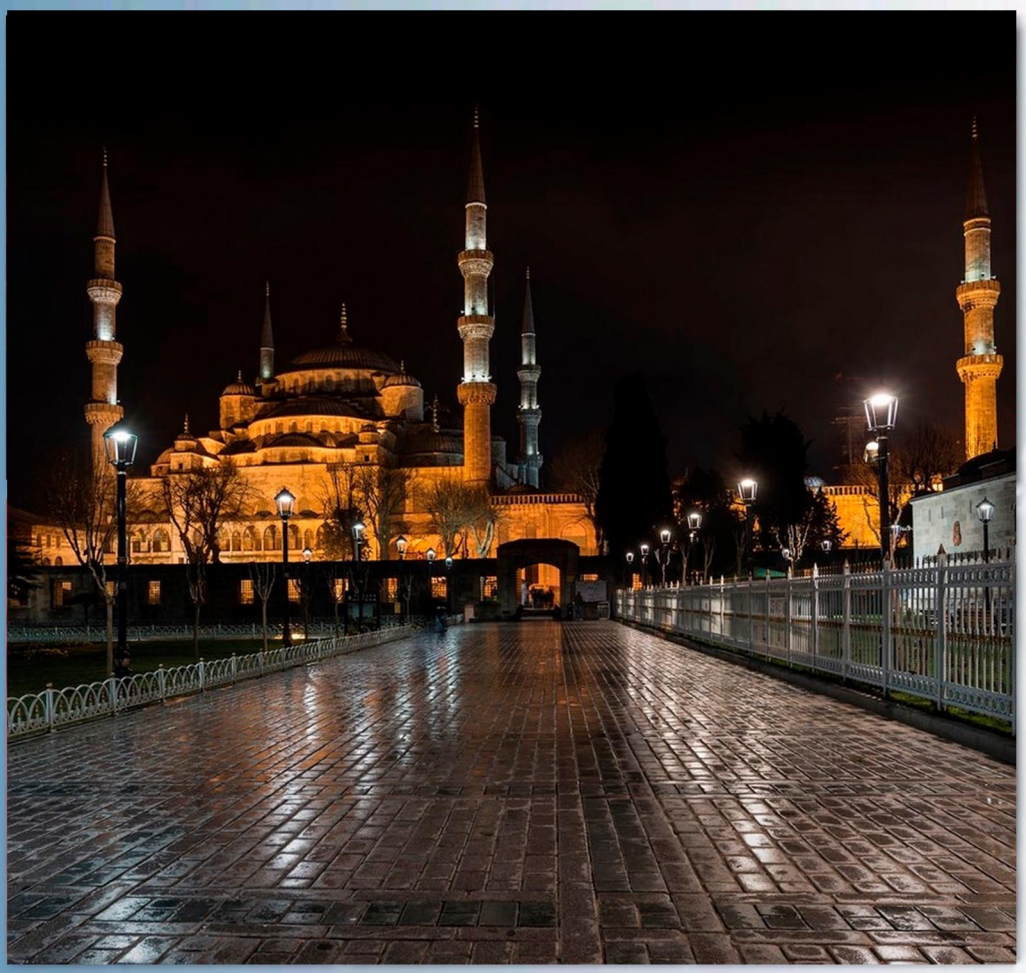
ISSN 1028-8546

Section: C Türkiye
12 - 13 September 2023

Azerbaijan Journal of Physics

Fizika



www.physics.gov.az
www.physics.gov.az/ajpfizika.html

Institute of Physics
Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan

Published from 1995
Ministry of Press and Information
of Azerbaijan Republic,
Registration number 514, 20.02.1995

ISSN 1028-8546
Section: C Conference
Türkiye 2023

Azerbaijan Journal of Physics

FIZIKA

Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan
Institute of Physics

HONORARY EDITORS

Arif PASHAYEV

EDITORS-IN-CHIEF

Arif HASHIMOV

SENIOR EDITOR

Talat MEHDIYEV

INTERNATIONAL REVIEW BOARD

Arif Hashimov, Azerbaijan
Boris Denker, Russia
Vyacheslav Tuzlukov, Belarus
Gennadii Jablonskii, Belarus
Vladimir Man'ko, Russia
Mirhasan Seyidov, Türkiye
Dieter Hochheimer, USA
Victor L'vov, Israel
Majid Ebrahim-Zadeh, Spain
Huseyn Ibragimov, Azerbaijan
Nazim Mamedov, Azerbaijan
Anatoly Boreysho, Russia
Mikhail Khalin, Russia
Javad Abdinov, Azerbaijan
Faik Mikailzade, Türkiye
Tayar Djafarov, Azerbaijan
Kerim Allahverdiyev, Azerbaijan
Talat Mehdiyev, Azerbaijan
Zakir Jahangirli, Azerbaijan
Salima Mehdiyeva, Azerbaijan
Nadir Abdullayev, Azerbaijan
Oktay Tagiyev, Azerbaijan
Ayaz Bayramov, Azerbaijan
Tofiq Mammadov, Azerbaijan
Shakir Nagiyev, Azerbaijan
Rauf Guseynov, Azerbaijan

TECHNICAL EDITORIAL BOARD

Senior secretary: Elmira Akhundova; Nazli Huseynova,
Elshana Aleskerova, Rena Nayimbayeva, Nigar Aliyeva.

PUBLISHING OFFICE

131, H. Javid ave., AZ-1143, Baku
Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan
Institute of Physics

Tel.: (99412) 539-51-63, 539-32-23
Fax: (99412) 537-22-92
E-mail: jophphysics@gmail.com
Internet: www.physics.gov.az

It is authorized for printing:

Türkiyə Cümhuriyyətinin 100 illiyinə həsr olunmuş

AZƏRBAYCAN FİZİKLƏRİNİN TÜRKİYƏ RESPUBLİKASININ ELM VƏ TƏHSİL SAHƏSİNDƏKİ FƏALİYYƏTİ

mövzusunda Beynəlxalq elmi-praktik konfrans

azərbaycan dilində məqalələr

11-12 Sentyabr 2023-cü il

XARİCİ MAQNİT SAHƏSİ OLMAYAN KEÇİRİCİ ANİZOTROP MÜHİTLƏRDƏ TEMPERATUR QRADİYENTİ OLANDA ENİNƏ VƏ UZUNUNA TERMOMAQNİT DALĞALARININ HƏYƏCANLANMASI

E.R. HƏSƏNOV[1,2], Ş.Q. XƏLİLOVA[2], R.K. MUSTAFAYEVA[1]
[1]*Bakı Dövlət Universiteti, Z. Xəlilov küç., 23, Bakı, Azərbaycan*
[2]*Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu, H.Javid pr-ti, 131 Bakı, Azərbaycan*
E-mail: shahlaganbarova@gmail.com

Məqalədə termomaqnit dalğalarının artması şəsti nəzəri cəhətdən araşdırılır. Göstərilir ki, elektrikkeçiriciliyi tenzorunun σ_{ik} qiymətindən asılı olaraq, termomaqnit dalğaları uzununa (yəni $\vec{k} \perp \vec{\nabla} T$) və eninə (yəni $\vec{k} || \vec{\nabla} T$) istiqamətlərdə həyəcanlanır. Bu termomaqnit dalğalarının tezlikləri həm uzununa, həm də eninə istiqamətdə hesablanır. Bu dalğaların artımları tərs elektrik keçiriciliyi tenzorunun σ_{ik} qiyməti ilə müəyyən edilir. Həyəcanlanan dalğanın əsasən termomaqnit xarakterli olduğu isbat edilmişdir. Nəzəri olaraq, əldə edilən dispersiya tənliyi rəqs tezliyinə görə cəbri olaraq yüksək artır. Hər iki halda (uzununa $\vec{k} || \vec{\nabla} T$ və eninə $\vec{k} \perp \vec{\nabla} T$) dispersiya tənliyi aşağı tezlikdə termomaqnit tezliklərin olduğu şərtləri isbat edir. Isbat edilmişdir ki, elektrik keçiriciliyi tenzorunun qiyməti eyni olarsa, termomaqnit dalğalarının yayılma tezliyi fərqlidir. Nəzəriyyə xarici maqnit sahəsi olmadan qurulur. Xarici bir maqnit sahəsinin $H_0 = 0$ mövcudluğunda, termomaqnit dalğalarının həyəcanlanması şərtləri və əlbəttə ki, onların artma şərtləri əhəmiyyətli dərəcədə dəyişəcəkdir.

Açar sözlər: tezlik, termomaqnit dalğaları, eninə dalğalar, uzununa dalğalar, elektrik keçiricilik tenzoru, tərs tenzor.
PACS: 78,55, 73.22.CD, 73.22

GİRİŞ

[1] işində isbat edilmişdir ki, sabit temperatur qradiyenti olan plazmada hidrodinamik hərəkətlər, maqnit sahəsi yaranır. Bu vəziyyətdə plazma adi plazmadan nəzərəçarpacaq dərəcədə fərqli halına salınmış xüsusiyyətlərə malikdir. Belə bir plazmada yalnız maqnit sahəsinin rəqs termomaqnit dalğaları həyəcanlanır. Xarici bir maqnit sahəsinin olması halında, termomaqnit dalğalarının dalğa vektoru maqnit sahəsinə perpendikulyardır və belə müstəvidə yerləşir $\vec{H}, \vec{\nabla} T$. Termomaqnit dalğalarının sürəti səs sürəti və Alfven dalğasının sürəti ilə müqayisə edilə bilər. Temperatur qradiyenti zamandan və koordinatlardan asılı deyil. Yük daşıyıcılarının Larmor tezliyi onların toqquşma tezliyindən azdır, yəni.

$$\Omega\tau << 1, \ \Omega = \frac{eH}{mc}$$

Elektrik sahəsi E, temperatur qradiyenti $\nabla T = const$, yük daşıyıcılarının konsentrasiya qradiyenti $\vec{\nabla} n$ və $\vec{\vartheta}(\vec{r}, t)$ sürət ilə hidrodinamik hərəkətlər olduqda, elektrik cərəyanının sıxlığı belədir.

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}^* + \sigma' \left[\vec{E}^* \vec{H} \right] - \alpha \nabla T - \alpha' [\nabla T H]$$
$$E^* = \vec{E} + \frac{\left[\vec{\vartheta} \vec{H} \right]}{c} + \frac{T}{e} \frac{\nabla n}{n}, e > 0 \qquad (1)$$

(1) vektor tənliyindən E təyini vektor tənliyinin həlli kimidir

$$\vec{x} = \vec{a} + \left[\vec{b} \vec{x} \right] \qquad (2)$$

(2)-dən

$$\left(\vec{b} \vec{x} \right) = \left(\vec{b} \vec{a} \right), \vec{x} = \vec{a} + \left[\vec{b} \vec{a} \right] + \left[\vec{b} \left[\vec{b} \vec{x} \right] \right]$$

$b^2 << 1$ olduqda alırıq:

$$\vec{E} = -\frac{\left[\vec{\vartheta} \vec{H} \right]}{c} - \Lambda' \left[\vec{\nabla} T \vec{H} \right] + \frac{c}{4\pi\sigma} rot\vec{H} - \frac{c\sigma'}{4\pi\sigma^2} \left[rot\vec{H}, \vec{H} \right] + \frac{T}{c} \frac{\nabla \rho}{\rho} + \Lambda \nabla T \qquad (2^*)$$

(2*) ifadəsini əldə edərkən $rot\vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j}$ Maksvell tənliyindən istifadə edilmişdir Burada $\Lambda = \frac{\alpha}{\sigma}$, $\Lambda' = \frac{\alpha'\sigma - \alpha\sigma'}{\sigma^2}$, σ -elektrik keçiricilik əmsalı, Λ -diferensial istilik gücü, Λ'-Nerst-Ettinshauzen effektinin əmsalıdır. (2)-i tənlikdə $\frac{\partial \vec{H}}{\partial e} = -crot\vec{E}$ əvəz edərək, $\vec{H}$ və $\vec{\nabla} T$ ibarət olan tənlik əldə edirik. [1, 2]-də isbat edilmişdir ki, $\vec{k} \perp \vec{H}'$ termomaqnit dalğası

$$\omega_T = -c\Lambda' \vec{k} \vec{\nabla} T$$

tezliyi ilə həyəcanlanır.

