან ჩანს, რაოდენ ჩქარდება პროცესი ნაწილაკების ზომის მატებით.

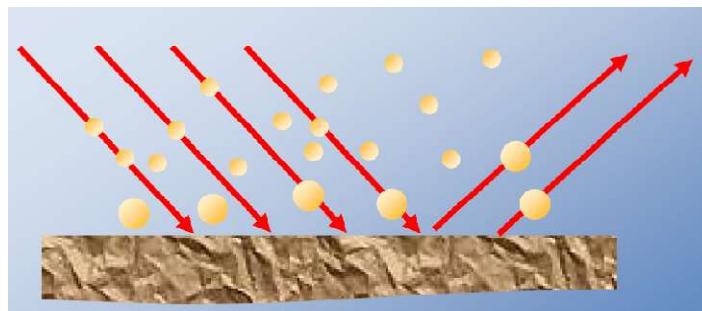


დახურულ / შეზღუდულ სივრცეში ღია ზედაპირებზე დაფენის სიჩქარე ასევე დამოკიდებულია გარემოს პირობებზე, კერძოდ, ჰაერის მდგომარეობაზე. თუ ჰაერი უძრავია, დაფენის პროცესი მიმდინარეობს თანაბრად და ერთი და იმავე ზომის ნაწილაკები ეფინება ზედაპირს ერთი და იმავე სიჩქარით. ხოლო ჰაერში ტურბულენტური პროცესების არსებობისას (ორპირი ქარი, ჩართული ვენტილატორი, კონდიციონერი და სხვა) ზედაპირთან ახლოს მყოფი ნაწილაკები ეფინება მას, დანარჩენები კი განაგრძობს ქაოსურ ან მიმართულ მოძრაობას, რომელიც სრულად დამოკიდებულია ჰაერის ნაკადის გადანაცვლებაზე, და მათი ზედაპირზე დაფენა გაწელილია დროში [1]. **სურათზე 1** მოცემულია დახურულ / შეზღუდულ სივრცეში განფენილი ნაწილაკების კონცენტრაცია, როგორც დროის ფუნქცია, მდგარი და ტურბულენტური ჰაერის პირობებში [2].



**სურათი 1.** ნაწილაკთა კონცენტრაცია, როგორც დროის ფუნქცია.

კვლევით დადგინდა, რომ იმ სათავსოს ვენტილაცია, სადაც იმყოფება დაავადების წყარო, დიდად ვერ ამცირებს დაავადების გავრცელებას გარშემო მყოფებზე. პირიქით, ოთახის ვენტილაციისას ჰაერის მიმართული ნაკადი ზოგჯერ დაავადების გადამტან საშუალებად იქცევა. კერძოდ, დაავადების წყაროდან მიმდებამდე 1 მეტრზე ნაკლებ მანძილზე ვენტილაცია ჯეროვნად ვერ ფანტავს ვირუსულ ნაწილაკებს და გარემოს დაუცველობის დონე დაბალი რჩება. მხოლოდ შედარებით დიდ მანძილებზე შეიმჩნევა მიმდებამდე მიღწეულ ნაწილაკთა რიცხვის მნიშვნელოვანი კლება [2].



**სურათი 2.** სხვადასხვა ზომის აეროზოლური ნაწილაკების დაფენა ზედაპირზე.

ამ ვითარებაში საჭიროა ნაწილაკების ზომების შეფასება. ე.წ. დიდი ნაწილაკები აღემატება ადრე ნახსენებ 50 – 100 მკმ-ს და რესპირატორული მოქმედებებით (ცემინება, ხველება) წარმოქმნილი ნაწილაკები გადიან საკმარისად დიდ (1.5 მ) მანძილს.

არსებული სავენტილაციო სისტემები დიდ ნაწილაკებს ვერ უმკლავდება და ეს ნაწილაკები ეფინება იატაკზე, ავეჯსა და ადამიანის სხეულზე.

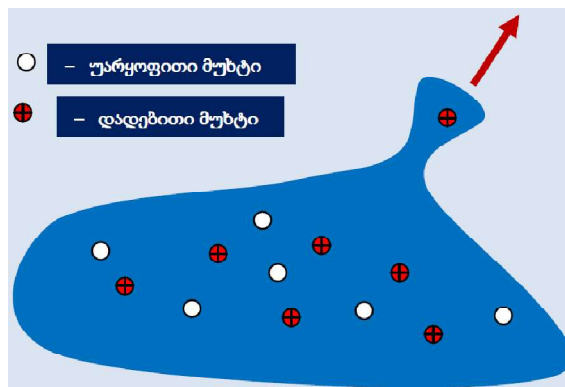
მაღალი ტენიანობისას ატმოსფეროში გაჩენილი ნისლი ან ღრუბელი წარმოადგენს მცირე ზომის ნაწილაკების (< 1 მკმ) ერთობლიობას. ისინი დიდი რაოდენობით აღწევს სათავსოში ყველა შესაძლო გზით და ხდება ვირუსის მატარებელი, რადგან ითვისებს და შემდგომ ავრცელებს ავადმყოფის ამოსუნთქვის, ხველებისა თუ ცემინების შედეგად წარმოქმნილ ვირუსებს [3]. ზედაპირზე აეროზოლური ვირუსების შემცველი ნაწილაკების დაფენისას ყურადღება უნდა გამახვილდეს შემდეგ გარემოებებზე (სურათი 2) [1]:

- დაფენა დამოკიდებულია აეროზოლური ნაწილაკების ზომაზე, ჰაერის სიჩქარესა და ნაწილაკების ამოფრქვევის წყაროს ზომაზე;
- დიდი აეროზოლური ნაწილაკები უკეთესად ეფინება;
- დიდ ნაწილაკები, ასევე, აირეკლება ზედაპირიდან;
- დაფენის პროცესის დაჩქარება შესაძლებელია ზედაპირზე ზემოქმედებით, მაგალითად, ზეთის დასხმით.

გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია, რომ:

1. მაღალი ტენიანობისას ნისლში წარმოიქმნება მცირე ზომის ნაწილაკები (< 1 მკმ), რომლებიც დიდი რაოდენობით აღწევს სათავსოში ხვრელებიდან, ღრეჩოებიდან და სავენტილაციო სისტემიდან და შეიძლება გახდეს ვირუსის მატარებელი ავადმყოფის ამოსუნთქვის, ხველებისა თუ ცემინების შედეგად.
2. ტემპერატურის ზრდა მნიშვნელოვნად აჩქარებს ნაწილაკების გარემოში გავრცელების პროცესს და, ამგვარად, ზრდის ვირუსული დაავადებების გავრცელების საშიშროებას.

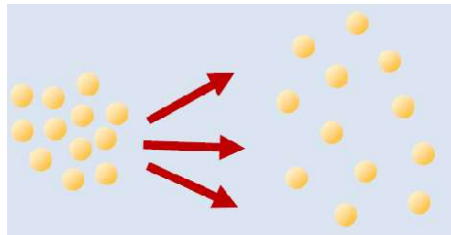
გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს, აგრეთვე, აეროზოლური ნაწილაკების ელექტრული თვისებების შესწავლა. ზოგადად, გამტარ სითხეებსა თუ ხსნარებში იონების რაოდენობა დიდია და მათი მოცულობითი განაწილება თანაბარია, ხოლო არაგამტარ ხსნარებში იონთა რიცხვი, შესაბამისად, მცირეა. ნაწილაკების მუხტი, როგორც წესი, დაბალია. თუმცა, სითხის ინტენსიური აორთქლებისას [1], ბოლოსკენ დარჩენილი ნაწილაკების მუხტი შეიძლება შედარებით დიდი იყოს (სურათი 3).



სურათი 3. ნაწილაკების მუხტების განლაგება სითხის წვეთში.

რაც შეეხება აეროზოლებს [1], აქ ვითარება განსხვავებულია. აეროზოლებში ნაწილაკების კონცენტრაცია, მეტწილად, მაღალია და ისინი ძლიერად დამუხტულია.

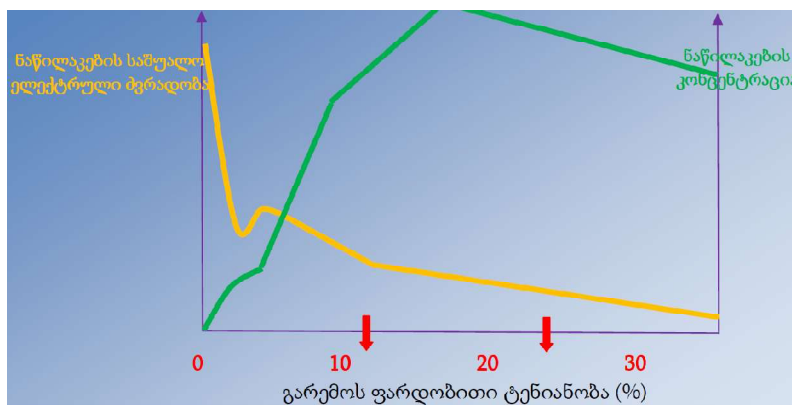
ნაწილაკების უმეტესობა პოლარიზებულია და აეროზოლის გავრცელება ხდება ნაწილაკების ურთიერთგანზიდვის გამო (სურათი 4).



სურათი 4. აეროზოლის გავრცელება სივრცეში ელექტრული განზიდვის შედეგად.

მნიშვნელოვანია, აგრეთვე [2], ნაწილაკების სხვადასხვა ზედაპირებზე დაფენისა და ამ ზედაპირებიდან მათი აორთქლების / გადინების პროცესზე დაკვირვება. როგორც ზემოთ აღინიშნა, ზედაპირს, ძირითადად, ეფინება დიდი ზომის ნაწილაკები. აღმოჩნდა, რომ მათი გადინება ზედაპირიდან, მეტწილად, დაკავშირებულია ზედაპირზე განხორციელებულ მექანიკურ ზემოქმედებასთან. ამიტომ ვირუსული დაავადების გავრცელების კერას მახლობლად იატაკზე დრეკადი გადასაფარებლების (რბილი იატაკი, ხალიჩა და სხვა) განთავსება არასასურველია, რადგან იქ მრავლად მყოფი დიდი ნაწილაკები იწყებს გადინებას ამ ზედაპირზე ადამიანთა გადაადგილებისას (გარედან დაწოლის ქვეშ მოხვედრილი ხალიჩა იკუმშება და აფრქვევს ნაწილაკებს გარემოში). ამავდროულად იქვე მყოფი მცირე ზომის ნაწილაკები ზედაპირიდან აორთქლებისას შეტივტივდება ჰაერში და შემდგომ გაედინება ჰაერის ნაკადით / ტურბულენტობით და დაავადების წყაროს ანუ ვირუსების კერას არსებობის შემთხვევაში ხდება ვირუსების გავრცელება ამ ნაწილაკების მიერ [1].

ნანოზომის ბიონაწილაკების გარემოში გავრცელებაზე საკმაოდ მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გარემოს ანუ ჰაერის აბსოლუტური და ფარდობითი ტენიანობა. ჰაერში ნაჯერი ორთქლით ვირუსის გადამტანი ნაწილაკების კონცენტრაცია დიდია. თუმცა, როგორც ნაჩვენებია **სურათზე 5**, ნაწილაკების საშუალო ელექტრული ძვრადობა ამ დროს შედარებით მცირეა, რაც სავსებით ლოგიკურია, რადგან ნაწილაკების ელექტრული ძვრადობა მათ კონცენტრაციასთან ანტაგონისტურ დამოკიდებულებაშია.



სურათი 5. ნაწილაკთა ძვრადობისა და კონცენტრაციის დამოკიდებულება გარემოს ტენიანობაზე.