[2,3]-də isbat edilmişdir ki, keçirici bərk cisimlərdə yükdaşıyıcıların axını hidrodinamik hərəkətlər yaradır və buna görə də, keçirici mühitlərdə termomaqnit dalğalarını həyəcanlandırmaq mümkündür. [4]-də isbat edilmişdir ki, elektrik keçiriciliyi tenzorunun σ_{ik} qiymətindən asılı olaraq anizotrop keçirici mühitlərdə bir neçə termomaqnit dalğası həyəcanlana bilər. Bu nəzəri işdə isbat edəcəyik ki, tenzorun qiymətindən

σ_{ik} asılı olaraq anizotrop keçirici mühitlərdə müxtəlif tezlikli bir neçə termomaqnit dalğaları eyni vaxtda həyəcanlanır. Termomaqnit dalğalarının dalğa vektoru temperatur qradiyenti $\vec{k}||\vec{\nabla}T$ (uzununa dalğa) boyunca yönəldildikdə biz termomaqnit dalğalarının tezliklərini təyin edirik. Isbat edək ki, $\vec{k}||\vec{\nabla}T$ (uzununa dalğa) və $\vec{k}\perp\vec{\nabla}T$ (eninə dalğa) termomaqnit dalğaları böyüyə bilər (sabitlik).

Termomaqnit dalğasının artma sürəti $\vec{k}||\vec{\nabla}T$ və $\vec{k}\perp\vec{\nabla}T$ olduqda, əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir.

NƏZƏRİYYƏ

İzotrop bərk maddədə temperatur qradiyenti və xarici maqnit sahəsi olduqda ümumi elektrik sahəsi [4] formaya malikdir:

$$\vec{E}=\varsigma\vec{j}+\varsigma'\left[j\vec{H}\right]+\varsigma''\left(\vec{j}\vec{H}\right)\vec{H}+\Lambda\frac{\partial T}{\partial x}+\Lambda'\left[\vec{\nabla}T\vec{H}\right]+\Lambda''\left(\vec{\nabla}T\vec{H}\right)\vec{H} \tag{3}$$

Anizotrop bərk cisimdə (3) tənliyindəki bütün əmsallar tenzorlardır. Sonra anizotrop bərk cisim (3) üçün formaya sahib olacağıq:

$$E_i=\varsigma_{ik}j'_k+\left[j\vec{H}\right]_k j'_{ik}+\varsigma''_{ik}\left(\vec{j}\vec{H}\right)\vec{H}_k+\Lambda_{ik}\frac{\partial T}{\partial x_k}+\Lambda'_{ik}\left[\vec{\nabla}T\vec{H}\right]_k+\Lambda''_{ik}\left(\vec{\nabla}T\vec{H}\right)\vec{H}_k \tag{4}$$

Burada $\varsigma_{ik}=\frac{1}{\sigma_{ik}}$ omik müqavimətin qarşılıqlı tenzoru j_{ik}, Λ_{ik} -diferensial termoelektrik güc və Λ'_{ik} - Nernst-Ettingshausen əmsalı var. Anizotrop bərk cisimdə xarici maqnit sahəsini $\vec{H}_0=0$ nəzərdən keçirəcəyik. Onda (4) tənliyində olan $\varsigma'_{ik},\varsigma''_{ik},\Lambda''_{ik}$ sıfra bərabərdir. O zaman problemimiz üçün tənliklər sistemi formaya malikdir

$$\begin{aligned}&E'_i=\varsigma_{ik}j'_k+\Lambda'_{ik}\left[\vec{\nabla}TH\right]_k\\&rot\vec{E}'=-\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{H}'}{\partial t}\\&rot\vec{H}'=\frac{4\pi}{c}\vec{j}'+\frac{1}{c}\frac{\partial\vec{E}'}{\partial t}\end{aligned} \tag{5}$$

Tutaq ki, bütün əşyalar monoxromatik dalğalanır. Sonra (5) dən alırıq

$$\begin{aligned}&E'_i=\varsigma_{ik}j'_k+\Lambda'_{ik}\left[\vec{\nabla}TH\right]_k\\&j'=\frac{ic^2}{4\pi\omega}\left[\vec{k}\left[\vec{k}\vec{E}'\right]\right]+\frac{i\omega}{4\pi}E'_{ik}\end{aligned} \tag{6}$$

(6)-dan alırıq

$$E'_i=\frac{ic^2}{4\pi\omega}\varsigma_{ik}\left(\vec{k}\vec{E}'\right)K_k+\frac{i\left(\omega^2-c^2k^2\right)}{4\pi\omega}\varsigma_{ik}E'_k+\frac{c\Lambda'_{ik}}{\omega}\left(\vec{\nabla}T\vec{E}'\right)K_k-\frac{c\Lambda'_{ik}}{\omega}\left(\vec{k}\vec{\nabla}T\right)E'_k \tag{7}$$

ENİNƏ TERMOMAQNİT DALĞALARI $\vec{k}\perp\vec{\nabla}T$

$\vec{k}\perp\vec{\nabla}T$ olduqda koordinat sistemini seçə bilərik

$$k_1\neq 0,\ k_2=k_3=0,\ k_1\frac{\partial T}{\partial x_1}=\left(\vec{k}\vec{\nabla}T\right)=0,\ \frac{\partial T}{\partial x_2}\neq 0,\ \frac{\partial T}{\partial x_3}=0 \tag{8}$$

Bu seçimlə (7)-dən asanlıqla əldə edirik

$$\begin{aligned}&E'_i=\left(A\varsigma_{il}k_lk_k+B\varsigma_{ik}+\frac{c\Lambda'_{ik}}{\omega}k_l\frac{\partial T}{\partial x_k}\right)E'_k\\&E'_i=\delta_{ik}E'_k,\delta_{ik}=\begin{cases}1,npu\ \ i=k\\0,npu\ \ i\neq k\end{cases}\\&A=\frac{ic^2}{4\pi\omega},B=\frac{i\left(\omega^2-c^2k^2\right)}{4\pi\omega}\end{aligned} \tag{9}$$

Əvəz edək

$$\varphi_{ik} = A\varsigma_{il}k_l k_k + B\varsigma_{ik} + \frac{c\Lambda'_{il}}{\omega}k_l \frac{\partial T}{\partial x_k} \tag{10}$$

Onda (9)-dan alırıq

$$\begin{aligned}
&\varphi_{11} = \frac{i\omega}{4\pi}\varsigma_{11}, \varphi_{12} = i\Omega\varsigma_{12} + \frac{\omega_{12}}{\omega}, \varphi_{13} = i\Omega\varsigma_{13}, \Omega = \frac{\omega^2 - c^2k^2}{4\pi\omega} \\
&\varphi_{21} = \frac{i\omega}{4\pi}\varsigma_{21}, \varphi_{22} = i\Omega\varsigma_{22} + \frac{\omega_{22}}{\omega}, \varphi_{23} = i\Omega\varsigma_{23} \\
&\varphi_{31} = \frac{i\omega}{4\pi}\varsigma_{31}, \varphi_{32} = i\Omega\varsigma_{32} + \frac{\omega_{32}}{\omega}, \varphi_{33} = i\Omega\varsigma_{33}
\end{aligned} \tag{11}$$

(11)-i (9)-la əvəz etməklə biz əldə edirik

$$\left|\left(\varphi_{ik} - \delta_{ik}\right)\right| = 0 \tag{12}$$

və ya

$$\begin{aligned}
&\varphi_{31}\varphi_{12}\varphi_{23} + \varphi_{21}\varphi_{32}\varphi_{13} + (\varphi_{11} - 1)(\varphi_{22} - 1)(\varphi_{33} - 1) - \varphi_{31}\varphi_{13}(\varphi_{22} - 1) - \\
&- \varphi_{32}\varphi_{23}(\varphi_{11} - 1) - \varphi_{21}\varphi_{12}(\varphi_{33} - 1) = 0
\end{aligned} \tag{13}$$

(11) nəzərə alınmaqla (13) dispersiya tənliyi formaya malikdir

$$\sum_{i=1}^{5} u_i\omega_i + u_0 = 0 \tag{14}$$

(14) tənliyi tezliyə görə beşinci dərəcə çox mürəkkəb formaya malikdir. (14) tənliyinin sadələşdirilməsi çoxlu riyazi yaxınlaşma tələb edir. Lakin (14) tənliyi ς_{ik} tenzordan asılı olaraq asanlıqla sadələşdirilir

Əgər

$$\begin{aligned}
&\varsigma_{12} = \varsigma_{13} = \varsigma_{22} = \varsigma_{23} = \varsigma_{32} = \varsigma_{33} \\
&\varsigma_{11} = \varsigma_{21} = \varsigma_{31}
\end{aligned} \tag{15}$$

Dispersiya tənliyi aşağıdakı formaya malikdir:

$$\frac{1}{2\pi}\left(\frac{i\varsigma_{11}}{2} + \varsigma_{22}\right)\omega^2 + \left[\frac{i\varsigma_{11}}{4\pi}(\omega_{13} + \omega_{12} - \omega_{22}) - 1\right]\omega + \omega_{22} + \omega_{33} - \frac{ic^2k^2}{2\pi}\varsigma_{22} = 0 \tag{16}$$

Fərz edək ki,

$$\omega = \omega_0 + i\gamma,\ \gamma << \omega_0$$

onda ω_0 və γ müəyyən etmək üçün (16) aşağıdakı iki tənliyi alırıq

$$\frac{1}{2\pi}\varsigma\omega_0^2 - \frac{1}{4\pi}\varsigma\omega_0\gamma - \frac{\varsigma}{4\pi}(\omega_{13} + \omega_{12} - \omega_{22})\gamma - \omega_0 + \omega_{22} + \omega_{33} = 0 \tag{17}$$

$$\frac{1}{4\pi}\varsigma\omega_0^2 + \frac{1}{2\pi}\varsigma\omega_0\gamma + \frac{\varsigma}{4\pi}(\omega_{13} + \omega_{12} - \omega_{22})\omega_0 - \gamma - \frac{c^2k^2\varsigma}{2\pi} = 0 \tag{18}$$

(18)-dan

$$\gamma = \frac{1}{4\pi}\varsigma\omega_0^2 + \frac{\varsigma}{4\pi}(\omega_{13} + \omega_{12} - \omega_{22})\omega_0 - \frac{c^2k^2\varsigma}{2\pi} \tag{19}$$

(19)-u (17)-də əvəz etsək

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{2\pi}\varsigma\omega_0^2 - \frac{\varsigma}{4\pi}(\omega_{13} + \omega_{12} - \omega_{22})\left[\frac{1}{4\pi}\varsigma\omega_0^2 + \frac{\varsigma}{4\pi}(\omega_{13} + \omega_{12} - \omega_{22})\omega_0 - \frac{c^2k^2\varsigma}{2\pi}\right] - \\
&- \omega_0 + \omega_{22} + \omega_{33} = 0
\end{aligned} \tag{20}$$

(20)-dən görünür ki, $\omega_{22} = \omega_{13} + \omega_{12}$, $\varsigma = \dfrac{\pi}{2(\omega_{22} + \omega_{33})}$ olduqda

$$\omega_0 = 2(\omega_{22} + \omega_{33}) \tag{21}$$

Beləliklə, (21) termomaqnit dalğasıdır. (21)-i (19)-də əvəz etsək

$$\gamma = \frac{1}{2}(\omega_{22} + \omega_{33}) - \frac{1}{2}\frac{c^2k^2}{\omega_{22} + \omega_{33}} \tag{22}$$

alarıq.