როგორც ამ სურათიდან ჩანს, ფარდობითი ტენიანობის ზრდისას მკვეთრად მცირდება ნაწილაკების საშუალო ელექტრული ძვრადობა ტენიანობის 0-დან 10 %-მდე ზრდის შუალედში, შემდეგ კი მისი შემცირება გრძელდება, თუმცა უმნიშვნელოდ და, შეიძლება ითქვას, საშუალო ელექტრული ძვრადობა თითქმის მუდმივ მნიშვნელობას ინარჩუნებს.

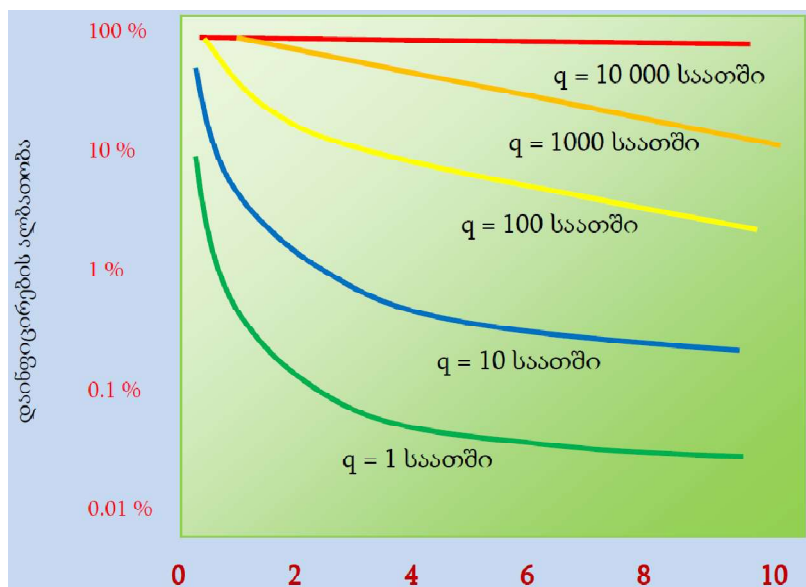
შესაბამისად, ნაწილაკების კონცენტრაცია იგივე შუალედში სწრაფად იზრდება, შემდეგ კი მერყეობს გარკვეული მუდმივი მნიშვნელობის სიახლოვეს და ისიც შეიძლება თითქმის მუდმივად მივიჩნიოთ.

მაშასადამე, დადგენილია აეროზოლური ნაწილაკების კონცენტრაციას, ზომას და გარემოში დიფუზიასა და რაიმე ზედაპირზე დაფენის დროს შორის არსებული მჭიდრო ურთიერთკავშირი.

ერთ-ერთი ხშირად გამოყენებული მიდგომა, რომელიც თვლის რესპირატორული დაავადების აეროზოლური გადატანის რისკს, არის ე.წ. უოლს–რაილის მოდელი (რაილი და სხვები, 1978) [3]. უოლს–რაილის მოდელი ეფუძნება „ინფექციის კვანტის“ ცნებას. ამასთან, ინფექციური აეროზოლური ნაწილაკების ანუ კვანტების წარმოქმნის ხარისხი შეიძლება გამოყენებული იყოს ცალკეული პირის დაავადების ალბათობის მოდელირებისთვის. მოგვყავს უოლს–რაილის მოდელის განმსაზღვრელი განტოლება (უოელსირაილის განტოლება):

$$P = \frac{\text{შემთხვევა}}{\text{ამთვისებლები}} = 1 - e^{-\frac{Iqpt}{Q}}$$

სადაც  $P$  არის დაინფიცირების ალბათობა,  $\text{შემთხვევა}$  – დაინფიცირების შემთხვევათა რიცხვი,  $\text{ამთვისებლები}$  – ამთვისებელ პირთა რაოდენობა,  $I$  – დაინფიცირებულ პირთა რაოდენობა,  $q$  – კვანტების წარმოქმნის ხარისხი (1/სთ),  $p$  – პირის ფილტვის ვენტილაციის ხარისხი (მ<sup>3</sup>/სთ),  $t$  – ამოფრქვევის დრო (სთ, ხოლო  $Q$  – ოთახის სუფთა ჰაერით ვენტილაციის ხარისხი (მ<sup>3</sup>/სთ).



სურათი 6. გარე / სუფთა ჰაერით სათავეს ვენტილაციის ხარისხი (1/სთ).

სურათზე 6 მოცემულია ცალკეული პირის დაინფიცირების ალბათობის დამოკიდებულება ოთახის სუფთა ჰაერით ვენტილაციის ხარისხზე.

## დასკვნა

ჩატარებული კვლევის შეჯამებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ნანოზომის ბიოაეროზოლური ნაწილაკების განმსაზღვრელ ფაქტორებს, პირველ რიგში, წარმოადგენენ გარემოს ტემპერატურა და ფარდობითი ტენიანობა. გარდა ამისა, გამოიკვეთა მათი დამოკიდებულება აეროზოლური ნაწილაკების კონცენტრაციაზე, ნაწილაკთა ზომაზე / დიამეტრზე, ადამიანის სხეულსა თუ სათავსოს ზედაპირებზე ნაწილაკთა დაფენის სიჩქარეზე, ნაწილაკთა საშუალო ელექტრულ ძვრადობაზე, დაბოლოს, ისინი დამოკიდებულია დროზე ანუ ნანოზომის ბიოაეროზოლური ნაწილაკების რაოდენობა დროის ფუნქციაა.

ვიმედოვნებთ, რომ კვლევის შედეგები გააფართოებს ცოდნას ვირუსების შემცველი ნანოზომის ნაწილაკების წარმოქმნის გარემოებებისა და გავრცელების ხელშემწყობი ფაქტორების შესახებ.

## დამოწმებანი

1. P. Baron. Generation and Behavior of Airborne Particles (Aerosols). Division of Applied Technology, 2005, CDC – NOISH, 40 pp.
2. D. Verreault, S. Moineau, C. Duchaine. Methods for sampling of airborne viruses. Am. Soc. Microbiol., 2008, DOI: 10.1128/MM BR.00002-08.
3. B. Stephens. HVAC filtration and the Wells–Riley approach to assessing risks of infectious airborne diseases (Final Report for NAFA Foundation), 2012, Illinois Institute of Technology, 44 pp. <https://www.nafahq.org/wp-content/uploads/WellsRileyReport.pdf>.



ახალი მასალების სამეცნიერო საბჭოს 22-ე სესია კიევში

2017 წლის 16 – 17 მაისს ე. ო. პატონის სახ. ელექტრომედულების ინსტიტუტში (კიევი, უკრაინა) გაიმართა მეცნიერებათა აკადემიების საერთაშორისო ასოციაციის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა კომიტეტთან არსებული ახალი მასალების სამეცნიერო საბჭოს 22-ე სესია თემაზე „კომპოზიტური ფუნქციონალური მასალები“.



ბიოსამედიცინო დანიშნულების ახალი კომპოზიტების სექციას ხსნის ი. ს. ჩეკმანი



ახალი მასალების სამეცნიერო საბჭოს 22-ე სესიის სექციურ სხდომაზე

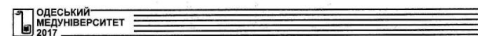
პირველ დღეს – 16 მაისს სესიამ იმუშავა სექციაში, რომელიც მთლიანად დაეთმო ბიოსამედიცინო დანიშნულების ახალ კომპოზიტებს. სექციას თავმჯდომარეობდა აკად. წევრ-კორ. ი. ს. ჩეკმანი (უკრაინა). წარმოდგენილ იქნა 19 მოხსენება. მათი სრული შინაარსები სტატიების სახით გამოქვეყნდა სამედიცინო-ფილოსოფიური ჟურნალის *Интегративна Антропология* სპეციალურ ნომერში: 2017, 1(29).



ჟურნალის *Интегративна Антропология* სპეციალური ნომრის გარეკანი



Зміст	Contents
<i>Філософські проблеми нанотехнологій</i>	<i>Philosophical Problems of Nanotechnologies</i>
І. С. Чекман Наука: історичні етапи розвитку 4	I. S. Chekman Nanoscience: Historical Stages of Development 4
Т. В. Гардзішук Нанотехнології та нанотехнологічна суперечливість об'єктування 14	T. V. Gardshuk Nanotechnology and Nanoethics: Contradictions of Justification 14
С. В. Пустойт Гуманітарні проблеми науки і технологій: «ізоляція острова» 22	S. V. Pustoyt Humanitarian Issues of Science and Technology: "Isolated Island Is Impossible" 22
<i>Наноматеріали і нанотехнології для медицини</i>	<i>Nanomaterials and Nanotechnologies for Medicine</i>
В. Е. Орел, А. В. Романов, І. В. Орел Магнітно-резонансна наногераностика злоякісних новоутворень 32	V. E. Orel, A. V. Romanov, I. V. Orel Magnetic Resonance Nanotheranostics of Malignant Tumors 32
Л. О. Булга, Я. О. Бурко Нові підходи в розробці місцевих ранозагоювальних засобів 37	L. O. Bulga, Ya. O. Burko New Approaches to Development of Local Wound Healing 37
І. В. Гринь, Т. В. Звягінцева, С. І. МIRONCHENKO, В. В. Гринь Вплив мазі тютюнової з наночастинами срібла на цитокіновий баланс у жовчій шкірці при експериментальному термічному опіку 41	I. V. Grin, T. V. Zvyaginseva, S. I. Myronchenko, V. V. Grin Influence of Thiothiazoline Ointment with Silver Nanoparticles on Cytokine Balance in Focus of Damage in Experimental Thermal Burns 41
С. П. Воронін, І. С. Чекман, А. В. Руденко, Л. В. Носач, Л. М. Осіння Властивості нанорозмірного кремнезему як медичного сорбенту 44	Ye. P. Voronin, I. S. Chekman, A. V. Rudenko, L. V. Nosach, L. M. Osinnya Properties of Nanoscale Silica as Medical Sorbent 44
О. М. Вахняга, Н. О. Боброва Наночастинок оксиду заліза, стабілізовані етилметилгідроксипіридину сукцинатом та полінінтролідоном, і їх вплив на розвиток стаціонарних штаблів мікроорганізмів 49	O. M. Vakhnyaga, N. O. Bobrova Iron Oxide Nanoparticles Stabilized by Ethylmethylhydroxypyridine Succinate and Polyvinylpyrrolidone and Their Impact on the Stationary Strains of Microorganisms 49



სპეციალური ნომრის სარჩევის პირველი გვერდი



მეორე დღეს – 17 მაისს გაიმართა პლენარული სხდომა, რომელსაც თავმჯდომარეობდა აკად. წევრ-კორესპონდენტი ი. მ. პლესკაჩევსკი (ბელარუსი). სულ გაკეთდა 12 მოხსენება.



სესიის პლენარულ სხდომას ხსნის ი. მ. პლესკაჩევსკი (მარცხნივ)



პლენარული სხდომის მიმდინარეობისას

პლენარულ სხდომაზე გამომსვლელთა შორის იყო ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის (თბილისი, საქართველო) ბორშემცველი და კომპოზიტური მასალების ლაბორატორიის უფროსი მეცნიერ თანამშრომლის პროფ. ლევან ჩხარტიშვილი მოხსენებით:

- ა. ა. გაჩეჩილაძე, ო. ა. ცაგარეიშვილი, ლ. ს. ჩხარტიშვილი, გ. ფ. თავაძე. „თვითშეპოხვადი კომპოზიტები ლითონი / ნანო ჰექსაგონალური ბორის ნიტრიდი“

А. А. Гачечиладзе, О. А. Цагарейшвили, Л. С. Чхартишвили, Г. Ф. Тавадзе. «Самосмазывающиеся композиции металл / нано гексагональный нитрид бора».



პლენარულ სხდომაზე მოხსენებით გამოდის ლ. ს. ჩხარტიშვილი



აკადემიკოს ბ. ე. პატონის მადლობის წერილი

რეგლამენტით მომხსენებლისადმი შეკითხვების დასმა არ იყო გათვალისწინებული. მაგრამ სხდომის დასრულების შემდგომ კოლეგებთან საუბარმა აჩვენა, რომ ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტში შესრულებულმა ამ სამუშაომ ფუნქციონალური კომპოზიტური მასალების აღიარებული სპეციალისტების ინტერესი გამოიწვია.

სამეცნიერო საბჭოს 22-ე სესიის პლენარულ სხდომაზე წარმოდგენილი ყველა მოხსენება სლაიდების კომპლექტების სახით გამოქვეყნდება პერიოდულ კრებულში: *Проблемы современного материаловедения*, რომელსაც ქალაქ გომელში (ბელარუსი) გამოსცემს ბელარუსის მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია.

მომავალი, 23-ე სესიის სავარაუდო თემად შერჩეულ იქნა „ნახევარგამტარული კომპოზიტური მასალები“.

სექციის მუშაობის დასრულების შემდეგ დამსწრეებისათვის გაიმართა ფურშეტი, ხოლო პლენარული სხდომის შემდეგ – ბელარუსიდან, რუსეთიდან, საქართველოდან და უკრაინიდან სესიის მონაწილეების მიღება. ფურშეტისა და მიღების დროს გაგრძელდა პროფესიული საუბარი, ასევე შეეხნენ ზოგად თემებს.

პროფ. ლევან ჩხარტიშვილი დიდი მადლიერებით აღნიშნავს, რომ მას პირადად დახვდა და გამოაცილა სამეცნიერო საბჭოს სწავლულმა მდივანმა ა. ვ. ბაბაევმა. თბილისში დაბრუნების შემდეგ მან მიიღო მადლობის წერილი ახალი მასალების სამეცნიერო საბჭოს თავმჯდომარის, ე. ო. პატონის სახ. ელექტროშედულების ინსტიტუტის დირექტორის, უკრაინის მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის პრეზიდენტის აკად. ბ. ე. პატონისაგან.



ლ. ს. ჩხარტიშვილი ო. ნ. ლავრინენკოს ჯგუფის ზოგიერთ წევრთან ერთად



მასპინძლები მეგობრული სადილის დაწყებამდე

კიევში ვიზიტის განმავლობაში ლ. ჩხარტიშვილი, აგრეთვე, შეხვდა ი. მ. ფრანცევიჩის სახ. მასალათმცოდნეობის პრობლემათა ინსტიტუტის თანამშრომლების ერთ ჯგუფს დოქტ. ოლენა ლავრინენკოს ხელმძღვანელობით, რომელიც რკინის ჟანგის ნანოსტრუქტურებს სწავლობს.

მეგობრულ სადილზე ქართველმა და უკრაინელმა კოლეგებმა ერთმანეთს გაუზიარეს წინასწარი მოსაზრებები იმის თაობაზე, თუ როგორ იქნებოდა შესაძლებელი მათი შემდგომი თანამშრომლობა, მაგალითად, ლითონკონსტრუქციების კოროზიის პროცესის, რკინის ჟანგის მაგნიტური ნანონაწილაკების ბნჩთ-ში (ბორის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერის თერაპია)  $^{10}\text{B}$  იზოტოპების გადამტან აგენტად გამოყენების შესაძლებლობების და ა.შ. კვლევებში.

*ლევან ჩხარტიშვილი*

2017 წლის 1 ივნისი



მოწინავე და ნანომასალების მე-5 საერთაშორისო კონფერენცია და გამოფენა

ტრადიციით, რომელიც 2013 წელს იღებს სათავეს, კანადაში ყოველწლიურად იმართება დიდი ნანოფორუმები. არც 2017 წელი ყოფილა გამონაკლისი – ჩატარდა მმსკ 2017: მოწინავე და ნანომასალების მე-5 საერთაშორისო კონფერენცია და გამოფენა, 2017 წლის 7 – 9 აგვისტო, ტორონტო, ონტარიო, კანადა.



ტორონტოს ხედი –  
ონტარიოს ტბის სანაპირო



ტორონტოს აეროპორტის შერატონის ჰოტელი „ფორ  
ფონინთს“, სადაც მუშაობდა მმსკ 2017

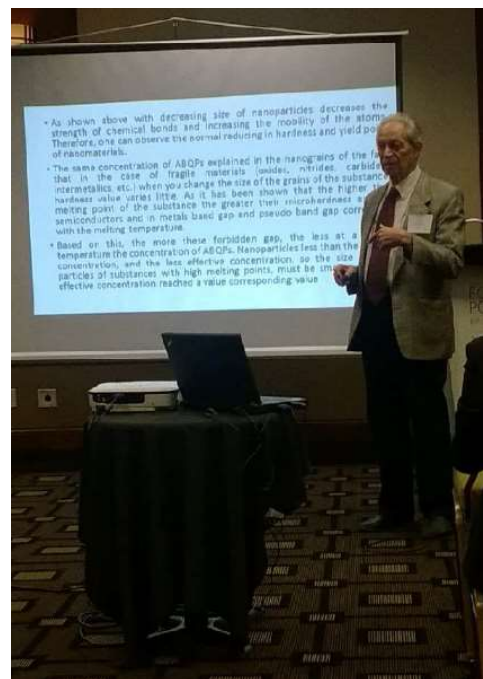
საერთო ჯამში 70-ზე მეტი მოხსენება იქნა წარმოდგენილი 23 ქვეყნიდან (ალჟირი, ამერიკის შეერთებული შტატები, გაერთიანებული არაბული ემირატები, გერმანია, დიდი ბრიტანეთისა და ჩრდილოეთ ირლანდიის გაერთიანებული სამეფო, ესპანეთი, თურქეთი, იაპონია, ინდოეთი, ირანი, ისრაელი, კანადა, კორეის რესპუბლიკა, ლიბანი, ნიდერლანდები, ნორვეგია, პოლონეთი, სამხრეთ აფრიკის რესპუბლიკა, საფრანგეთი, საქართველო, სინგაპური, ჩინეთი, ჰონგ კონგი).



კონფერენციის  
სპონსორები



გამოფენის  
მონაწილენი



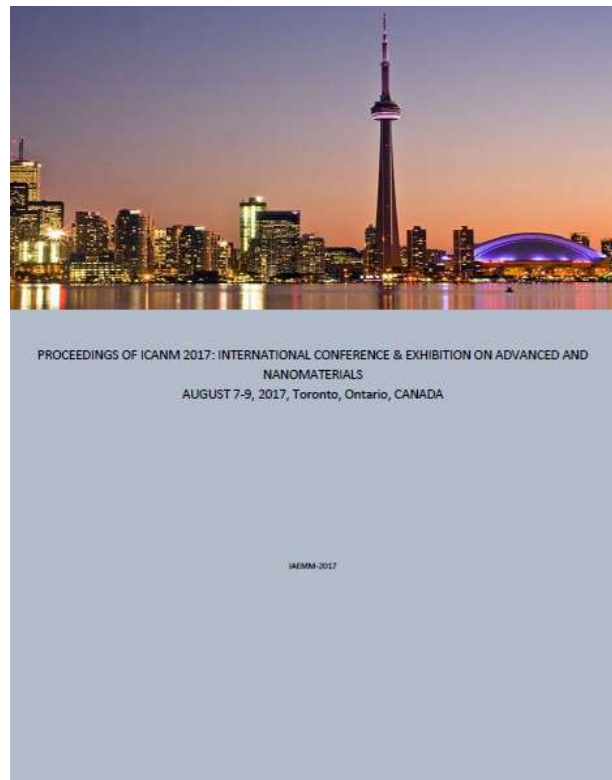
პროფ. ალექსი გერასიმოვის  
მიწვეული მოხსენება

კონფერენციის მუშაობაში მონაწილეობდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის პროფესორი ალექსი გერასიმოვი. მან გააკეთა მოწვეული და ზეპირი მოხსენებები, შესაბამისად:

- ა. გერასიმოვი. „ქიმიური ბმების როლი ნანოფიზიკასა და ნანოტექნოლოგიაში“  
A. Gerasimov. “Role of chemical bonds in nanophysics and nanotechnology”
- ა. გერასიმოვი, გ. ჩირაძე, მ. ვეფხვაძე, კ. გორგაძე. „ნანომასალებში ატომთა წანაცვლებებთან დაკავშირებული მოვლენების „ანომალიათა“ ახალი მექანიზმი“  
A. Gerasimov, G. Chiradze, M. Vepkhvadze, K. Gorgadze. “New mechanism of “anomalies” of phenomena associated with atoms’ displacements in nanomaterials”



მნმსკ 2017-ის პროგრამის გარეკანი



მნმსკ 2017-ის მასალების კრებულის გარეკანი

მიწვეულ მოხსენებაში ნანომასალებში ქიმიური ბმების ბუნების ანალიზის საფუძველზე ჩამოყალიბებულ იქნა ე.წ. მოლეკულურ-პოტენციალური თეორიის (რომელმაც უნდა ჩაანაცვლოს კარგად ცნობილი მოლეკულურ-კინეტიკური თეორია) ძირითადი პრინციპები და ნაჩვენები იქნა, რომ ამ მიდგომით შესაძლებელია ნანომასალების მთელი რიგი თვისებების (და სხვადასხვა „ანომალიების“) დამაჯერებელი ახსნა.

პროფ. ალექსი გერასიმოვის მოხსენებამ დიდი ინტერესი გამოიწვია დამსწრეთა შორის. ამიტომ საორგანიზაციო კომიტეტმა იგი მომავალ წელს კონფერენციის ფარგლებში გასამართ ახალგაზრდა მეცნიერთა სკოლაში ლექციების წასაკითხად მიიწვია.

*ალექსი გერასიმოვი*

2017 წლის 31 აგვისტო



ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების მე-19 საერთაშორისო სიმპოზიუმი \*

ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების მე-19 საერთაშორისო სიმპოზიუმი (ზბსს 2017) მიმდინარეობდა გერმანიის ქალაქ ფრაიბურგში 2017 წლის 3 სექტემბრიდან 8 სექტემბრამდე. სიმპოზიუმს მასპინძლობდა ალბერტ ლუდვიგის უნივერსიტეტის არაორგანული და ანალიზური ქიმიის ინსტიტუტი, რომლის დირექტორიც პროფ. ჰარალდ ჰილბრეხტი იყო სიმპოზიუმის თავმჯდომარე.



არაორგანული და ანალიზური ქიმიის ინსტიტუტი (ალბერტ ლუდვიგის უნივერსიტეტი)



სიმპოზიუმის მონაწილეთა მიღებაზე



Programm Overview



Time	Monday, 4. September	Tuesday, 5. September	Wednesday, 6. September	Thursday, 7. September
8:00 – 9:00	Registration and Coffee	I. Chkhartishvili	K. Kimura	M. Wirtum
9:20 – 9:40		K. Hofmann	M. Boluk	
9:40 – 10:00		S. Hirt	S. Delcroix	J. Kurstmann
10:00 – 10:20	Opening	Coffee	Coffee	Coffee
10:20 – 10:40	J.-F. Halet	J. T. Okada	D. Pustelault	T. Muxi
10:40 – 11:00		K. Takizawa	A.-M. Zischang	A. Kusnyan
11:00 – 11:20	K. Flachbart	B. Fetermüller	A. Momozawa	M. Takeda
11:40 – 12:00	A. Henschel	N. Kalyon	K. Rasim	V. Slushkov
12:00 – 12:20	M. Gatterdam			T. Hongo
12:20 – 12:40		Lunch Break	Lunch Break	Lunch Break
12:40 – 14:00	Lunch Break			
14:00 – 14:20	N. Vast	B. F. T. Folwa	14:00-17:00 Excursion and Conference Dinner	K. Shirai
14:20 – 14:40		E. Johansson		V. Filipov
14:40 – 15:00	A. Ektarawong	G. Balci		H. Hillebrecht
15:00 – 15:20	F. R. Wagner	T. Chan Chang		Closing remarks
15:20 – 15:40	M. Ludwig	Poster session		
15:40 – 16:00	Coffee			
16:00 – 16:20	F. Pukdushtik			
16:20 – 16:40				
16:40 – 17:00	H. Wernet			
17:00 – 17:20	A. Taran			
17:20 – 17:40	A. Reiss			
17:40 – 18:00				
18:00 – 19:00				
	19:00 – 22:00 Meeting scientific committee			

სიმპოზიუმის ჩარჩო პროგრამა



თეზისების კრებულის გარეკანი

\* ილუსტრირებისათვის გამოყენებული ფოტოების ერთი ნაწილი ეკუთვნის ლევან ჩხარტიშვილს, ხოლო მათი უმრავლესობის ავტორია Dr. Volodimir Filipov (Ukraine).