(22)-dən görünür ki, (21) tezliklə dalğa artıq, əgər

$$\omega_{22} + \omega_{33} >> ck$$

UZUNUNA TERMOMAQNİT DALĞASI $\vec{k} \parallel \vec{\nabla} T$

$\vec{k} \parallel \vec{\nabla} T$ şərtində koordinat oxlarını elə seçə bilərik ki,

$$k_1 = k,\ k_2 = k_3 = 0,\ \frac{\partial T}{\partial x_2} = \frac{\partial T}{\partial x_3} = 0, k_1 \frac{\partial T}{\partial x_1} \neq 0\ \frac{\partial T}{\partial x_2} \neq 0,\ \frac{\partial T}{\partial x_3} = 0$$

Bu seçimlə φ_{ik} tenzorların ifadələri belədir

$$\begin{aligned}
&\varphi_{11} = \frac{i\omega}{4\pi}\varsigma_{11}, \varphi_{12} = i\Omega\varsigma_{12} + \frac{\omega_{12}}{\omega}, \varphi_{13} = i\Omega\varsigma_{13} + \frac{\omega_{13}}{\omega} \\
&\varphi_{21} = \frac{i\omega}{4\pi}\varsigma_{21}, \varphi_{22} = i\Omega\varsigma_{22} + \frac{\omega_{22}}{\omega}, \varphi_{23} = i\Omega\varsigma_{23} + \frac{\omega_{23}}{\omega} \\
&\varphi_{31} = \frac{i\omega}{4\pi}\varsigma_{31}, \varphi_{32} = i\Omega\varsigma_{32} + \frac{\omega_{32}}{\omega}, \varphi_{33} = i\Omega\varsigma_{33} + \frac{\omega_{33}}{\omega}
\end{aligned} \tag{23}$$

(23)-ü (13)-də əvəz etsək

$$\begin{aligned}
&-\frac{i}{64\pi^3}(\varsigma_{31}\varsigma_{21}\varsigma_{23} + \varsigma_{31}\varsigma_{13}\varsigma_{32})\omega^4 + -\frac{1}{64\pi^2}(\varsigma_{11}\varsigma_{22} + \varsigma_{11}\varsigma_{33})\omega^3 + \\
&+\left[\frac{i}{64\pi^3}(\varsigma_{31}\varsigma_{21}\varsigma_{23} + 2\varsigma_{31}\varsigma_{13}\varsigma_{32})c^2k^2 + \frac{i}{4\pi}(\varsigma_{11} + \varsigma_{22} + \varsigma_{33}) + \right. \\
&\left. + \frac{\omega_{22}}{16\pi^2}(\varsigma_{11}\varsigma_{33} + 2\varsigma_{31}\varsigma_{13})\right]\omega^3 + \left[-\frac{1}{64\pi^3}(\varsigma_{11}\varsigma_{22} + \varsigma_{11}\varsigma_{33})c^2k^2 - 1 + \right. \\
&\left. + + \frac{i\omega_{22}}{4\pi}(\varsigma_{11} - \varsigma_{21})\right]\omega - \frac{ic^2k^2}{4\pi}\left(\frac{1}{64\pi^2}\varsigma_{31}\varsigma_{13}\varsigma_{32}c^2k^2 - \varsigma_{22} - \varsigma_{33}\right) - \\
&-\frac{1}{64\pi^2}\omega_{22}c^2k^2(\varsigma_{11}\varsigma_{33} + \varsigma_{13}\varsigma_{31}) - \omega_{22} = 0
\end{aligned} \tag{24}$$

alarıq.

ς_{ik} tenzorların bütün istiqamətlərdə eyni qiymətləri (24)-dən alırıq

$$\begin{aligned}
&x^4 + 16\pi i x^3 + \left(-48\pi^2 + 12\pi i\omega_{22}\varsigma\right)x^2 + 64\pi^3 i\left(-1 + i\frac{\omega_{22}\varsigma}{2\pi}\right)x - \omega_{22}\varsigma = 0 \\
&x = \varsigma\omega \\
&ck\varsigma << 1
\end{aligned} \tag{25}$$

$x = x_0 + ix_1, x_1 << 0$ fərz etsək, (25)-dən alırıq:

$$x_0^4 - 48\pi x_0^2 x_1 - 48\pi^2 x_0^2 - 24\pi\omega_{22}\varsigma x_0 x_1 + 64\pi^3\frac{\omega_{22}\varsigma}{2\pi}x_0 + 64\pi^3 x_1 - \omega_{22}\varsigma = 0 \tag{26}$$

$$4x_0^3 x_1 + 16\pi x_0^3 - 96\pi^2 x_0 x_1 + 12\pi\omega_{22}\varsigma x_0^2 - 64\pi^3 x_0 - 32\pi^2\omega_{22}\varsigma x_1 = 0 \tag{27}$$

(26-27)-dən görmək olar ki, $x_0 >> 1$ -də termomaqnit dalğaları yoxdur, onda (26-27)

$$-24\pi\omega_{22}\varsigma x_0 x_1 + 32\pi^2\omega_{22}\varsigma x_0 + 64\pi^3 x_1 - \omega_{22}\varsigma = 0 \tag{28}$$

$$-96\pi^2 x_0 x_1 - 64\pi^3 x_0 - 32\pi^2 \omega_{22}\varsigma x_1 = 0 \tag{29}$$

(29)-dan $x_0 = -\frac{\omega_{22}\varsigma}{2\pi} x_1$, $x_0 < \frac{1}{3\pi}\omega_{22}\varsigma$ alarıq.

(28)-də əvəz etsək

$$x_1 = \frac{2\pi}{3}$$
$$\omega_1 = \frac{2\pi}{3}\cdot\frac{1}{\varsigma} \tag{30}$$
$$\omega_0 = -\frac{\omega_{22}}{2\pi}\cdot\frac{2\pi}{3} = -\frac{\omega_{22}}{3}$$

alırıq.

(30)-dan görünür ki, $\omega_0 = -\frac{\omega_{22}}{3}$ tezliyi olan dalğaları artacaq.

$$\frac{\omega_0}{\omega_1} = \frac{\omega_{22}}{3}\cdot\frac{3\varsigma}{2\pi} = \frac{\omega_{22}\varsigma}{2\pi} << 1$$
$$\omega_{22}\varsigma << 2\pi$$

Beləliklə, anizotrop keçirici mühitlərdə müxtəlif tezlikli termomaqnit dalğaları həyəcanlanır. Bu dalğalar $\vec{k} \parallel \vec{\nabla} T$ uzununa və $\vec{k} \perp \vec{\nabla} T$ eninə ola bilər.

---

[1] *Л.Э. Гуревич, Э.Р. Гасанов.* Теория спонтанных колебаний тока в кристаллах типа германия, легированного золотом, 1969, ФТП, т.3, N8, 1201-1206.

[2] *E.R. Hasanov, A.V. Islamzade, H.Sh. Hasanov.* Thermomagnetic waves in anisotropic conductors, International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE), 2016, Ankara, Turkey, Issue 26, vol. 8 N1, 50-54.

[3] *E.R. Hasanov, M.F. Novruzov, A.Z. Panahov, A.I. Demirel.* "Instability of Thermomagnetic Waves in the GeAu Semiconductors with Impurities",India, International Journal of Pure and Applied Physics, 2008/1, ISSN 0973-1776, vol. 4, N1, 23-28.

[4] *E.R. Hasanov, M.F. Novruzov, A.Z. Danahov, A.I. Demirel.* "Energy Generation and Amplitude of Thermomagnetic Waves in the Conducting Medium", London, England, Modern Phys. B, Lett., 2008/2, vol. 22, N6, 455-457.

Э.Р. Гасанов, Ш.Г. Халилова, Р.К. Мустафаева

ВОЗБУЖДЕНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ И ПОПЕРЕЧНЫХ ТЕРМОМАГНИТНЫХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНЫХ ПРОВОДЯЩИХ СРЕДАХ ПРИ НАЛИЧИИ ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ $\vec{\nabla} T$ БЕЗ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ H

В работе теоретически исследуются условия возбуждения термомагнитных волн. Показано, что в зависимости от значения тензора электропроводности σ_{ik}термомагнитные волны возбуждаются в продольном (т.е. $\vec{k}||\vec{\nabla} T$) и в поперечном (т.е.$\vec{k} \perp \vec{\nabla} T$) направлении. Вычислены частоты этих термомагнитные волн и в продольном и поперечном направлениях. Инкременты нарастания этих волн определяются значениями обратного тензора электропроводности σ_{ik}. Доказано, что возбуждаемая волна в основном является термомагнитного характера. В теории получены дисперсионные уравнение является алгебраически высоким степеням относительно частоты колебаний. Дисперсионное уравнение в обоих случаях (продольные $\vec{k}||\vec{\nabla} T$ и поперечные $\vec{k} \perp \vec{\nabla} T$) содержат члены, в которых имеются термомагнитные частоты в низкой степени частоты. Доказано, что если значение тензора электропроводности одинаково, то при этом частота распространения термомагнитных волн разное. Теория построена без внешнего магнитного поля $H_0 = 0$. При наличии внешнего магнитного поля условия возбуждения термомагнитных волн, и конечно условия их нарастания существенно изменится.

E.R. Hasanov, Sh.G. Khalilova, R.K. Mustafayeva

EXCITATION OF LONGITUDINAL AND TRANSVERSE THERMOMAGNETIC WAVES IN ANISOTROPIC CONDUCTING MEDIA IN THE PRESENCE OF A TEMPERATURE GRADIENT WITHOUT AN EXTERNAL MAGNETIC FIELD

The paper theoretically investigates the conditions for the excitation of thermomagnetic waves. It is shown that, depending on the value of the electrical conductivity tensor σ_{ik}, thermomagnetic waves are excited in the longitudinal (i.e. $\vec{k}||\vec{\nabla}T$) and transverse (i.e. $\vec{k} \perp \vec{\nabla}T$) directions. The frequencies of these thermomagnetic waves are calculated both in the longitudinal direction and in the transverse direction. The growth increments of these waves are determined by the values of the inverse electrical conductivity tensor σ_{ik}. It is proved that the excited wave is mainly of a thermomagnetic nature. In theory, the resulting dispersion equation is algebraically high powers with respect to the oscillation frequency. The dispersion equation in both cases (longitudinal $\vec{k}||\vec{\nabla}T$and $\vec{k} \perp \vec{\nabla}T$transverse) contains terms in which there are thermomagnetic frequencies in a low power of frequency. It is proved that if the value of the electrical conductivity tensor is the same, then the frequency of propagation of thermomagnetic waves is different. The theory is constructed without an external magnetic field $H_0 = 0$. In the presence of an external magnetic field, the conditions for the excitation of thermomagnetic waves, and of course the conditions for their growth, will change significantly.

ELEKTRİK QAZ BOŞALMASINDA MODİFİKASİYA OLUNMUŞ YARIMKEÇİRİCİ-POLİMER KOMPOZİTLƏRİNDƏ STRUKTUR DƏYİŞİKLİKLƏRİNİN TƏDQİQİ

Ş.M. ƏHƏDZADƏ, E.Z. QULİYEV
Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu
AZ-1143, Bakı, H.Cavid prospekti, 131, e-mail:ahadzade79@mail.ru

Məqalədə ilk dəfə olaraq elektrik qaz boşalmasinda modifikasiya olunmuş müxtəlif keramik fazaya malik yarimkeçirici-polimer kompozitlərin struktur dəyişiklikləri tədqiq olunmuşdur. Keramik faza kimi ZnO və Si yarımkeçiricilərindən, polimer faza kimi polyar-polivinilidenftorid (PVDF) və polivinilidenftoridin 2 dəfə modifikasiya olunmuş növündən (F2M), qeyri polyar-polietilen(PE) və polipropilendən (PP) istifadə olunmuşdur. Müxtəlif həcmi faizli həm ZnO-PVDF, həm də Si-PVDF kompozit varistorları sintez olunaraq elektrik qaz boşalmasında modifikasiya olunmuşdur. Bu kompozitlərin volt-amper xarakteristikaları ölçülmüşdür. Elektrik qaz boşalma prosesinin kompozitlərin əsas parametrləri olan qeyri-xəttilik (β) və açılma gərginliyinə ($U_{aç}$) təsiri müşahidə edilmişdir. Kompozitlərin müqayisəsindən məlum olmuşdur ki, elektrik qaz boşalmasında modifikasiya olunduqdan həm polyar (F2M), həm də qeyri-polyar (PE) polimerlər və ZnO əsaslı kompozitlərdə modifikasiya prosesindən sonra onların açılma gərginliyi kəsgin azalmış (təqribən ~ 10 dəfə), kompozitlər öz qeyri-xəttiliyini isə sabit saxlamışdır. Müxtəlif həcmi faizlərə malik polyar (PVDF) və qeyri-polyar(PP) polimerlər və Si əsaslı yarımkeçirici kompozitlərin müqayisəsindən məlum olmuşdur ki, elektrik qaz boşalmasında modifikasiya olunduqdan sonra onların açılma gərginliyi, təqribən modifikasiyadan əvvəlki hala uyğun gəlir. Qeyri-xəttilik isə müəyyən nümunərdə artmış, bəzilərində isə sabit qalmışdır. Elektrik qaz boşalmasında modifikasiyadan sonra kompozitdən keçən cərəyanın qiyməti kəsgin artır. Bu artım qaz boşalmasının təsir müddəti ilə düz mütənasibdir.

Açar sözlər: ZnO, SiC, keramika, yarımkeçirici, polyar, qeyri-polyar,volt-amper xarakteristikası, elektrik qaz boşalması, modifikasiya.
UOT: 621.315.61

GİRİŞ

Məlumdur ki, elektroenergetika sahəsində qeyri-xətti keçiriciliyə malik olan materiallar mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu materialların tətbiqi yüksək gərginlik xətlərində və yarımstansiyalarda sıçrayışla arta bilən zərərli gərginlik dalğalarının zəifləməsini təmin edir. Qeyd etmək lazımdır ki, müasir elektrotexnika sənayesində əsasən simmetrik volt-amper xarakteristikasına malik olan SiC və ZnO materiallarından istifadə olunur [2, 6, 7]. Bu materiallardan yaradılmış element işlək gərginliklərdə dielektrik kimi yüksək müqavimətə malikdir. Bu element mühafizə qurğusuna paralel bağlansa, sıçrayışla arta bilən dalğalar zəifləyir və cihaz yüksək keçid gərginliklərini təyin edə bilmir. Bu məsələlərin həllinə nail olmaq üçün elektrotexnika sahəsində polimer-yarımkeçirici əsasında hazırlanmış kompozit materiallarından geniş istifadə olunur [2-6].

Qeyd etdiyimiz kimi kompozit varistorlar əsasən iki fazalı sistem olub, üzvi və qeyri-üzvi fazalardan ibarətdir. Qeyri-üzvi faza disperqator, üzvi faza isə dispersləşdirilmiş matrisadır. Bu iki fazanın sərhəddində keçid təbəqə formalaşır. Keçid təbəqənin strukturu, mexaniki və elektrofiziki xassələri sintez prosesində yaranan struktur dəyişikləri və fazalar arasındakı qarşılıqlı təsirdən asılıdır [1-16].

Qeyd edək ki, yarımkeçirici-polimer kompozitlərinin polimer fazasında məqsədəuyğun struktur dəyişiklikləri aparmaq üçün ən effektli üsullardan biri onların elektrik qaz boşalmasında modifikasiyasıdır [10, 11].

İşdə qarşıya qoyulan məqsəd kompozit varistorların xassələrinə təsir edə bilən struktur dəyişikliklərinin öyrənilməsidir. Bu məqsədlə işdə müxtəlif keramik fazalara (ZnO və Si) malik olan yarımkeçirici-polimer kompozit varistorları sintez olunmuş və onların varistor xassələrinə təsir edən struktur dəyişikləri öyrənilmişdir. Məqalədə kompozitlərin sintez prosesi, müxtəlif həcmi faizli ZnO-F2M, ZnO-PE və Si-PVDF, Si-PP əsaslı kompozitlərin volt-amper xaraxteristikaları çıxarılmış, bütün mümunələr 3÷15 dəqiqə müddətində arakəsməli elektrik qaz boşalmasında modifikasiya olunmuşdur.

TƏCRÜBİ HİSSƏ VƏ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

Kompozitin alınma prosesinin ilkin mərhələsi keramika və polimerin pres-ovuntusunun hazırlanmasıdır [1]. Pres-ovuntunun alınmasının ilkin mərhələsi komponentlərin xırdalanması və qarışdırılmasıdır. Müasir zamanda ilkin məmulatın (ZnO-polimer, Si-polimer) qarışdırılması üçün daha sadə və universal keramik qarışdırma metodundan istifadə edilir və nəticədə komponentlərin bircins qarışığı alınır. Qarışdırma prosesi mikrodəyirmanlarda quru halda aparılır. Keramik yarımkeçirici faza kimi ZnO və Si, polimer faza kimi isə yüksək dielektrik xassələrə malik sənaye məqsədi üçün nəzərdə tutulan polimer tozları - (polivinilidenftorid (PVDF), 2 dəfə modifikasiya olunmuş polivinilidenftorid (F2M), polietilen (Pe), polipropilen (PP) götürülmüşdür [1, 6, 7].

Kompozit nümunələrin alınmasının sonrakı mərhələsi aşağıdakı kimidir:

Əvvəlcə şixtənin komponentləri- keramika və polimer lazımi çəkidə çəkilir, farfor küreli dəyirmanda 60 mkm və daha kiçik ölçüyə qədər xırdalanır. Sonra

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

alınmış qarışıq presformaya yerləşdirilir və aşağıdakı ardıcıllıqla isti presdə preslənir və sintez edilir:

a) Əvvəlcə şixtə 20 dəqiqə müddətində P=1MPa təzyiq altında, hər bir nümunə öz ərimə temperaturuna qədər qızdırılır;

b) Sonra presin təzyiqi P=15MPa-la qədər qaldırılır, ərimiş şixtə bu təzyiqdə 5 dəqiqə müddətində saxlanılır;

c) Alınmış nümunələr suda möhkəmlətmə üsulu ilə soyudulur [1].

Polimer materialların, o cümlədən polimer kompozitlərin modifikasiyası üçün müxtəlif təbiətli elektrik qaz boşalmalarından istifadə olunur [2-11]. Bunun əsas səbəbi elektrik qaz boşalmaları şəraitində enerjisi kifayət qədər olan elektron, ion və kimyəvi cəhətdən aktiv olan kiçik molekullu oksigen tərkibli qaz məhsullarının meydana gəlməsidir. Elektrik qaz boşalması şəraitində belə faktorların yaranması polimerlərin intensiv olaraq qaz boşalmasında işlənməsini təmin edir. Çoxlu sayda təcrübi nəticələr göstərir ki, polimer materiallar və onlar əsasında hazırlanmış kompozitlərin bircins işlənməsi üçün ən effektli elektrik qaz boşalması arakəsməli boşalmadır [11].

Tədqiqatlar göstərir ki, elektromənfiliyə malik hava boşluğunda elektrik qaz boşalma prosesi zamanı kiçik molekullu qaz məhsulları yaranır [10, 11]. Kanallarda sintez olunan ionlaşdırıcı şüalar vasitəsilə polimer faza oksidləşmə-destruksiya reaksiyasına uğrayır. Bütün bu effektlər polimer matrisanın fazalararası sərhəddə yerləşən polimer fazanın elektron halını dəyişdirir. Gözləmək olar ki, fazalararası sərhəddin elektron halının dəyişməsi sərhəddəki potensial çəpərin parametrlərini dəyişəcəkdir.

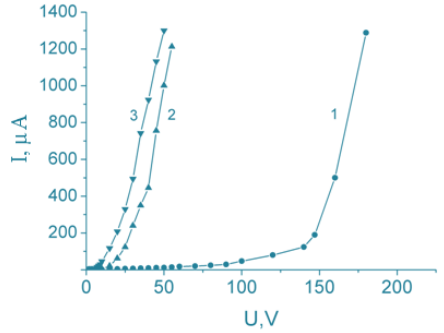
Əgər qeyri-polyar matrisa üçün (məs: Pe, PP) elektrik qaz boşalmasının təsiri onun polyarlaşmasına səbəb olurdusa, polimer faza kimi polyar polimerlərdən (məs: PVDF, F2M) istifadə edilməsi həm polyarlığın artmasına, həm də polyar polimerin makromolekulunun zəncirində oksigen mənşəli yüksək elektromənfiliyə malik mərkəzlərin əmələ gəlməsinə səbəb olacaqdır. Polimer matrisaların polyarlığının artması və onların zəncirində oksigen mənşəli yüksək elektromənfiliyə malik qrupların yaranması yarımkeçirici-polimer sərhəddində fazalararası qarşılıqlı təsirlərin intensivliyinə və təbiətinə təsir edəcəkdir. Şərh edilən və kifayət qədər mürəkkəb təbiətə malik olan effektlər imkan verir ki, yarımkeçirici-polimer kompozit varistorunun volt-amper xarakteristikası, qeyri-xəttiliyi və açılma gərginliyi onların tətbiq sahələrinin tələbinə görə tənzimlənsin.

Ona görə də, polimer-yarımkeçirici əsaslı kompozitlərin elektrofiziki xassələrinin elektrik qaz boşalmasının təsiri ilə dəyişməsini nəzərdən keçirək.

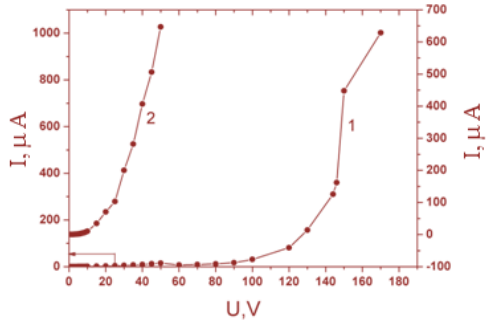
Məlumdur ki, istənilən kompozitlərin xassələri onların komponentlərinin kompozitdəki həcmi faizindən kəsgin asılıdır. Qeyd etdiyimiz kimi, bu effekt fazalararası sərhəddə disperqatorun hissəciklərinin təsiri altında polimer fazasının strukturunun dəyişməsi ilə əlaqədardır [1-15]. Deməli, həcmi faizi dəyişməklə müxtəlif quruluş almış polimer fazaya elektrik qaz boşalmasının təsirini aydınlaşdırmaq üçün keramik fazanın həm sabit, həm də müxtəlif həcmi faizlərində elektrik boşalmalarına qarşı həssaslığı öyrənilməlidir. Bu məqsədlə sınaq özəyinə 3 kV gərginlik tətbiq etməklə amplitudun sabitliyi şəraitində, modifikasiya müddətini 3÷15 dəqiqə seçməklə, müxtəlif tərkibli kompozit nümunələr arakəsməli elektrik qaz boşalmasında modifikasiya olunmuşdur.

Aparılmış təcrübələrin nəticələri şəkil 1÷6-da göstərilmişdir.

Şəkil 1 və 2-də polyar və qeyri-polyar polimerlər və ZnO əsaslı kompozitlər elektrik qaz boşalmasında 3-10 dəqiqə müddətində modifikasiya olunmuşdur. Modifikasiyadan əvvəl və sonra kompozitlərin volt-amper xarakteristikaları ölçülmüşdür (60% ZnO+40% F2M, (60% ZnO+40% PE).



Şəkil 1. Elektrik qaz boşalmasında modifikasiyasından əvvəl və sonra kompozitlərin volt-amper xarakteristikası (60% ZnO+40% F2M). 1- modifikasiya olunmamış nümunə; 2- 3 dəqiqə modifikasiya olumuş nümunə; 3- 10 dəqiqə modifikasiya olumuş nümunə.

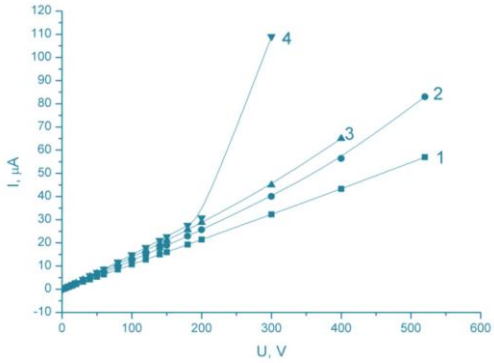


Şəkil 2. Elektrik qaz boşalmasında modifikasiyasından əvvəl və sonra kompozitlərin volt-amper xarakteristikası (60% ZnO+40% PE). 1- modifikasiya olunmamış nümunə; 2- 10 dəqiqə modifikasiya olumuş nümunə.

Şəkil 1 və 2-dən görünür ki, elektrik qaz boşalmasında modifikasiya olunduqdan sonra kompozitin varistor xassələrini xarakterizə edən əsas parametrlərdən biri olan açılma gərginliyi nəzərəçarpacaq dərəcədə azalmışdır(~10 dəfə).