ბბსს 2017-ის მოხსენებათა თეზისების კრებულის წინასიტყვაობაში პროფ. ჰარალდ ჰილენბრეხტი აღნიშნავს, რომ სიმპოზიუმის თემატიკა მრავალ საკითხს მოიცავდა, ელემენტარული ბორის უნიკალური სტრუქტურების თეორიული ასპექტებით დაწყებული, ბორიდების სპეციალური ფიზიკური თვისებების ჩათვლით და ამ თვისებების გამოყენებით დამთავრებული.

ამჟამად ფორმირების პროცესშია ისეთი მიმართულებები, როგორცაა ბორშემცველი ნანომასალები და ბორიდული კატალიზატორები. სიმპოზიუმის პროგრამიდან ასევე ცხადად ჩანს, რომ იზრდება ბორშემცველი მყარი მასალების ქიმიკაში ბმის ბუნებისა და მათი ფიზიკური თვისებების გაგებისათვის თეორიული მეთოდების გამოყენების მნიშვნელობა.

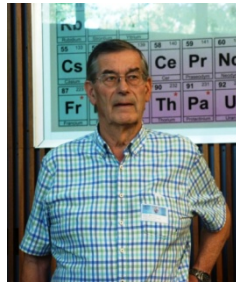
სიმპოზიუმზე მთლიანობაში 60 მიწვეული, ზეპირი და პოსტერული მოხსენება გაკეთდა. მონაწილეობდნენ მკვლევარები მსოფლიოს 14 ქვეყნიდან (ავსტრალია, ავსტრია, ამერიკის შეერთებული შტატები, გერმანია, თურქეთი, იაპონია, რუსეთი, საფრანგეთი, საქართველო, სლოვაკეთი, სომხეთი, უკრაინა, შვედეთი და ჰონკონგი).



ბარბარა ალბერტი  
(გერმანია)



ნატალი ვასტი  
(საფრანგეთი)



ჰელმუტ ვერჰეიტი  
(გერმანია)



მაიკლ ვიდომი  
(აშშ)



კარუ კიმურა  
(იაპონია)



ტაკაო მორი  
(იაპონია)



მასატოში ტაკედა  
(იაპონია)



ვოლოდიმირ  
ფილიპოვი (უკრაინა)



კაროლ ფლაზბარტი  
(სლოვაკეთი)



ბონიფაც ფოკვა  
(აშშ)



კოუჯი ჰირაი  
(იაპონია)



ლევან ჩხარტიშვილი  
(საქართველო)



ჟან-ფრანსუა ჰალე  
(საფრანგეთი)



ჰარალდ ჰილენბრეხტი  
(გერმანია)



კატრინ ჰოფმანი  
(გერმანია)

საქართველოდან ბზს 2017-ის მუშაობაში მონაწილეობდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის პროფესორი და ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის იმსტიტუტის ბორშემცველი და კომპოზიტური მასალების ლაბორატორიის უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი ლევან ჩხარტიშვილი. მან გააკეთა მიწვეული მოხსენება:

- ლ. ჩხარტიშვილი, ი. მურუსიძე. ბორის ბრტყელი უხვრელო ფურცლის ზონური ზედაპირები და მდგომარეობათა სიმკვრივე.



ტექნიკური ჯგუფის მზადება ზეპირი სესიისათვის



სხდომათა დარბაზში



პოსტერულ სესიაზე

გარდა ამისა, სიმპოზიუმზე ქართველი მეცნიერების მიერ წარმოადგენილ იქნა ზეპირი მოხსენება (გერმანელ და ამერიკელ თანაავტორებთან ერთად):

- ჰ. ვერჰეიტი, მ. ჰ. მანგჰანანი, უ. კულმანი, ა. ჰუმური, პ. დერა, ს. შალამბერიძე. ბორის კარბიდის ფონონებისა და ფონონური გრუნაიზენის კოეფიციენტების შესახებ.

და პოსტერული მოხსენება:

- ა. მიქელაძე, ო. ცაგარეიშვილი, ლ. ჩხარტიშვილი, მ. დარჩიაშვილი, რ. ჭედია, ქ. სარაჯიშვილი. ნანოსტრუქტურული  $B_4C-TiB_2$  კერამიკების სინთეზირება და მათი თვისებები..



გაიმართა ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების საერთაშორისო სიმპოზიუმების საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტის სხდომა. კომიტეტმა ცვლილებები შეიტანა საკუთარ შემადგენლობაში.

წევრები, რომლებიც ფაქტობრივად ჩამოშორდნენ ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების კვლევებს, გამოყვანილ იქნენ კომიტეტიდან, და, სამაგიეროდ, შეყვანილ იქნენ ამ მიმართულებით აქტიურად მომეშავე მკვლევარები

შემოდებულ იქნა საპატიო წევრობის ინსტიტუტი და კომიტეტის დვაწლმოსილი წევრების რიგმა ამ სტატუსში გადაინაცვლა. საბოლოოდ, ბზსს-ების საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტი შემდეგნაირად ჩამოყალიბდა.

**ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების საერთაშორისო სიმპოზიუმების საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტი**

მუდმივი წევრები:

- |                            |                                |
|----------------------------|--------------------------------|
| ბარბარა ალბერტი (გერმანია) | ნიკოლაი სლუჩანკო (რუსეთი)      |
| ვლადიმირ გლუშკოვი (რუსეთი) | კოჰეი სოგა (იაპონია)           |
| იური გრინი (გერმანია)      | მასატომი ტაკედა (იაპონია)      |
| ალი ერდემირი (აშშ)         | კაროლ ფლახბარტი (სლოვაკეთი)    |
| ნატალი ვასტი (საფრანგეთი)  | ვოლოდიმირ ფილიპოვი (უკრაინა)   |
| ჰელმუტ ვერჰეიტი (გერმანია) | ბონიფაც ფოკვა (აშშ)            |
| მაიკლ ვიდომი (აშშ)         | ფილიზ ჩინარ შაჰინი (თურქეთი)   |
| ონურალფ იუჯელი (თურქეთი)   | კოუნ შირაი (იაპონია)           |
| კაორუ კიმურა (იაპონია)     | ნატალია შიცევალოვა (უკრაინა)   |
| იენს კუნცმანი (გერმანია)   | ლევან ჩხარტიშვილი (საქართველო) |
| მურლი მანგჰანანი (აშშ)     | ოთარ ცაგარეიშვილი (საქართველო) |
| ტაკაო მორი (იაპონია)       | ჟან-ფრანსუა ჰალე (საფრანგეთი)  |
| დევი პორტუ (საფრანგეთი)    | ჰარალდ ჰილბრეხტი (გერმანია)    |
| პეტერ როგლი (ავსტრია)      |                                |

საპატიო წევრები:

- |                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| მარინა ანთაძე (საქართველო) | ვალტერ იუნგი (გერმანია) |
| ვლადიმირ გურინი (რუსეთი)   | ტაკაჰო ტანაკა (იაპონია) |



საერთაშორისო სამეცნიერო კომიტეტის წევრები მიუნსტერპლაცზე (ფრაიბურგის საკათედრო ტაძრის მოედანზე)



სხდომის შემდეგ ბანკეტზე – მენიუს შერჩევა

აქამდე ბბსს-ები იმართებოდა ყოველ სამ წელიწადში ერთხელ. აღინიშნა, რომ დარგის ძალზე დაჩქარებული განვითარების გამო აუცილებელია ორწლიან ციკლზე გადასვლა. შესაბამისად, გადაწყდა, რომ მომდევნო მე-20 სიმპოზიუმი გაიმართოს უკვე 2019 წელს. მას უმასპინძლებს ნიიგატა სიტი (ნიიგატას პრეფექტურა, იაპონია). ხოლო 21-ე სიმპოზიუმი ჩატარდება პარიზში (საფრანგეთი) 2021 წელს.

გერმანიაში რამდენიმე ქალაქია სახელწოდებით ფრაიბურგი (ე.ი. თავისუფლი ქალაქი). ბორის, ბორიდებისა და მონათესავე მასალების მე-19 საერთაშორისო სიმპოზიუმს მასპინძლობდა ბრაეზგაუს ფრაიბურგი, რომელიც მდებარეობს სამხრეთ გერმანიაში, უშუალოდ საფრანგეთისა და შვეიცარიის საზღვრებთან. შუა საუკუნეებში აქ ვერცხლის საბადოები იყო და ქალაქი მნიშვნელოვანი სავაჭრო ცენტრის როლს ასრულებდა. ამჟამად ეს ეკოლოგიურად სუფთა (სიმწვანეშია ჩაფლული, ხოლო მაცხოვრებელთა უმრავლესობა ველოსიპედებით გადაადგილდება) საუნივერსიტეტო და ტურისტული ქალაქია.



ფრაიბურგის საერთო ხედი



საკათედრო ტაძარი



ალბერტშტრასეზე ღამით



ფრაიბურგის სახლები



დატვირთულ სამეცნიერო პროგრამასთან ერთად მასპინძლებმა სტუმრებს საინტერესო სოციალური პროგრამაც შესთავაზეს.

თავდაპირველად სიმპოზიუმის მონაწილეები გაემგზავრნენ ადგილობრივი ღვინის წარმოების რეგიონში – ენდინგენში და მატარებლის ფანჯრებიდან დაათვალიერეს ქალაქ კაიზერშტულის შემოგარენი, რომელიც თითქმის მთლიანად ვენახებს უკავია.



გზად მეღვინეობის რეგიონისაკენ



ქალაქ კაიზერშტულის სარკინიგზო სადგური



მატარებლისაკენ



მატარებელში



ენდინგენში სარკინიგზო ლიადანგი უმეტესწილად ვენახებს შორის გადის

შემდეგ კი სიმპოზიუმის მონაწილეები შაუნსლანდისა და ფელდბერგის გავლით ავიდნენ მაღალმთიან ტბაზე სახელწოდებით ტიტის ზღვა, რომელიც პოპულარული საკურორტო და ტურისტული ადგილია.



გზა ტიტის ზღვისაკენ ტყეში მიემართება



ტიტის ზღვა



სიმპოზიუმის სოციალური პროგრამა დასრულდა მეგობრული სადილით ჰენსლერჰოფში. ეს არის ადგილი, სადაც თავმოყრილია ხის არქიტექტურის ძველი ნიმუშები და მოწყობილია ეთნოგრაფიული მუზეუმი. სიმპოზიუმის მონაწილეებმა სიამოვნებით დააგემოვნეს ადგილობრივი კერძები და ღვინოები.



ჰენსლერჰოფის ეზოში



სადილის დაწყებამდე სტუმრებს ლუდით გაუმასპინძლდნენ



ადგილობრივი სამზარეულოს ინტერიერი



ადგილობრივი ღვინო და ნამცხვრები



რესტორნის დარაზში



ეთნოგრაფიულ მუზეუმში



ბზსს 2017-ზე წარმოდგენილი უკლებლივ ყველა მოხსენება საყურადღებო იყო. მათგან რჩეული ნაწილის სრული ტექსტები, ბოლო სიმპოზიუმებზე დამკვიდრებული ტრადიციის შესაბამისად, სტატიების სახით გამოქვეყნდება დარგის ისეთ წამყვან ჟურნალში, როგორცაა Solid State Sciences.