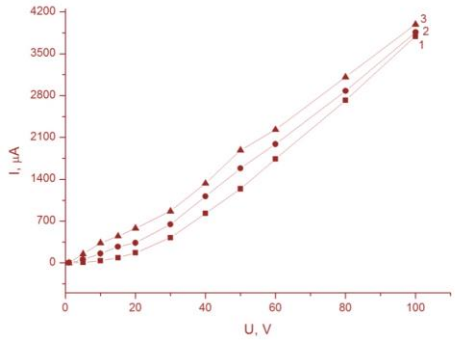
Elektrik qaz boşalma prosesinin təsiri nəticəsində kompozitdə polyarizasiya proseslərinin dəyişməsi kompozitin əsas parametrlərinin ($U_{aç}$) dəyişməsinə gətirib çıxarır. Qeyd edək ki, kompozitin elektrofiziki xassələri qaz boşalma prosesinin təsir müddətindən də asılıdır. Təsir müddəti artdıqca elektrofiziki parametrlər də dəyişir. Bu onunla əlaqədardır ki, qaz boşalma prosesində enerji artdıqca ozon, azot oksidləri və s. kimi maddələrin konsentrasiyası çoxalır və onların kompozitə təsiri də artır.

Şəkil 3 və 4-də elektrik qaz boşalmasında modifikasiya prosesindən əvvəl və sonra Si yarımkeçirici keramika – polyar (PVDF) və qeyri-polyar (PP) polimerlər əsasında hazırlanmış kompozitlərin volt-amper xarakteristikaları verilmişdir.



Şəkil 3. Elektrik qaz boşalmasında modifikasiyasından əvvəl və sonra kompozitlərin volt-amper xarakteristikası (30%Si+40% PVDF). 1- modifikasiya olunmamış nümunə; 2- 3 dəqiqə modifikasiya olumuş nümunə; 3- 8 dəqiqə modifikasiya olumuş nümunə; 4- 15 dəqiqə modifikasiya olumuş nümunə.

Şəkil 3-dən görünür ki, təsir müddətindən asılı olmayaraq qaz boşalma prosesindən sonra nümunədən keçən cərəyanın qiyməti kəsgin artır. Daha dəqiq desək, $t_{boş}$=15 dəqiqə müddətindən sonra kompozitdən keçən cərəyanın qiyməti 2-3 tərtib dəyişir.



Şəkil 4. Elektrik qaz boşalmasında modifikasiyasından əvvəl və sonra kompozitlərin volt-amper xarakteristikası (50%Si+50% PVDF). 1- modifikasiya olunmamış nümunə; 2-8 dəqiqə modifikasiya olumuş nümunə; 3- 15 dəqiqə modifikasiya olumuş nümunə.

Şəkil 3 və 4-dən görünür ki, disperqatorun həcmi faizindən və polimer matrisanın növündən asılı olmayaraq, elektrik qaz boşalmasında modifikasiyadan sonra nümunədən keçən cərəyanın qiyməti kəsgin artır. Bu artım qaz boşalmasının təsir müddəti ilə düz mütənasibdir.

Qeyd edək ki, bütün tədqiq olunan kompozitlərdə elektrik cərəyanı nəzərə şarpacaq dərəcədə dəyişir. Beləliklə, elektrik boşalmalarının kompozitlərin volt-amper xarakteristikasına, açılma gərginliyinə, qeyri-xəttilik əmsalına təsirinin analizindən belə nəticəyə gəlmək olar ki, qeyd olunan parametrlərin dəyişməsinin əsas səbəbi elektrik qaz boşalmasının müddəti və fazalararası sərhəddə gedən struktur dəyişiklikləridir.

[1- 17] işlərində göstərilmişdir ki, üzvi və qeyri-üzvi kompozitlərin sərhəddində strukturu qeyri-üzvi faza kimi götürdüyümüz ZnO və Si keramik hissəciklərinin səthinin təsiri altında formalaşan yeni bir faza yaranır. Bu fazada polimerin strukturu və xassələri ilkin götürdüyümüz polimer matrisanın analoji xarakteristikalarından fərqlidir: Bu xassələrdən biri yeni yaranmış fazanın elektrik qaz boşalmasının təsirinə qarşı davamlılığıdır. Fazalararası sərhəddə yaranan və arakəsməli elektrik qaz boşalmasının təsirinə yüksək davamlılığı, stabil elektrik yük halına malik olması yarımkeçirici-polimer tərkibli kompozitlər əsasında yüksək fiziki və mexaniki xassələrə malik kompozit varistorlar hazırlamağa imkan verir [1-19].

NƏTİCƏ

Məqalədə müxtəlif keramik fazalara (ZnO və Si) və polimer matrisaya(polyar- PVDF, F2M, qeyri-polyar- Pe, PP) malik yarımkeçirici-polimer kompozit varistorları hazırlanmış və bütün kompozitlərin volt-amper xarakteristikaları ölçülmüşdür. Müxtəlif həcmi faizli həm ZnO-polimer, həm də Si-polimer əsaslı kompozit varistorlar arakəsməli elektrik qaz boşalmasında modifikasiya olunmuşdur.

Müəyyən olunmuşdur ki, ZnO əsaslı kompozitlərdə modifikasiya prosesindən sonra onların açılma gərginliyi kəsgin azalmış (təqribən ~ 10 dəfə), qeyri-xəttiliyi isə sabit qalmışdır. Təcrübi nəticələrdən müəyyən olmuşdur ki, Si əsaslı yarımkeçirici kompozitlərdə qaz boşalmasında modifikasiya olunduqdan sonra kompozitlərin açılma gərginliyi təqribən modifikasiyadan əvvəlki hala uyğun gəlir. Qeyd edək ki, aşağı gərginlikli mikroenergetika qurğularında istifadə məqsədilə elektrik qaz boşalmasında modifikasiya üsulu ilə yarimkeçirici-polimer əsasında hazırlanmış kompozitlərin alınma texnologiyası işlənib hazırlanmışdır [1-17].

[1] *A.M. Həşimov, K.B. Qurbanov, Ş.M. Həsənli, R.N. Mehdizadə, Ş.M. Əzizova, X.B. Bayramov.* Nazik təbəqəli kompozit varistorun hazırlanma üsulu. Azərbaycan Respublikası Standartlaşdırma, Metrologiya və Patent üzrə dövlət Agentliyi. İ 2007 0172, 6 səh.

[2] *Ş.M. Əhədzadə, A.M. Həşimov, T.K. Nurubəyli.* "ZnO–polimer əsasli kompozitlərin infraqirmizi spektrlərinin analizi və keramik fazanin dielektrik parametrlərinin spektroskopiyasi". Akademik L.M. İmanovun 100 illik yubileyinə həsr olunmuş Molekulyar spektroskopîya mövzusunda konfrans, Bakı-Şuşa 21-22 Sentyabr, AJP FİZİKA, 2022-ci il, səh.3-7.

[3] *Ş.M. Əhədzadə, A.M.Həşimov, T.K.Nurubəyli.* "ZnO-polimer əsasli kompozit varistorlarda nümunələrin optimal faizlərinin təyini". Akademik M.H. Şahtaxtinskinin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş mövzusunda konfrans, Bakı-Naxçıvan 19-20 Oktyabr, AJP FİZİKA, 2022-ci il, səh. 3-7.

[4] *Sh.M.Ahadzadeh,A.M.Hashimov,Sh.G.Khalilova.* "Research of the electrical properties of

composite varistors based on ZnO-polymer", IJTPE, 2022, Issue 50, Vol. 4, No.1, pp.166-17.

[5] *Sh.M. Ahadzade, A.M. Hashimov, T.K.Nurubeyli.* "Research of the electrical properties of the intercrystallite boundary and mechanisms of conductivity in a ZnO varistor with impurities". ICTPE-2022, Vol 14, №1, p.50-54.

[6] *Sh.M. Ahadzade, A.Y .Imanova.* Varistor characteristics of composites made based on ZnO and Si semiconductor materials. V International Scientific and Practical Conference «Science and Innovation of modern world», january 25-27, 2023 London, Great Britain.

[7] *Ş.M. Əhədzadə, A.Y. İmanova, S.S. Əhədova.* Kompozit varistorlarda fərqli keramik fazalarin varistor effektinin tədqiqi. Energetikanın Problemləri, 2022, № 4, səh.17-23.

[8] *Sh.M. Ahadzade, A.M. Hashimov.* " Variation of the main parameters of polar and nonpolar polymers and composite varistors based on ZnO". ICTPE-2020, 12 - 13 October, Istanbul, Turkey, p. 99-101.

[9] *Ш.М. Гасанли, Ш.М. Азизова, Дж.Дж. Халилов, Ф. Харирчи.* «Спектроскопия диэлектрических параметров варисторов на основе ZnO» Электронная Обработка Материалов, 2012, том 48, №1, с. 58-62.

[10] *А.М. Гашимов, Ш.М. Гасанли, Р.Н. Мехтизаде, Ш.М. Азизова, Х.Б. Байрамов.* Нелинейный резистор на основе композиции полимер-керамика. Журнал технической физики, 2007, том 77, вып. 8, с.121.

[11] *Ş.M. Əzizova.* "Elektrik qaz boşalmasında işlənmiş polimer-ZnO kompozitinin elektrofiziki xassələri". Energetikanın problemləri, №1, 2009, səh.72-76.

[12] *K.B. Qurbamov, K.S. Burziyev, Ş.M. Əzizova.* Qismi boşalmala rşəraitində polimer dielektriklərin elektrofiziki xüsusiyyətlərinin dəyişməsi. AMEA Fizika İnstitutu, Energetikanın problemləri, №2, 2004, səh.17-21.

[13] *Sh.M. Ahadzade, A.M. Hashimov.* "Variation of the main parameters of polar and nonpolar polymers and composite varistors based on ZnO". ICTPE-2020 , 12 - 13 October , Istanbul, Turkey, p.99-101.

[14] *Sh.M.Ahadzade, A.M.Hashimov, Sh.G. Khalilova.* Research of the electrical properties of composite varistors based on ZnO-polymer. The 17th International Conference on "Technical and Physical Problems of Engineering" (ICTPE-2021) Istanbul, Turkey, № 18, p. 86-89.

[15] *Ş.M. Əhədzadə, A.M.Həşimov, T.K.Nurubəyli.* "ZnO-polimer əsasli kompozit varistorlarda nümunələrin optimal faizlərinin təyini". Akademik M.H. Şahtaxtinskinin 90 illik yubileyinə həsr olunmuş mövzusunda konfrans, Bakı-Naxçıvan 19-20 Oktyabr, AJP FİZİKA, 2022-ci il, səh.3-7.

[16] *Sh.M.Ahadzadeh,A.M.Hashimov,Sh.G.Khalilova.* "Research of the electrical properties of composite varistors based on ZnO-polymer". IJTPE, 2022, Issue 50, Vol. 4, No.1, pp.166-17.

[17] *D. Szwagierczak, J. Kulawik, A. Skwarek.* Influence of processing on microstructure and electrical characteristics of multilayer varistors// Journal of Advanced Ceramics 2019, 8(3): 408–417 ISSN 2226-4108 https://doi.org/10.1007/s40145-019-0323-7.

[18] *J. Kulawik, D. Szwagierczak, A. Skwarek.* Electrical and microstructural characterization of doped ZnO based multilayer varistors. Microelectron Int 2017, 34: 116–120.

[19] *G. Manoharan, M. Karuppiah, N.K Sahu, et al.* High performance multi-layer varistor (MLV) from doped ZnO nanopowders by water based tape casting: Rheology, sintering, microstructure and properties// Ceram Int 2018, 44: 7837–7843.

Sh.M. Ahadzade

STUDY OF STRUCTURAL CHANGES IN MODIFIED SEMICONDUCTOR-POLYMER COMPOSITES UNDER GAS ELECTRIC DISCHARGE

In the article, semiconductor-polymer composite varistors with various ceramic phases (ZnO and Si) and a polymer matrix (polar-PVDF, F2M, non-polar-Pe, PP) are developed, and the current-voltage characteristics of all composites are measured. Composite varistors based on ZnO polymer and Si polymer with different volume percentages were modified in a barrier electric gas discharge. It was found that after the modification process in ZnO-based composites, their response voltage sharply (by about ~10 times) decreased, and the nonlinearity remained stable. According to the results of the experiments, it was found that after the discharge modification in Si-based semiconductor composites, the response voltage of the composites approximately corresponds to the state before the modification. It should be noted that in order to be used in low-voltage micropower devices, a technology has been developed for obtaining composites based on a semiconductor-polymer by modification in an electric gas discharge.