დასკვნის სახით შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ბორის, ბორიდებისა და მონათასავე მასალების მე-19 საერთაშორისო სიმპოზიუმი, 2017 წლის 3 – 8 სექტემბერი, ფრაიბურგი, გერმანია (ბზსს 2017) უაღრესად მნიშვნელოვანი სამეცნიერო ფორუმი იყო. მან შეაჯამა უკანასკნელი სამი წლის განმავლობაში ბორშემცველი მასალების შემუშავებაში, მიღებაში, თვისებების შესწავლასა და გამოყენებებში მიღწეული შედეგები და დასახა ამ მიმართულებით კვლევების გაგრძელების შესაძლებლობები.

*ლევან ჩხარტიშვილი*

2017 წლის 30 სექტემბერი

ნანომასალები: გამოყენებები და თვისებები – 2017 \*

ელექტრობისა და ელექტრონიკის ინჟინერთა ინსტიტუტმა (ეეი), სუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მონაწილეობით, თავისი 2017 წლის – მე-7 საერთაშორისო კონფერენცია „ნანომასალები: გამოყენებები და თვისებები“ (ნგთ – 2017) 10 – 15 სექტემბერს გამართა შავიზღვისპირა კურორტზე ზატოკა (ოდესის ოლქი, უკრაინა).



კონფერენციის მონაწილეთა ჯგუფური ფოტო

185 მონაწილემ 35 ქვეყნიდან (ალჟირი, ამერიკის შეერთებული შტატები, ბელარუსი, გაერთიანებული არაბული ემირატები, გერმანია, დიდი ბრიტანეთისა და ჩრდილოეთ ირლანდიის გაერთიანებული სამეფო, ეგვიპტე, ესპანეთი, თურქეთი, იაპონია, ინდოეთი, ინდონეზია, ირანი, იტალია, ლატვია, ლიეტუვა, მოლდოვა, ნიდერლანდები, ნორვეგია, პაკისტანი, პოლონეთი, პორტუგალია, რუსეთი, საბერძნეთი, საფრანგეთი, საქართველო, სლოვაკეთი, ტაივანი, უზბეკეთი, უკრაინა, შვედეთი, ჩეხეთის რესპუბლიკა, ყაზახეთი, ყატარი, ხორვატია) წარმოადგინა თითქმის 70 ზეპირი და 100-ზე მეტი სტენდური მოხსენება.



კონფერენცია მიმდინარეობდა სასტუმროში „რუტა“

\* ქრონიკა მომზადებულია ნგთ – 2017-ის თანათავმჯდომარეების – Prof. Alexander Pogrebnyak (Sumy State University, Ukraine) და Dr. Valentine Novosad (Argonne National Laboratory, USA) – საინფორმაციო წერილისა და ონლაინ-ფოტოალბომის გამოყენებით.

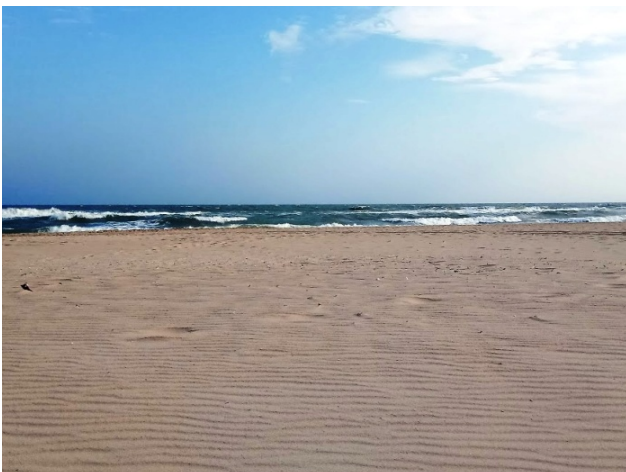




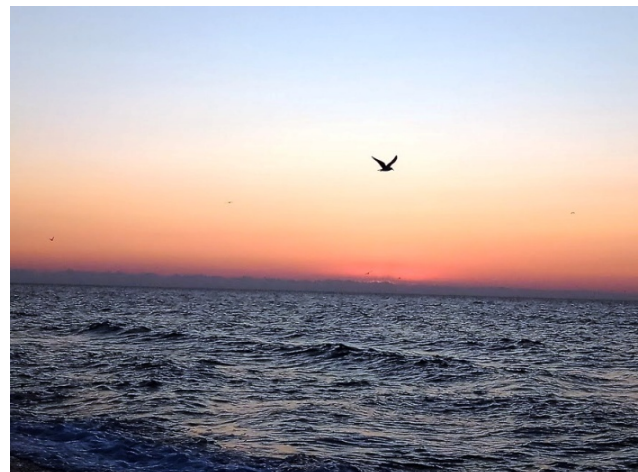
კონფერენციის საორგანიზაციო კომიტეტი



კონფერენციის  
პროგრამის გარეკანი



ზატოკის ყურე



ზატოკა – მზის ამოსვლა ზღვაზე

შეიძლება ითქვას, რომ წგთ – 2017-მა ნანომეცნიერებისა და ნანოტექნოლოგიის პრაქტიკულად ყველა სფერო მოიცვა – მოხსენებები 12 მიმართულებად იყო დაყოფილი:

- 1 ზედაპირებისა და ინტერფეისების თვისებები და დახასიათება
- 2 ფუნქციონალური ნანოსტრუქტურული დანაფარები
- 3 პლაზმა და იონები ზედაპირის ინჟინერიისათვის. რადიაციული ეფექტები
- 4 ნანონაწილაკებისა და ნანოხელსაწყობების წარმოების ტექნოლოგიები
- 5 ნანოსტრუქტურული თხელი ფირები
- 6 ნანომასშტაბური გაზომვები და ანალიზი
- 7 მაგნიტური წვრილი ნაწილაკები და მულტიფენები
- 8 ნანოპოლიმერები და ნანოკომპოზიტები: სინთეზი და გამოყენებები
- 9 ნანომასალები ნახშირბადის ფუძეზე
- 10 ნანომასალები ენერგეტიკისათვის
- 11 ნანომასალები ბიომედიცინისათვის
- 12 ნანომასალები ელექტრონიკის, სპინტრონიკისა და ფოტონიკისათვის



პლენარულ სესიაზე



პოსტერულ სესიაზე

2017 წელს, პირველად ნეთ-კონფერენციაზე, დასახელდა, შესაბამისად, 3 და 6 საუკეთესო ზეპირი და პოსტერული მოხსენება. მათი ავტორები კონფერენციის საპატიო სერთიფიკატებით დაჯილდოვდნენ.



ერთ-ერთი ჯილდო საუკეთესო ზეპირი მოხსენებისათვის მიეკუთვნა დაშა სმაზნას (კილის უნივ.)



ერთ-ერთი ჯილდო საუკეთესო პოსტერული მოხსენებისათვის მიეკუთვნა მარგარიტა ლისოვენკოს (სუმის სახ. უნივ.)



ერთ-ერთი ჯილდო საუკეთესო პოსტერული მოხსენებისათვის მიეკუთვნა ნაძეია ზრეჩნევას (ბელარუსის სახ. უნივ.)

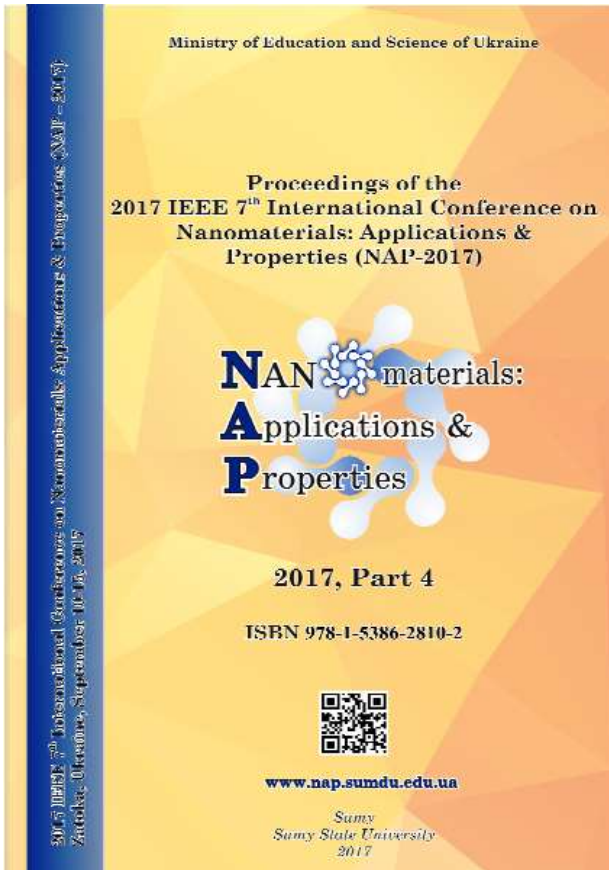
მოხსენებები სრული სტატიების სახით გამოქვეყნდა კონფერენციის მასალების 4 ტომში. სტატიები, რომელთაც გაიარეს რეცენზირება, ინდექსირებული იქნება Scopus-ისა და Web-of-Science-ის მონაცემთა ბაზებში.

ნეთ – 2017-ზე ქართველი მეცნიერების მიერ 3 მოხსენება იქნა წარდგენილი:

- ლ. კალანდაძე (ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი). იმპლანტირებული  $(YBiCa)_3(FeGe)_5O_{12}$  გრანატის ფირების მაგნიტურ-ოპტიკური თვისებების კვლევა გამჭვირვალობის არეში“  
L. Kalanadadze (Batumi Shota Rustaveli State University). “Investigation of the magneto-optical properties in transparent region of implanted  $(YBiCa)_3(FeGe)_5O_{12}$  garnet films”
- ს. დადუნაშვილი (საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი). „დაპტაციური ქცევის ტოპოლოგიური ასპექტების კვლევა“  
S. Dadunashvili (Georgian Technical University). “Research of topological aspects of adaptive behavior”



- ლ. ჩხარტიშვილი (საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი). „ბორის კვაზიპლანარული კლასტერები. დიატომური მიდგომის მინიმუმობილვა“  
L. Chkhartishvili (Georgian Technical University). “Boron quasi-planar clusters. A mini-review on diatomic approach”



კონფერენციის მასალების  
ერთ-ერთი ტომის გარეკანი

ლევან ჩხარტიშვილის  
სტატიის პირველი გვერდი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტის პროფესორის სტატია კონფერენციის მასალებში გამოქვეყნდა:

- L. Chkhartishvili. Boron quasi-planar clusters. A mini-review on diatomic approach. In: Proceedings of IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP – 2017), Part 4, Track: Nanomaterials for Electronics, Spintronics and Photonics (Ed.-in-Ch. A. D. Pogrebnjak), 2017, Sumy, Sumy State Univ., 04NESP10, 1-5.

პლენარული და პოსტერული სესიების პარალელურად გაიმართა სპეციალისტების შეხვედრა მრავალი მაგიდის „ნანომასალები მედიცინაში“ ირგვლივ, რომელიც ფოკუსირებული იყო ევროკავშირის ერთ-ერთი ყველაზე უფრო მასშტაბური კვლევისა და ინოვაციის პროგრამის – „ჰორიზონტი 2020“ ინიციატივის – ფარგლებში კოლაბორაციულ კვლევასა და განვითარებაზე.

კონფერენციის ორგანიზატორებმა მონაწილეებს საინტერესო სოციალური პროგრამა შესთავაზეს.