Ахадзаде Ш.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ПРИ ГАЗОВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ

В статье разработаны полупроводниково-полимерные композиционные варисторы с различными керамическими фазами (ZnO и Si) и полимерная матрица (полярные-ПВДФ, Ф2М, неполярные-Пе, ПП), а также измерены вольт-амперные характеристики всех композитов. Композитные варисторы на основе ZnO-полимера и Si-полимера с раз-

личным объемным процентным содержанием были модифицированы в барьерном электрическом газовом разряде. Установлено, что после процесса модификации в композитах на основе ZnO резко (примерно в ~10 раз) уменьшилось их напряжение срабатывание, а нелинейность оставалась стабильной. По результатам экспериментов установлено, что после разрядной модификации в полупроводниковых композитах на основе Si напряжение срабатывание композитов примерно соответствует состоянию до модификации. Следует отметить, что с целью использования в низковольтных микросиловых устройствах разработана технология получения композитов на основе полупроводник-полимер методом модифицирования в электрическом газовом разряде.

ELEKTROENERGETİKANIN EKOLOJİ PROBLEMLƏRİNİN TƏDQİQİNDƏ İSTİFADƏ OLUNAN ÜSULLAR VƏ TEXNOLOJİ QURĞULAR

A.M. HƏŞİMOV[1], K.B. QURBANOV[1], H.C. HÜSEYNOV[1], L.Ç. SÜLEYMANOVA[2], S.A. HÜSEYNOVA[1], V.M. HACIYEVA[1]

1. Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu
Az-1143, Bakı, H.Cavid prospekti, 131.
tzenfira@mail.ru
2. Mingəçevir, Mingəçevir Dövlət Universiteti Az-4500, Dilarə Əliyeva küçəsi,21.
suleymanovalc@mail.ru

Tədqiqatda elektroenergetikanın ekoloji problemlərinin həllində Fizika İnstitutunda tətbiq edilmiş yeni, innovativ üsullar və texnoloji proseslərin sxemləri şərh olunmuşdur. Məqalədə təbiətin ekoloji durumunu təmin etmək istiqamətində iqtisadi cəhətdən səmərəli, ekoloji baxımından təminatlı elektron-ion texnologiyasına əsaslanan, yeni üsulların, sənaye tullantı suların və qazların zərərli tərkiblərdən təmizlənməsində tətbiq edilməsi tövsiyyə olunmuşdur.

Açar sözləri: Kütlə, spektrometr, elektrik qazboşalması, fakel, elektrik yükü, ifrat yüksək vakuum, adsorbent, izolyator.
UOT: 631.95
PACS: 87.23.-n

Təqdim olunan məqalədə əsas etibarilə energetik sistemlərin ətraf mühitə zərərli təsir göstərən ekoloji amillərin aradan qaldırılması üçün yeni üsulların, texnoloji proseslərin və texniki vasitələrin işlənilməsini, müşahidə olunan fiziki, kimyəvi proseslərin analizini və onların qiymətləndirilməsi məsələlərini əhatə edir [1-4].

Qaz, maye buxarları və qazboşalmalarının təsirinə məruz qalan bərk cisimlərin səthindən və həcmindən, ikinci növ emissiya yolu ilə qopan və vakuuma daxil olan atom və molekulların qeydiyyatını yüksək dəqiqliklə yerinə yetirmək məqsədilə tədqiqatların ifrat yüksək vakuum şəraitində aparılması tələb olunur.

Arakəsməli və məşəl növ elektrik qazboşalmalarının təsirini təmin edən reaktorlar və müvafiq elektrik sxemləri təqdim olunmuşdur. Bu zaman qazboşalması reaktorları sorbsiya prosesinin texnoloji qurğusuna daxil edilməsi məqsədli tədqiqatların yerinə yetirilməsi üçün imkan verə bilər.

Qaz qarışıqlarının tərkibinə nəzarət yüksək ayırdetmə qabiliyyətinə, yüksək həssaslığa və geniş kütlə diapazonuna malik MSX-4 markalı, uçuş müddətli kütlə-spektrometri vasitəsilə əldə oluna bilər. Uçuş müddətli kütlə-spektrometrinin çevikliyi yüksək sürətlə reallaşan qaz reaksiyalarını qeydə almaq imkanı vermiş olar.

Sənaye tullantı sularının və mazut maddəsinin təmizlənməsi üçün bir sıra texnoloji qurğular hazırlanaraq tədqiqatlarda istifadə edilə bilər.

Qaz və maye yanacaqlardan istifadə edən istilik elektrik stansiyalarının istismarının faydalı iş əmsalını artırmaq məqsədilə yanma prosesinə məşəl elektrik qazboşalmasının təsirini təmin etmək olar.

İfrat yüksək vakuum qurğusu.

Məlumdur ki, müxtəlif atom və molekullardan təşkil olunmuş qaz qarışıqları olan qapalı həcmdə qazboşalmalarının təsiri ilə qaz molekullarında dissosiasiya, həyəcanlanma, ionlaşma, rekombinasiya və konversiya vasitəsilə sürətli qaz reaksiyalarının reallaşması mümkündür. Bu halda ilkin qazın tərkibində nəzərəçarpacaq dəyişikliklər müşahidə oluna bilər. Bu halların qarşısını almaq və məqsədli tədqiqatların təmizlik dərəcəsini təmin etmək üçün tədqiqatların ifrat yüksək vakuum şəraitində yerinə yetirilməsi tələb olunur. Bu məqsədlə, vakuum texnikasının son nailiyyətlərindən istifadə edərək şəkil 1-də təqdim olunmuş ifrat yüksək vakuum qurğusundan istifadə edilməsi təklif olunur.

Şəkil 1-də şərh olunan vakuum qurğusu, əsasən, aşağıdakı elementlərdən təşkil edilmişdir: ifrat yüksək vakuum seolit adsorbentinin səthində adsorbsiya prosesinə əsaslanan nasos; soyuq katodlu qazboşalmalarının təsiri ilə Titan materialının tozlanması nəticəsində daxili səthlərdə əmələgələn nazik Titan təbəqələrinin adsorbsiya prosesləri hesabına əldə edilməsinə əsaslanan nasos. Vakuum qurğusu, eyni zamanda mexaniki-forvakuum və diffuzion nasosları, həm də vakuum şəraitində, Titan materialının közərdilmə yolu ilə uçurdulan Titan tozunun əmələ gətirdiyi nazik titan təbəqələrinin adsorbsiya qabiliyyətinə əsaslanan ifrat yüksək vakuum nasosu ilə təchiz edilmişdir. Vakuum qurğusunun ifrat yüksək vakuum yaradılan hissəsinin hər iki tərəfdən qallium kranları vasitəsilə mexaniki və diffuzion nasoslarından əlaqəsini kəsmək mümkündür. Beləliklə, karbohidrogen mənşəli yağların buxarlarının qurğunun ifrat yüksək vakuum yaradılan hissəsinə daxil olmasının qarşısı alınmışdır. Qallium kranları, eyni zamanda qurğunun üst hissəsinin 350–400ºC temperaturu vasitəsilə qazsızlaşdırılmasına imkan verir.

Vakuum qurğusunda yüksək vakuum LM-2 markalı, ifrat yüksək vakuum isə Bayard-Alpert manometri vasitəsilə ölçülməlidir.

Kütlə-spektrometri, müxtəlif qaz atomlarının generatoru və yüksəkgərginlikli reaktor qurğunun ifrat yüksək vakuum olan hissəsinə daxil edilmişdir.

Müxtəlif qazları tədqiqat sisteminə daxil etmək üçün xüsusi quruluşa malik sistem şlif vasitəsilə vakuum qurğusu ilə əlaqələndirilmişdir. Qurğunun müxtəlif hissələrində təzyiq fərqi yaratmaq üçün sistemə V_2 həc-

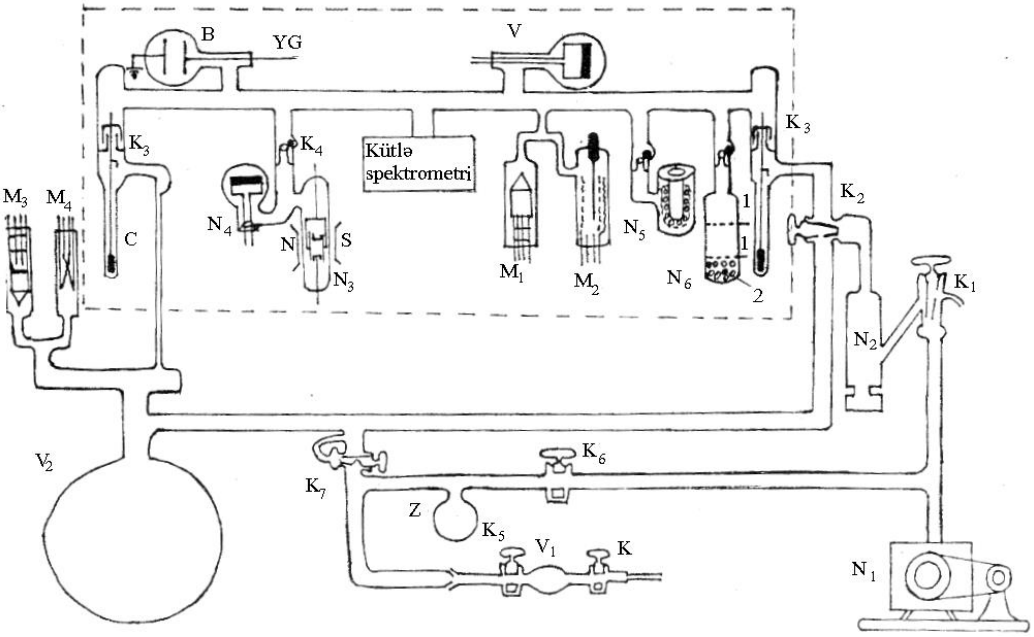
mi daxil edilmişdir. Qaz nümunəsi müəyyən kiçik həcmə malik kran vasitəsilə V_2 həcminə ötürülür və kapillyar vasitəsilə qallium kranın açıq vəziyyətində, kütlə-spektrometrinin analizatoruna daxil olur.

Vakuum qurğusunun metal hissələrinin qazsızlaşdırılması yüksəktezlikli induksiya sobası vasitəsilə yerinə yetirmək olar. İfrat yüksək vakuum əldə etmək məqsədilə qurğu, vakuum şəraitində 3 saat müddətində, 300ºC temperaturda qızdırılmalıdır.

İfrat yüksək vakuumun əldə edilməsi, müxtəlif qaz reaksiyalarının baş verməsinin qarşısını almaqla bərabər, eyni zamanda tədqiqat nəticələrinin birqiymətli izah olunmasını təmin etmiş olur.

Vakuum qurğusuna daxil edilmiş metal kürə tıxacı vasitəsilə təzyiq fərqi kiçik olan hissələri əlaqələndirməyə və əlaqəni kəsməyə imkan verir. Kürənin vəziyyətini kənardan elektromaqnit vasitəsilə dəyişmək olur. Tıxacda sürtgü yağlarının tətbiq edilməməsi və iş prinsipinin sadəliyi onun müsbət cəhətini təşkil edir.

Qurğuya daxil edilmiş vakuum elementlərinin düzgün seçilməsi və vakuum nasoslarının kifayət qədər sorma sürətinə malik olması sayəsində 30 dəqiqə ərzində ifrat yüksək vakuum əldə etmək mümkün olar.



Şəkil 1. İfrat yüksək vakuum qurğusu. N_1 – 2HBP-5 DM markalı mexaniki forvakuum nasosu; N_2 – N-05 markalı diffuzion nasos; N_3 – Nord-100 markalı soyuq katodlu ion nasosu; N_4 – titan səthində adsorbsiya prinsipi əsasında işləyən ifrat yüksək vakuum nasosu; N_5 – maye azot temperaturunda seolitin səthində adsorbsiya prinsipi əsasında işləyən ifrat yüksək vakuum nasosu; N_6 – maye azot temperaturu tətbiq etmədən, qazboşalmalarının təsiri şəraitində seolitin səthində adsorbsiya prinsipi əsasında işləyən vakuum nasosu; K_1-K_7 – müxtəlif növ vakuum kranları; B – yüksəkgərginlikli reaktor; Y – sistemə müxtəlif qaz atomlarını daxil edən generator; C – kapilyar; V_1, V_2 – xüsusi təyinatlı həcmlər; M_1-M_4 – manometr lampaları.