კონფერენციის მონაწილე  
უკრაინულ ბორშს მიირთმევს



კატერით გასეირნება



ექსკურსია ბილგოროდ-დნისტროვსკში – აკერმანის ციხე-სიმაგრე



მთლიანობაში ეეი-ის მე-7 საერთაშორისო კონფერენციამ „ნანომასალები: გამოყენებები და თვისებები“, 2017 წლის 10 – 15 სექტემბერი, ზატოკა, ოდესის ოლქი, უკრაინა (ნგთ – 2017) დიდი წარმატებით ჩაიარა. გამართულმა დისკუსიამ და სპეციალისტთა აზრთა გაცვლა-გამოცვლამ მნიშვნელოვანი ბიძგი მისცა ნანომეცნიერებისა და ნანოტექნოლოგიის შემდგომ განვითარებას.

*ლევან ჩხარტიშვილი*

2017 წლის 13 ოქტომბერი

თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული  
სინთეზის XIV საერთაშორისო სიმპოზიუმი

თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზი (თმს) წარმოადგენს ზემტვიცე და ძნელდნობადი მასალების მიღების ერთ-ერთ ყველაზე უფრო ეფექტურ მეთოდს. უკვე ნახევარი საუკუნეა რაც თმს დანერგილია პრაქტიკაში და რეგულარულად იმართება ამ მიმართულების საერთაშორისო სიმპოზიუმები. თმს-ის განვითარებაში ქართველი მეცნიერების მიერ შეტანილი წვლილის მნიშვნელოვნების აღიარება იყო თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის XIV საერთაშორისო სიმპოზიუმის (თმს 2017) გამართვა თბილისში (2017 წლის 25 – 28 სექტემბერი).

თმს 2017-ის ორგანიზატორი იყო ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი (ფთმმმი), საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნულ აკადემიასთან ერთად. სიმპოზიუმს თავმჯდომარეობდა ფთმმმი-ის დირექტორი აკად. გიორგი თავაძე. სიმპოზიუმის ჩატარებაში აგრეთვე მონაწილეობდა რუსეთის მეცნიერებათა აკადემიის მერჟანოვის სტრუქტურული მაკროკინტიკისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი, რომელიც თმს-ის ავტორის ა. გ. მერჟანოვის სახელს ატარებს. სიმპოზიუმის სპონსორი იყო „ჯორჯიან მანგანუმი“.



სხდომათა დარბაზი სიმპოზიუმის გახსნამდე



პლენარულ სხდომაზე

სიმპოზიუმის პროგრამაში ჩართული იყო 75 პლენარული და ზეპირი და 32 პოსტერული მოხსენება, ეარმოდგენილი მკვლევრების მიერ შემდეგი ქვეყნებიდან: ამერიკის შეერთებული შტატები, დიდი ბრიტანეთისა და ჩრდილოეთ ირლანდიის გაერთიანებული სამეფო, ესტონეთი, თურქეთი, იაპონია, ირანი, ისრაელი, იტალია, კორეის რესპუბლიკა, ნეპალი, პოლონეთი, რუსეთი, საბერძნეთი, საფრანგეთი, საქართველო, სომხეთი, ტაივანი, უკრაინა, ყაზახეთი. მთლიანობაში სიმპოზიუმს 85 მონაწილე დაესწრო.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია, რომ თმს 2017-ზე საკუთარი მიწვეული მოხსენება წარმოადგინა ნობელის პრემიის ლაურეატმა დან შეხტმანმა (ინსტიტუტი „ტექნიონი“, ჰაიფა, ისრაელი):

- D. Shechtman. “Quasi-periodic materials – A paradigm shift in crystallography”  
დ. შეხტმანი. „კვაზიპერიოდული კრისტალები – პარადიგმული წანაცვლება კრისტალოგრაფიაში“

მომხსენებელმა ძალზე შთამბეჭდავად გადმოსცა მის მიერ კვაზიკრისტალების აღმოჩენის ისტორია და ის რადიკალური გავლენა, რაც ამ აღმოჩენამ იქონია კრისტალოგრაფიის შემდგომ განვითარებაზე.

სიმპოზიუმის მუშაობაში აქტიურად მონაწილეობდნენ თმს-ის ქართველი მკვლევრები. ამ დარგში საქართველოში და, კერძოდ, ფთმმმი-ში მიღებული შედეგები შეჯამდა გიორგი თავაძის მიწვეულ მოხსენებაში:

- G. Tavadze. “Successes and ways of development of SHS in Georgia”  
გ. თავაძე. „თმს-ის მიღწევები და განვითარების გზები საქართველოში“



სიმპოზიუმის პროგრამის გარეკანი



სიმპოზიუმის მასალების გარეკანი

თმს-ის თბილისის სიმპოზიუმზე წარმოდგენილი მოხსენებების გაფართოებული აბსტრაქტები ცალკე კრებულის სახით გამოიცა.

პლენარული, ზეპირი და პოსტერული სესიების პარალელურად ორი შეხვედრა გაიმართა მრგვალი მაგიდის ირგვლივ:

- თმს-ის 50 წელიწადი
- თმს-თან თემატურად დაკავშირებული პუბლიკაციების ანალიზი, ჟურნალების გამოცემა და ა.შ.

აგრეთვე, ჩატარდა თვითგავრცელებადი მაღალტემპერატურული სინთეზის საერთაშორისო სიმპოზიუმების მრჩველთა საბჭოს შეხვედრა. განხილულ ოქნა საერთაშორისო სამეცნიერო თანამშრომლობის პროგრამები მასალათმცოდნეობაში.

სიმპოზიუმის მონაწილეებს საშუალება მიეცათ გაცნობოდნენ თბილისში მდებარე უნივერსიტეტებისა და კვლევითი ინსტიტუტების მასალათმცოდნეობითი მიმართულების ლაბორატორიების მუშაობას.

ორგანიზატორებმა საინტერესო და დატვირთული სოციალური პროგრამა შესთავაზეს უცხოელ სტუმრებს: მონაწილეთა მიღება, ექსკურსია მცხეთაში – მეგობრული ზანკეტი, ექსკურსია კახეთში (სიღნაღი და წინანდალი) – სადილი.

ოთარ ცაგარეიშვილი

2017 წლის 1 ოქტომბერი

რედაქტორისაგან: პროფ. ფათჰი ჰაბაშის  
ფურცლები მეცნიერების ისტორიიდან

ჩვენ ჟურნალში კვლევითი სტატიების გარდა, სისტემატურად ქვეყნდება ნარკვევები მეცნიერებისა და ტექნოლოგიის ისტორიიდან. ამ ტრადიციას სათავე 2011 წელს დაუდო გამოჩენილმა მეცნიერ-მეტალურგმა ფათჰი ჰაბაშიმ, რომელმაც სპეციალურად ჩვენი ჟურნალის მკითხველი ნანომეცნიერებისათვის ოთხ სტატიაში ცალკე-ცალკე აღწერა მეტალურგიის ძირითადი დარგები და სამთო, პირო-, ჰიდრო- და ელექტრომეტალურგიული ტექნოლოგიების განვითარების მოკლე ისტორია:

- F. Habashi. Mineral processing for nano-scientists. Nano Studies, 2011, 3, 25-40.
- F. Habashi. Pyrometallurgy for nano-scientists. Nano Studies, 2011, 3, 41-62.
- F. Habashi. Hydrometallurgy for nano-scientists. Nano Studies, 2011, 3, 63-90.
- F. Habashi. Electrometallurgy for nano-scientists. Nano Studies, 2011, 3, 91-114.

შემდგომში ავტორმა ეს სტატიები გააერთიანა, შესავალი დაურთო და იმავე 2011 წელს ცალკე წიგნად გამოცა:

- F. Habashi. Mineral Processing for Nano-Scientists, 2011, Quebec City, Metallurgie Extractive Quebec, 174 pp.

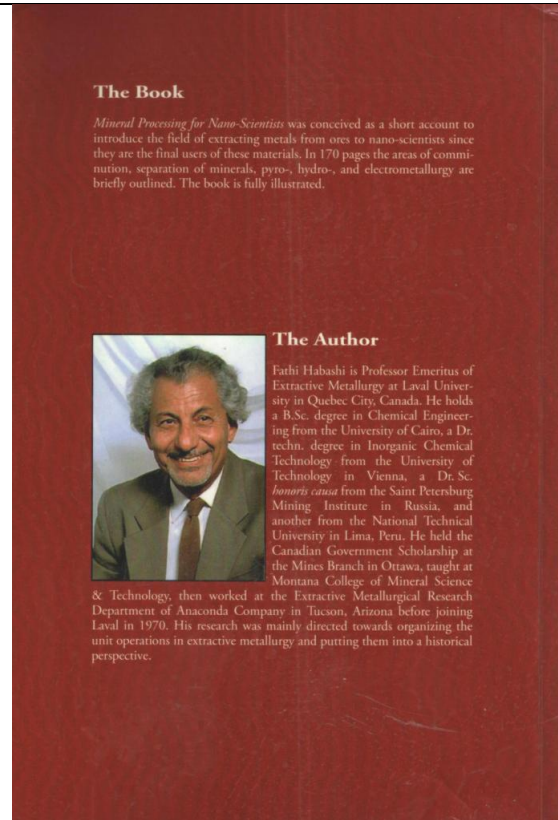
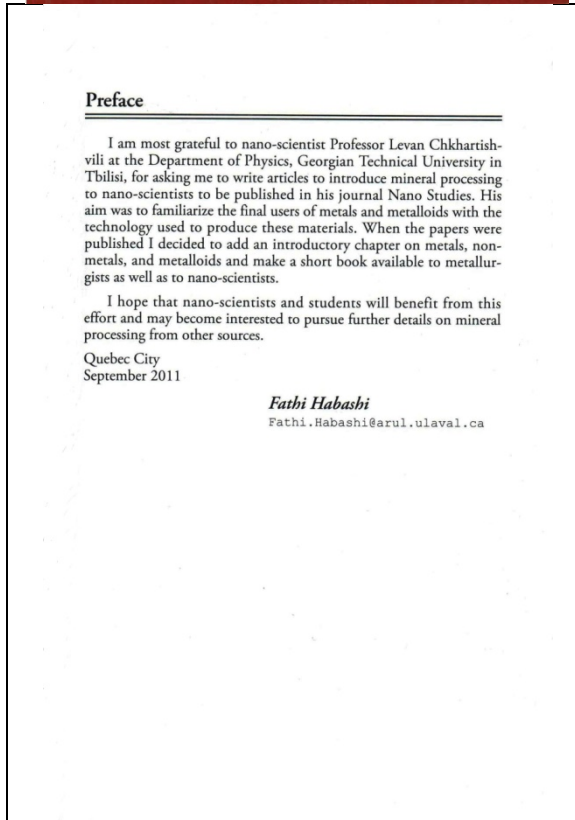
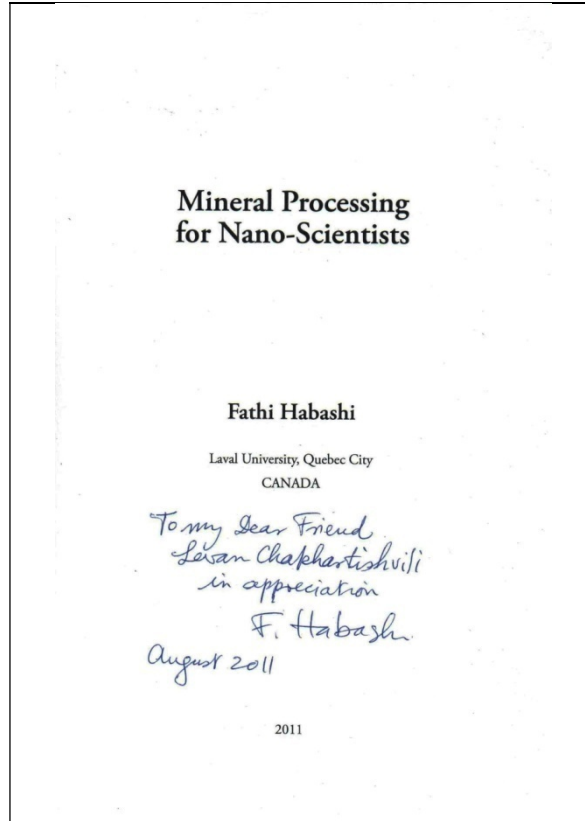
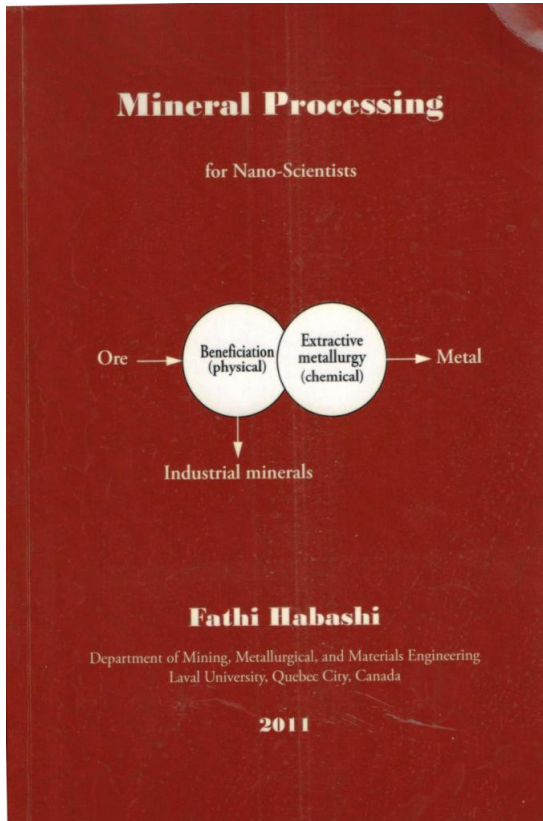
პროფ. ფათჰი ჰაბაში წარმოშობით ეგვიპტიდანაა. მას დამთავრებული აქვს ქაიროს უნივერსიტეტი (ქაირო, ეგვიპტე) ქიმიური ინჟინერიის განხრით. წლების განმავლობაში იგი მუშაობდა ცნობილი სამრეწველო კომპანიის „ანაკონდა“ (თუსონი, არიზონა, აშშ) სამთო მეტალურგიის კვლევით დეპარტამენტში. ამჟამად კი ლავალის უნივერსიტეტის (კვებეკ-სიტი, კვებეკი, კანადა) სამთო მეტალურგიის ემერეტუს-პროფესორია.

პროფ. ფათჰი ჰაბაშის ვენის უნივერსიტეტის (ვენა, ავსტრია) მიერ არაორგანულ ქიმიურ ტექნოლოგიაში მინიჭებული აქვს ტექნიკის დოქტორის ხარისხი. გარდა ამისა, იგი არის სანქტ-პეტერბურგის სამთო ინსტიტუტის (სანქტ-პეტერბურგი, რუსეთი) და ლიმის ეროვნული ტექნიკური უნივერსიტეტის (ლიმა, პერუ) საპატიო დოქტორი.

Nano Studies-ში მომდევნო წლებშიც ქვეყნდებოდა ფათჰი ჰაბაშის ნარკვევები მეცნიერებისა და ტექნოლოგიის განვითარების ისტორიიდან:

- F. Habashi. Imagination in science. Nano Studies, 2012, 5, 121-132.
- F. Habashi. Georgius Agricola. Nano Studies, 2012, 6, 121-126.
- F. Habashi. The Industrial Revolution. Nano Studies, 2013, 7, 323-334.
- F. Habashi. The beginnings of the aluminum industry. Nano Studies, 2013, 8, 333-344.
- F. Habashi. New phenomena in science. How they were explained. Nano Studies, 2014, 9, 191-200.
- F. Habashi. Mendeleev and the petroleum industry. Nano Studies, 2015, 12, 209-218.
- F. Habashi. Nano iron oxide fumes. Nano Studies, 2017, 15/16, 69-72.





წიგნის – F. Habashi. Mineral Processing for Nano-Scientists, 2011, Quebec City, Metallurgie Extractive Quebec, 170 pp.

– გარეკანი, სატიტულო გვერდი და წინასიტყვაობა.



აღსანიშნავია, რომ 2015 წელს Nano Studies-ში დაბეჭდილი ფათჰი ჰაბაშის სტატია, რომელიც ეძღვნებოდა კავკასიაში ნავთობმომპოვებელი მრეწველობის დღევანდელ მდგომარეობას და მისი განვითარების ისტორიას და, კერძოდ, დიმიტრი მენდელეევის როლს ამ პროცესში, ყაზახეთის (სამეცნიერო-ტექნიკური და საწარმოო) სამთო ჟურნალის (Mining Journal of Kazakhstan – Горный журнал Казахстана) მიერ ჯერ ინგლისურად იყო გადაბეჭდილი, ხოლო შემდგომ, მრავალრიცხოვან მკითხველთა თხოვნის საფუძველზე რუსულად ითარგმნა და კვლავ გამოქვეყნდა.

- Ф. Хабаш. Менделеев и нефтяная промышленность. Горный журнал Казахстана, 2017, 12, 38-45.

38 Страницы истории

Статья «Mendeleev and the petroleum industry» в английском языке была опубликована в Горном журнале Казахстана №6 2017 г. По многоязычному запросу читатель статьи была переведена на русский язык: Бюсюк Гудыбау и Лутфияна Алимбаева.

УДК 622.276



Ф. Хабаша  
Ливанский университет, Кобек-Сити, Канада

**МЕНДЕЛЕЕВ И НЕФТЯНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

Менделеев Дмитрий Иванович (1834-1907) (рис. 1) периодического закона – не единственное его выдающееся профессиональное достижение. Основным профаным талантом Менделеева являлась работа над проблемами переработки нефти. Он написал много статей на эту тему и поддерживал тезис о том, что кристаллизация нефти была результатом реакции:

Открытие в 1869 г. воды, – широкое, охватывающее сегодня в науку организмы теории кристаллизации нефти. Ученый часто посещал в Баку, Азербайджан, где кипела работа по возвращению добычи нефти. В те времена Азербайджан был частью Российской Империи, и первая нефтяная компания в мире – российская – использовала методы была проведена в Азербайджане более чем за десять лет до того, как была проведена первая нефтяная компания в Северной Америке в 1901 г. в Азербайджане добыча нефти. Более известная мировая нефть. Сегодня, во сравнении с другими странами – преимущественно нефть, Азербайджан добывает нефть в количестве нефти.

Космонавт В 846 г. (в Баку) была построена первая нефтяная фабрика. Для «оборудования» нефти была изобретена бочка (баррель), которую сегодня можно увидеть в музеях нефти добычи в регионах нефти добычи в баррель. Компания представляет собой историю, которая, по оценкам, составляет 150-275%. Во второй половине XIX века Баку превратился в крупнейший нефтяной регион России. Космос широко использовался для приготовления нефти из сырья, использовалась в 1895 г. (рис. 2), и в качестве горючего в лампах и фонарях (рис. 3, 4) до тех пор, пока не стало доступно электрическое освещение. Термин «космос» происходит от греческого слова, означающего огонь, и характеризовался как товарный знак и 1854 в Кировак горнодобывающей и с 2002 года горнодобывающей, чем другие методы.

Широкое распространение дешевой керосиновой лампы



Рис. 2. Принцип.



Рис. 3. Керосиновая лампа.

Горный журнал Казахстана №12 / 2017

42 Страницы истории

нефть, керосин, который использовался для освещения и в промышленности. В 1877 г. было изобретено устройство для переработки нефти, которое использовалось для переработки нефти в керосин. В 1890 г. в России существовало уже 21 нефтеперерабатывающее предприятие. В Баку нефть была изобретена в 1823 г. В 1884 г. промышленность нефти в Баку организована Советом нефтепромышленников под руководством Николая Нибелеса. Сын солдата жермы «Нефтяное дело». Людвиг и Роберт Гоблин изобрели метод Гробиндана – метод, который использовался Российской императором Александром III и его вдовой 4 октября 1888 г. В 1880 г. в Баку изобретена керосиновая лампа. Людвиг Нибелеса изобрел нефтяную лампу, первая в мире так называлась «Доблестная» (рис. 12), он был изобретен в Швейцарии в 1878 г. и совершил свое первое путешествие в Баку в Астрахань. С 1880 г. 241 инженер изобрел 133 патентов в 112 городах, борющихся с нефтью на Кавказе, где производилась нефть. Произведенная нефть была вывезена в Баку, была построена паровая станция, и нефть была вывезена в Волго-Каспийское море. Произведенная нефть была вывезена в Баку, была построена паровая станция, и нефть была вывезена в Волго-Каспийское море. Произведенная нефть была вывезена в Баку, была построена паровая станция, и нефть была вывезена в Волго-Каспийское море.



Рис. 17. Транскаспийская железная дорога, соединившая Баку и Батум.



Рис. 18. Нефтепровода Баку – Тбилизи – Дербича, 2006.

В 1810 г. Менделеев предложил использовать нефть для транспортировки нефти в морях (рис. 14). Проект был отклонен как преждевременный. Строительство нефтепровода началось только в 1899 г. и закончилось в 1906 г. Этот нефтепровод использовался для транспортировки нефти, и в то время был самым протяженным нефтепроводом в мире. Именно изобретением Александр Нибелеса является понятие о транспортировке нефтепровода при помощи горючего топлива. В последующие годы было построено много других нефтепроводов.

Братия Ротшильд в Баку (1827-1905) (рис. 15), сын Пармения

и провела бурение. Вакансия в Баку была объявлена в 1827 г. Менделеев предложил использовать нефть для транспортировки нефти в морях (рис. 14). Проект был отклонен как преждевременный. Строительство нефтепровода началось только в 1899 г. и закончилось в 1906 г. Этот нефтепровод использовался для транспортировки нефти, и в то время был самым протяженным нефтепроводом в мире. Именно изобретением Александр Нибелеса является понятие о транспортировке нефтепровода при помощи горючего топлива. В последующие годы было построено много других нефтепроводов.

Братия Ротшильд в Баку (1827-1905) (рис. 15), сын Пармения

Горный журнал Казахстана №12 / 2017

რუსულ ენაზე თარგმნილი ფათჰი ჰაბაშის სტატიის პირველი გვერდი და გვერდი, სადაც ნაჩვენებია ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის ნავთობსადენის მიმართულება.

სწორედ პროფ. ფათჰი ჰაბაშიმ შემომთავაზა ჟურნალში გამოყოფილიყო რუბრიკა: Science History Pages – ფურცლები მეცნიერების ისტორიიდან. სულ ახლახან მან გამოსცა წიგნი მსგავსი სათაურით:

- F. Habashi. The History Page, 2017, Quebec City, Metallurgie Extractive Quebec, 474 pp.

სათაური მსგავსია, მაგრამ არა – იგივე. საქმე ისაა, რომ ამ წიგნის თავები ეძღვნება არა მხოლოდ მეცნიერებისა და ტექნოლოგიის ისტორიას, არამედ – საკუთრივ ისტორიას.

*The History Page* contains varied articles of historical interest in today's world.