Yuxarıda qeyd olunan əməliyyatlar hesabına şərh olunan qurğu vasitəsilə tədqiqat aparılan həcmlərdə 10^{-6}-10^{-7} Pa tərtibində ifrat yüksək vakuum əldə etmək mümkün olar. Bu halda kütlə-spektrometri ilə, sistemdə atmosfer havasını təşkil edən qazların izi, əsasən, istifadə edilən üsullarla sorulmayan arqon (Ar) qazı mövcud ola bilər.

Uçuş müddətli kütlə-spektrometri

Elektronika, ion optikası və vakuum texnikasının son nailiyyətləri əsasında qurulmuş kütlə-spektrometrləri maddələrin kimyəvi element və izotop tərkibini öyrənmək üçün ən müasir analiz üsuludur. Müxtəlif növ kütlə-spektrometrlərinin ümumi cəhətləri – tədqiq edilən maddənin ionlarını əldə etmək, onları kütləsinə görə ayırd etmək və ion cərəyanlarını qeydə almaqdan ibarətdir.

Kütlə-spektrometriya üsulu qazboşalmalarının tədqiqində, güclü elektrik sahələrinin və qazboşalmalarının, elektron-ion bombardmanı təsirinə məruz qalan bərk cisimlərin səthində reallaşan fiziki-kimyəvi proseslərin, ikinci ion hadisələrinin, maddə tərkibinin öyrənilməsində, qaz qarışıqlarında parsial təzyiqin təyin edilməsində, ekoloji problemlərin həllində, vakuum texnikasında geniş tətbiq olunan müasir üsuldur.

Qaz və mayelərin tərkib dəyişmələrini qeydə almaq məqsədilə müxtəlif kütləyə malik ionları uçuş müddətinə görə ayırd edən MSX-4 markalı kütlə-spektrometrindən istifadə etmək olar. Cihazın ətalətsiz işləməsi yüksək sürətlə reallaşan qaz reaksiyalarını qeydə almağa imkan verir.

Şəkil 2-də cihazın blok sxemi təqdim olunmuşdur.

Cihaz, radiotexniki qurğu, verici və vakuum sistemindən təşkil olunub. Radiotexniki qurğu 7 blokdan ibarətdir. Cihazın vericisi, ion mənbəyi (blok 12), ionların qəbuledicisi, dreyf borusu, impuls generatoru (blok 10), gücləndirici (blok 8)-dən təşkil olunmuşdur. Şəkil 2-dən göründüyü kimi, ion mənbəyi, 2 katod, 1 fokuslayıcı, 3 idarəedici elektrod, 4 ionlaşdırıcı, 5 ion

qəbuledici və 6, 7, 8 torlarından ibarətdir. Katoddan çıxan elektronlar 1, 3 və 4 elektrod sistemi vasitəsilə fokuslanaraq, müstəvi paralel şüa şəklində, 6 və 7 torları ilə əhatə olunan ionlaşma həcminə daxil olur. Elektronların təsiri nəticəsində tədqiq olunan qazda ionlaşma prosesi gedir və əmələ gəlmiş ionlar 6 və 7 ekvipotensial tor sistemi arasında toplanır. İon mənbəyinin 6 toruna verilən itələyici impuls ion dəstəsini 7 və 8 torları arasındakı sürətləndirici aralığa və sonra dreyf sahəsinə keçirirlər. İon seli dreyf məsafəsində m/e-nin qiymətinə görə kütlə piklərinə ayrılır.

Vericidə, dreyf məsafəsi 1200 mm olan metal borudan keçdikdən sonra ionlar, elektrostatik linza vasitəsilə, elektron çoxaldıcısının qəbuledici elektroduna yığılır və onun çıxışında siqnal gücləndirilərək, indikator blokunun (blok 3) elektron-şüa borusunun şaquli meyletdirici lövhələrinə verilir.

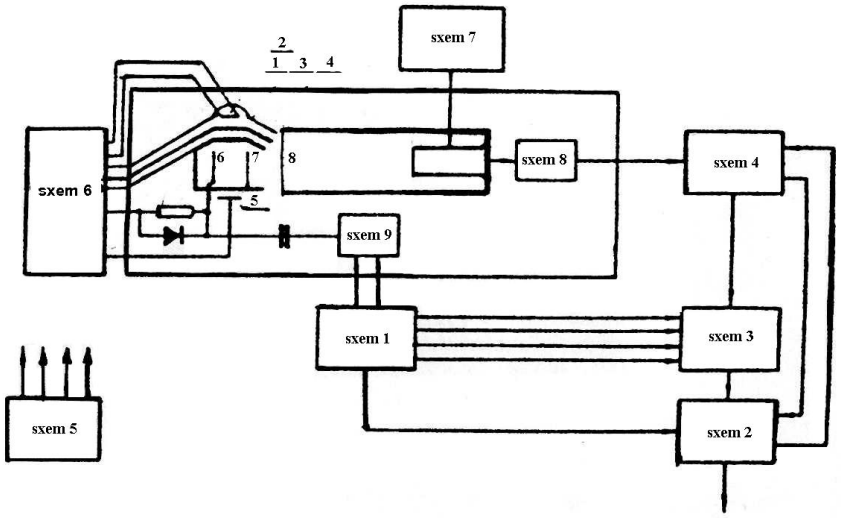
Cihazın, müxtəlif rejimlərdə işləməsini idarə etmək üçün tələb olunan zaman nisbəti və impuls gərginliklər sinxronlaşdırıcıda (blok 1) tənzimlənir. Sinxronlaşdırıcı, vericini tələb olunan parametrlərə uyğun impulslarla təmin edir.

Radiotexniki qurğunun bütün lampalarının anod, ekran, tor və digər elementlərinə gərginlik, blok 5-də yerləşən mənbədən, elektron çoxaldıcısının diodlarına isə blok 7-dən verilir.

MSX-4 markalı kütlə-spektrometrinin işləmə prinsipi, müxtəlif kütləyə malik olan ionların, müxtəlif zaman fasilələrində kollektora çatmasına əsaslanır. Qeyd olunan uçuş müddəti aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$t = L \cdot \sqrt{\frac{M}{2eU}} \qquad (1)$$

burada, t – ionun uçuş müddəti; L – ionun keçdiyi dreyf məsafəsi; M – ionun kütləsi; U – sürətləndirici gərginlik; e – elektronun yüküdür.



Şəkil 2. Kütlə-spektrometrinin blok-sxemi.

Kütlə-spektrometri 13,3 -13,3·10^{-8} Pa təzyiq intervalında işləyərək, 1-600 atom kütlə vahidinə malik olan ionları qeydə ala bilir. Cihazın kütlə üzrə ayırdedici qabiliyyəti 100 atom kütlə vahidi təşkil edir. Kütlə-spektrometrinin arqon qazı üzrə həssaslığı 5·10^{-5} $\frac{A}{Pa}$ qədərdir.

Cihazın vericisi, dreyf borusunda təzyiqin 1,33·10^{-4} Pa qiymətindən çox olmadığı halda, 400ºC-yə qədər qızdırıla bilər.

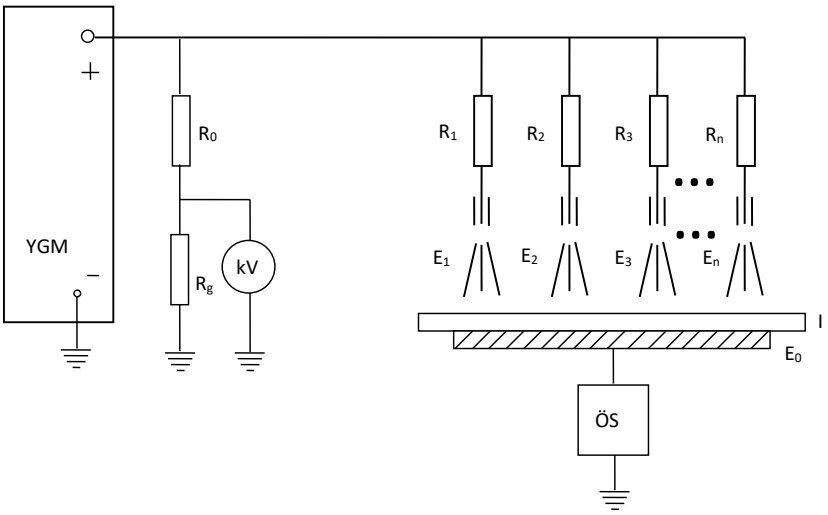
Ədədi qiymətcə, eyni kütləyə malik olan ionları (məsələn, N_2 və CO molekullarının ionları) fərqləndirə bilməməsi kütlə-spektrometrinin mənfi cəhəti hesab edilir. Belə hallarla rastlaşdıqda, təcrübələrin şərtləri, rejimi, tədqiqat obyektinin növü, kimyəvi birləşmənin əmələgəlmə ehtimalı və digər parametrləri nəzərə alınaraq, spektrdə mübahisəli maksimumları bu və ya digər adlı iona aid etmək olur.

Yüksəkgərginlikli elektrik qurğuları və texnoloji sxemlər

Ədəbiyyatda aktivləşdirici olaraq yüksəkgərginlikli elektrik qazboşalmalarının təsirindən istifadə olunmuşdur. Qazboşalmalarının müxtəlif növlərinin aktivləşdirici təsiri tədqiq edilən məsələlərdə sınaqdan keçirilərək tac, məşəlşəkilli və arakəsməli növlərinin daha tətbiqyönümlü və effektiv təsirə malik olması qeydə alınmışdır. Axırıncını nəzərə alaraq tədqiqatlarda məşəl və arakəsməli qazboşalmalarının təsirlərinin tətbiq olunması təklif olunur.

Məşəlşəkilli elektrik qazboşalması yaradan qurğunun elektrik sxemi şəkil 3-də təqdim olunmuşdur. Burada, YGM – dəyişən yüksək (5-140 kV) gərginliklərin verilməsini təmin edən qida mənbəyi, R_0, Rg – yüksək gərginlikləri ölçmək üçün gərginlikbölən və eyni zamanda sızma müqavimətləridir (R_0+Rg=100-500MOm). Məşəl qazboşalması əmələgətirən elementlər R_1, R_2, ..., R_n tormozlayıcı müqa-

vimətlərindən təşkil olunmuşdur. E_1, E_2, ..., E_n – məşəl qazboşalması əmələgətirən elektrodlardır. Məşəl əmələgətirən elektrodlar eyniölçülü sivri uca malik dielektrik örtüklü, yüksək ərimə temperaturu malik molibden materialından hazırlanır. Elektrodların dielektrik örtüyü kiçikdiametrli farfor borularından hazırlanır. R_1, R_2, ..., R_n müqavimətlərinin 10-15 Mq Om qiymətlərində məşəl qazboşalması əldə etmək mümkün olmuşdur.



Şəkil 3. Məşəl qazboşalmasının elektrik dövrəsi. YGM – yüksəkgərginlikli qida mənbəyi; R_0, Rg – gərginlikbölən müqavimətlər; R_1, R_2, ..., R_n – tormozlayıcı müqavimətlər; E_1, E_2, ..., E_n – qazboşalması əmələgətirən elektrodlar.

Təcrübələrdə tətbiq edilən məşəl qazboşalmasını xarakterizə edən parametrlər cədvəl 1-də təqdim olunmuşdur.

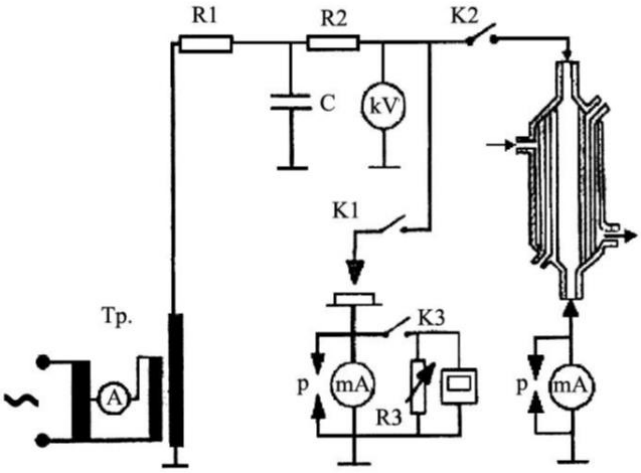
Cədvəl 1

Məşəl qazboşalmasının elektrik parametrləri

Tətbiq olunan gərginlik, kV	Məşəl boşalmasının cərəyan şiddəti, mkA	Tac boşalmasının cərəyan şiddəti, mkA
25	140	40
30	170	48

Qeyd etmək lazımdır ki, tormozlayıcı müqavimətlərin kiçik qiymətlərində (0,5-5 Mq Om) və gərginliyin qiyməti məşəl qazboşalmasının dayanıqlı rejimindən yüksək olduqda hər iki halda qazboşalması aralığında qığılcım növ boşalma müşahidə oluna bilər. Təcrübələrdə dəyişən gərginliyin müsbət yarımperiodunda – dayanıqlı məşəl qazboşalması, mənfi yarımperiodunda isə aralıqda tac boşalması müşahidə oluna bilər.