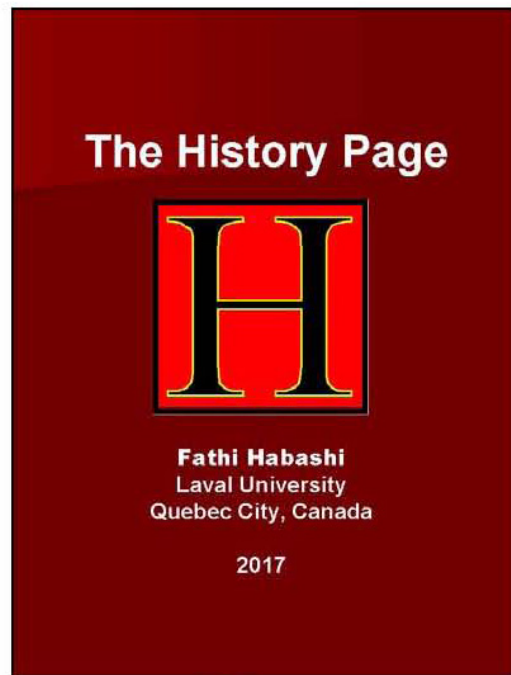
Topics discussed:

- |   |  |
|---|--|
| 1 Ancient Studies                                     | 17 250th Anniversary of Freiberg Mining Academy    |
| 2 Decisive Battles in Levant                          | 18 Dubai   |
| 3 Beethoven: Patriotism and Social Justice            | 19 Korea Today                                     |
| 4 The Pyramids of Egypt                               | 20 Alfred Nobel: Explosives and Postage Stamps     |
| 5 Casting <i>versus</i> Carving of the Pyramid Stones | 21 The Case of Nobelists Lenard and Stark          |
| 6 Hildesheim and Ancient Egypt                        | 22 The Bull and the Golden Calf                    |
| 7 Barbarism in Egypt                                  | 23 Sacrifice in Religion                           |
| 8 Muslim Military Units in the German Reich           | 24 Serpent in Art and Religion                     |
| 9 Japan: A Closed Society Opens to the West           | 25 How USA displaced the British Empire            |
| 10 East is East and West is West                      | 26 Struggle of Women for Higher Education          |
| 11 Some Advice to our Recent Graduates                | 27 Innovation by Mistake                           |
| 12 Sciences sans conscience?                          | 28 Purple of Cassius: Nano Gold or Colloidal Gold? |
| 13 How English Became the Language of Science         | 29 Titanium Monuments                              |
| 14 Imagination in Science                             | 30 Iron Trails                                     |
| 15 New Phenomena in Science                           | 31 Silver Road                                     |
| 16 Louis Hébert in Québec                             | 32 The Magic of Sculpture                          |

Fathi Habashi is Emeritus Professor at Laval University

<http://pages.infnit.net/habashi/>

Published by Métallurgie Extractive Québec  
Distributed by Laval University Bookstore "Zone"  
[www.zone.ul.ca](http://www.zone.ul.ca)



450 pages

**e-Book \$ 20**

## Preface

When Prof. Levan Chkhartishvili of the Department of Physics, Georgian Technical University, in Tbilisi and editor of *Nano Science* asked me to write in his journal, I told him that I can write only historical articles in what you may call "The History Page." He agreed and after writing some articles it became a regular feature of his journal. I also used my web site [http://works.bepress.com/fathi\\_habashi/](http://works.bepress.com/fathi_habashi/) to insert unpublished articles. With time, I found that these articles should be combined together in a book which I called *The History Page*. These historical articles are non-metallurgical. They discuss art and science, events of today, or subjects that I tried to find answers for them. The article on "Dubai" shows how a country rose from the Middle Ages to modern times in a very short time. The article on "Korea Today" is written at a time when North Korea challenged the whole world by its military establishment.

The article on "Decisive Battles in the Levant" shows how the Levant suffered from so many wars from ancient times to the present. When I wanted to find answers to some questions that bothers me, I wrote "The Bull and the Golden Calf," "The serpent," and "Sacrifice" after so much research. I admired very much "Beethoven" and "Sculpture" and these were the subject of intensive research. Some were published in *Nano Science* and others in different journals.

October 2017  
Québec City

Fathi Habashi  
[Fathi.Habashi@arul.ulaval.ca](mailto:Fathi.Habashi@arul.ulaval.ca)

პროფ. ფათჰი ჰაბაშის  
წიგნის „ისტორიის  
ფურცელი“ ფლავერი.

პროფ. ფათჰი ჰაბაშის წიგნის  
„ისტორიის ფურცელი“ წინასიტყვაობა.

მეცნიერებისა და განათლების ისტორიისადმი მიძღვნილი თავების ნაწილი სტატიების სახითაა გამოქვეყნებული ჩვენ ჟურნალში, ნაწილი კი ადრე არ დაბეჭდილა და მხოლოდ ელექტრონულად ვრცელდებოდა. მრავლისმეტყველია მათი სათაურები:



- ჩამოსხმულია თუ ამოკვეთილია პირამიდების ქვები?
- რამდენიმე რჩევა ჩვენს ახლად კურსდამთავრებულებს
- მეცნიერება გაცნობიერების გარეშე?
- როგორ გახდა ინგლისური მეცნიერების ენა
- წარმოსახვა მეცნიერებაში
- ახალი მოვლენები მეცნიერებაში: როგორ იყვნენ ისინი ახსნილი
- ოთხასი წლის წინათ: ლუი ებერტი კვებეკში
- ფრაიბურგის სამთო აკადემიის 250-ე წლისთავი
- ალფრედ ნობელი: ასაფეთქებელი ნივთიერებები და საფოსტო მარკები
- ნობელიანტების ერთი მაგალითი: ფილიპ ლენარდი და იოჰან შტარკი
- ქალთა ბრძოლა უმაღლესი განათლების უფლებისათვის
- გამოგონება შემთხვევით
- კასიუსის მეწამული: ნანო ოქრო თუ კოლოიდური ოქრო?
- ტიტანის ქანდაკებები
- რკინის საძიებო სამუშაოები
- ვერცხლის გზა

არანაკლებ შთამბეჭდავია და ავტორის ფართო თვალსაწიერზე მიუთითებს იმ თავების ჩამონათვალი, რომლებიც მსოფლიოს ისტორიისა და თანამედროვეობის სხვადასხვა აქტუალურ პრობლემას ეხმაურება (იხილეთ წიგნის ფლაერი). წიგნი უხვადაა ილუსტრირებული, რაც კიდევ უფრო საინტერესოს ხდის მის გაცნობას.

უკანასკნელ პერიოდში პროფ. ფათჰი ჰაბაში აღარ მუშაობს აქტიურად, როგორც მკვლევარი მეტალურგი. ამის ნაცვლად დაკავებულია ინდუსტრიულ და აკადემიურ სექტორებში დასაქმებული ახალგაზრდა სპეციალისტებისათვის კვალიფიკაციის ასამაღლებელი სალექციო კურსების კითხვით და სახელმძღვანელოებისა და სამეცნიერო-ტექნიკური ცნობარების გამოცემით. ამას იგი ორგანულად უხამებს კვლევას ისტორიაში. აღნიშნულ წიგნს თან ერთვის ფათჰი ჰაბაშის ამ პუბლიკაციების ჩამონათვალი, დაჯგუფებული ტექნიკური და ისტორიული მიმართულებების მიხედვით (თუ გამომცემლობა საგანგებოდ არ არის მითითებული, მაშინ ესაა Metallurgie Extractive Quebec, Quebec City, Canada):

### ტექნიკური

- F. Habashi. Principles of Extractive Metallurgy:
  - Volume 1: General Principles (422 pp.), 1969 (reprinted 1980) (out of print), Gordon & Breach Science Publishers.
  - Volume 2: Hydrometallurgy (468 pp.), 1970 (reprinted 1980) (out of print), Gordon & Breach Science Publishers.
  - Volume 3: Pyrometallurgy (493 pp.), 1986 (reprinted 1992) (out of print), Gordon & Breach Science Publishers.
  - Volume 4: Amalgam and Electrometallurgy (380 pp.), 1998.
- F. Habashi (Ed.). Handbook of Extractive Metallurgy, 4 volumes, 2500 pp., WILEY-VCH, Weinheim, Germany, Also: John Wiley, 605 Third Avenue, New York, NY 10158-0012.
- F. Habashi (Ed.). Alloys. Preparation, Properties, Applications, 312 pp., WILEY-VCH, Weinheim, Germany (out of print). Now available from Metallurgie Extractive Quebec.
- F. Habashi. Metallurgical Chemistry, American Chemical Society, Washington, DC, Manual (279 pp.), Audio Course (MP3 CD, 5 hours playing time). Now available from Metallurgie Extractive Quebec.

- F. Habashi. Metals from Ores. An Introduction to Extractive Metallurgy, 2003, 475 pp.
- F. Habashi. Pollution Problems in the Mineral and Metallurgical Industries, 1996, 150 pp.
- F. Habashi. Textbook of Hydrometallurgy, 2nd edition, 1999, 750 pp.
- F. Habashi. Textbook of Pyrometallurgy, 2002, 600 pp.
- F. Habashi. Kinetics of Metallurgical Processes, 1999, 376 pp.
- F. Habashi (Ed.). Progress in Extractive Metallurgy, Volume 1, Gordon & Breach 1973, 239 pp. (out of print). Now available from Metallurgie Extractive Quebec.
- F. Habashi. Chalcopyrite. Its Chemistry and Metallurgy. McGraw–Hill International Book Company 1978, 177 pp. (out of print). Now available from Metallurgie Extractive Quebec.
- F. Habashi, I. N. Beloglazov, A. A. Galnbek (Eds.). International Symposium. Problems of Complex Ores Utilization, Mineral Processing & Extractive Metallurgy. Special Issue, Gordon & Breach 1995, 280 pp. (out of print). Now available from Metallurgie Extractive Quebec.
- F. Habashi. Aluminum. History & Metallurgy, 2008, 160 pp.
- F. Habashi. Researches on Rare Earths. History and Technology, 2008, 125 pp.
- F. Habashi. Researches on Copper: History, Metallurgy, 2009, 400 pp.
- F. Habashi. Gold: History, Metallurgy, Culture, 2009, 277 pp.
- F. Habashi. Researches on Asbestos, 2011, 115 pp.
- F. Habashi. Mineral Processing for Nano-Scientists, 2011, 174 pp.
- F. Habashi. Extractive Metallurgy of Copper, 2012, 412 pp.
- F. Habashi. Pyrite. History, Chemistry, and Metallurgy, 2012, 115 pp.
- F. Habashi. Pressure Hydrometallurgy, 2014, 242 pp.
- F. Habashi. Readings in Historical Metallurgy, Volume 2: Selected Topics for Metallurgists, 2016, 685 pp.
- F. Habashi. Industrial Minerals through the Ages, 2016, 442 pp.

#### ისტორიული

- F. Habashi (Ed.). Gellert's Metallurgic Chemistry, 1998, 500 pp.
- F. Habashi, D. Hendricker, C. Gignac. Mining and Metallurgy on Postage Stamps, 1999, 335 pp.
- F. Habashi. Extractive Metallurgy Today. Progress and Problems, 2000, 325 pp.
- F. Habashi. From Alchemy to Atomic Bombs, 2002, 350 pp.
- F. Habashi. Schools of Mines. The Beginnings of Mining and Metallurgical Education, 2003, 604 pp.
- F. Habashi. Ida Noddack (1896 – 1978). Personal Recollections on the Occasion of 80th Anniversary of the Discovery of Rhenium, 2005, 164 pp.
- F. Habashi. Readings in Historical Metallurgy, Volume 1: Changing Technology in Extractive Metallurgy, 2006, 800 pp.
- F. Habashi. Postage Stamps: Metallurgy, Art, History, 2008, 125 pp.
- F. Habashi. The Copts of Egypt, 2006, 92 pp.
- F. Habashi. Chemistry and Metallurgy in the Great Empires, 2009, 272 pp.
- F. Habashi. Science, Technology, and Society, 2009, 316 pp.
- F. Habashi. Aqua Science Through the Ages. An Illustrated History of Water, 2010, 166 pp.
- F. Habashi. Mining and Civilization. An Illustrated History, 2010, 510 pp.
- F. Habashi. Story of Metals, 2 volumes, 2015, 1056 pp.
- F. Habashi. Souvenirs, 2016, 127 pp.
- F. Habashi. Iron & Steel. History and Technology, 2016, 648 pp.
- F. Habashi. The Periodic Table & Mendeleev, 2017, 228 pp.

ლევან ჩხარტიშვილი

2017 წლის 6 დეკემბერი



ISSN 1987-8826