Tədqiqatlarda istifadə edilən arakəsməli elektrik qazboşalması ozonator qurğusu vasitəsilə əldə etmək olar. Şəkil 4-də ozonator qurğusunun elektrik sxemi təqdim edilmişdir. Ozonator qurğusu müxtəlif diametrə malik iki koaksial yerləşdirilmiş şüşə silindrdən təşkil olunmuşdur. Qazboşalması aralığı 4 mm təşkil etmişdir. Kiçikdiametrli silindrin daxilinə yüksəkgərginlikli elektrod yerləşdirilir. Böyükdiametrli silindrin çöl səthi torpaqlanmış elektrodla örtülür. Qazboşalması aralığına adsorbent yerləşdirilərək boşalmanın təsiri vasitəsilə aktivləşdirmək olar.



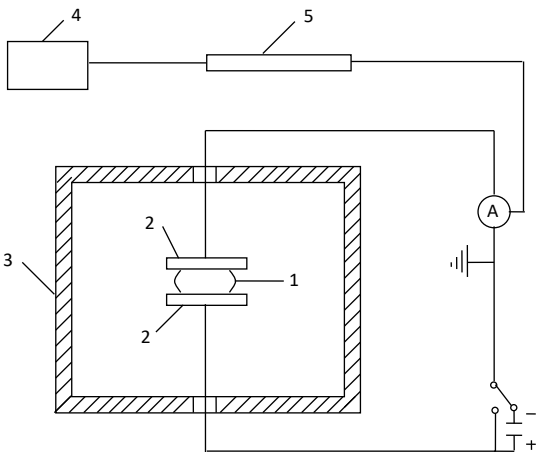
Şəkil 4. Arakəsməli elektrik qazboşalmasının sxemi.

Sxemə – qida mənbəyi olaraq, yüksək gərginlik transformatoru, qazboşalması reaktoru (ozonator), milliampermetr, boşaldıcılar və digər müvafiq elementlər daxil edilir.

Qazboşalmalarının təsirinə məruz qalan adsorbentlərdə elektrik yüklü vəziyyətin əmələ gəlməsi termostimullaşdırılmış cərəyanların ölçülməsi üsulu vasitəsilə təyin etmək olar. Termostimullaşdırılmış relaksasiya üsulu polimer və digər dielektrik materiallarda elektrik yüklü vəziyyətin tədqiqində geniş istifadə olunur.

Termostimullaşdırılmış relaksasiya üsulu aşağıdakından ibarətdir. Tədqiq edilən nümunə müəyyən müddət qazboşalmasının təsirinə məruz qaldıqdan sonra şəkil 5-də təqdim edilən elektrik sxemində elektrodlar arasında sıxılaraq cərəyan qeyd edən cihaza qapanaraq zamanın və temperaturun funksiyası olaraq boşalma cərəyanı qeydə alınır.

Təcrübələrin blok-sxemi şəkil 5-də təqdim olunmuşdur.



Şəkil 5. Nümunələrdə elektrik yüklü vəziyyətlərin tədqiqi qurgusu. 1 – nümunə; 2 – elektrod; 3 – termostat; 4 – temperatur tənzimləyicisi; 5 – ikikoordinatlı potensiometr.

Tədqiqat nümunəsi temperatur qurğusunun elektrodları arasında yerləşdirilir. Sonra nümunə ölçü cihazı vasitəsilə əlaqələndirilir və temperatur sabit 2ºC/dəq. sürətilə nümunənin qızdırılması prosesi başlanır. Nümunənin qızdırılması otaq temperaturundan başlanaraq 500ºC-yə qədər davam etdirilir.

Müşahidə olunan cərəyan şiddəti ENDİM markalı ikikoordinatlı potensiometr vasitəsilə qeydə alına bilər. Temperaturun xətti yüksəldilməsi xüsusi elektron qurğusu vasitəsilə təmin edilir.

Cərəyan şiddətinin temperaturdan asılılığı materialın elektrofiziki xassələrini xarakterizə edən bir sıra maksimumlara malik olur. Termostimullaşmış cərəyan şiddətinin zamandan asılılıq əyrisinin əhatə etdiyi sahə nümunədən relaksasiya etmiş elektrik yüklərinin cəminin ədədi qiymətinə uygun olur. Elektrik yüklərinin cəmi I(t) əyrisinin qrafiki inteqrallanması vasitəsilə tapılır, yəni əyrinin əhatə etdiyi sahənin ədədi qiymətinin tapılmasına gətirilir. Bunun üçün sahə bütünlüklə müəyyən kiçik hissələrə bölünür (bu hissələr kiçik olduqca dəqiqlik yüksək olur).

Yüklərin cəmi, bir kiçik hissənin yükünün Q_{kl} hissələrin sayına vurmaqla tapılır:

$$Q = Q_{hs} \cdot N_{hs}$$

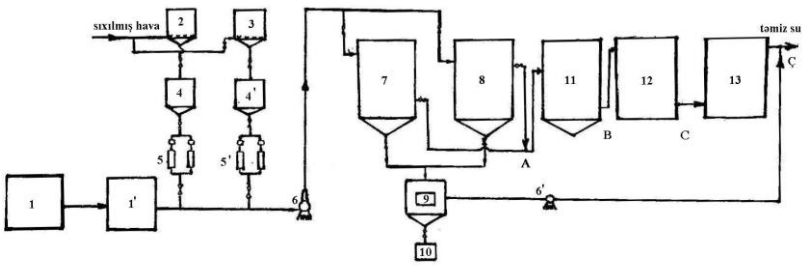
Q_{hs} - potensiometrin x, y oxları üzrə miqyas əmsallarının hissənin xətti ölçülərinə olan hasili ilə təyin edilir. Belə ki,

$$Q_{hs} = M_t \cdot M_j \cdot x_t \cdot y_j$$

Beləliklə, elektrik qazboşalmalarının təsirinə məruz qalan adsorbentlərdə elektrik yüklü vəziyyətin əmələgəlmə və bu yüklərin ədədi qiymətlərini müəyyən etmək imkanına malik oluruq.

Enerjidaşıyıcıları olan təbii qazın və mazut maddəsinin, eyni zamanda enerji sistemlərinin tullantı sularının və tüstü qazlarının təmizlənməsi proseslərinin tədqiq edilməsində adsorbentlərin yuxarıda qeyd olunan üsullarla aktivləşdirilməsinin tətbiq edilməsi nəzərdə tutulur.

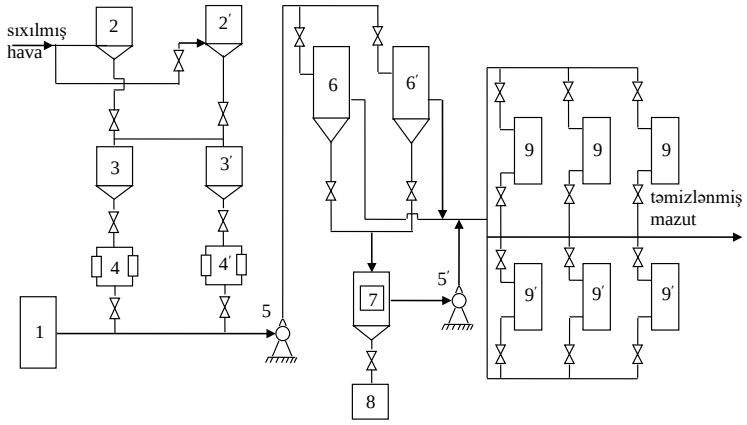
Şəkil 6-da energetika sistemlərinin tullantı sularının təmizlənməsinin tədqiqi üzrə təcrübi qurğunun blok sxemi təqdim olunmuşdur. Şəkildən göründüyü kimi təmizləyici qurğu fiziki və kimyəvi üsullara əsaslanaraq, suyun çirklənmə dərəcəsindən asılı olaraq həm hissə-hissə, həm də tam qoşulma imkanına malikdir.



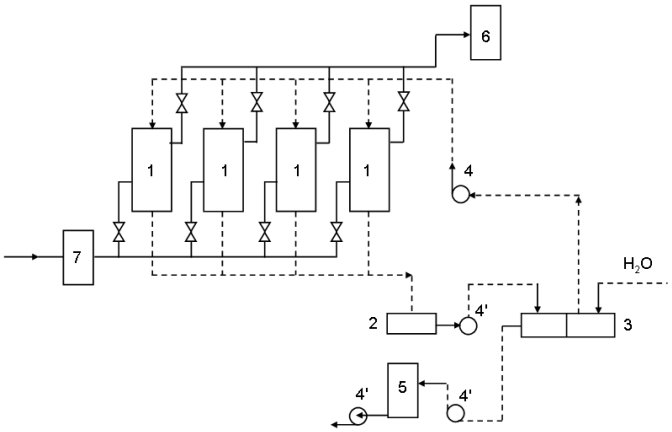
Şəkil 6. Su təmizləyici texnoloji qurğunun blok sxemi. 1,1′ – təbii çökdürmə həcmləri; 2 – kimyəvi məhlulun hazırlanma həcmi; 3 – çökdürücü məhlulun hazırlanma həcmi; 4,4′ – məhlulların qarışdırılması üçün həcmlər; 5,5′ – miqdar tənzimləyici nasoslar; 6,6′ – mərkəzdənqaçma nasosları; 7,8 – çökmə həcmləri; 9 – vakuum-filtr; 10 – quru qalığın toplanması üçün həcm; 11 – ozonator qurğusu; 12 – məşəl qazboşalması qurğusu; 13 – adsorbent-filtr.

Şəkil 7-də təqdim olunan analoji qurğu vasitəsilə enerji- daşıyıcısı olan mazut maddəsinin kükürd birləşmələrindən təmizlənməsinin tədqiqatını yerinə yetirmək olar.

Mazut maddəsi 1 həcmindən, mərkəzdənqaçma nasosları vasitəsilə, məhlul ilə birlikdə 6,6′ həcmlərinə verilir. Reagent vasitəsilə təmizləmə prosesi yerinə yetirildikdən sonra mazut 9 həcmində adsorbsiya üsulu ilə kükürd birləşmələrindən və məhlulun qalıqlarından son təmizləmə prosesindən keçirilir.



Şəkil 7. Mazut maddəsinin kükürd birləşmələrindən təmizlənməsinin texnoloji qurğusunun blok-sxemi.
1 – ilkin çökdürmə həcmi; 2,2′ – reagentlərin hazırlanma həcmləri; 3,3′ – məhlulların qarışdırılması üçün həcmlər; 4,4′ – miqdar tənzimləyici nasoslar; 5,5′ – mərkəzdənqaçma nasosları; 6,6′ – çökmə həcmləri; 7 – mərkəzdənqacma qurgusu; 8 – çöküntünün toplanması üçün həcm; 9,9′ – adsorbsiya üsulu reaktorları.



Şəkil 8. İstilik elektrik mərkəzinin tullantı qazlarının təmizlənməsi üzrə texnoloji qurğunun sxemi.
1 – adsorber qurğuları; 2 – çökdürücü həcm; 3 – su və turşu məhlulu həcmi; 4,4′ – nasoslar; 5 – çökdürücü həcm; 6 – qazın çıxış borusu; 7 – toz hissəciklərin filtri.

Şəkil 8-də verilmiş texnoloji qurğu vasitəsilə istilik elektrik mərkəzinin tullantı qazlarının azot, kükürd və karbon-dioksidindən təmizlənməsi proseslərini aparmaq olar. Stansiyanın tullantı qazlarının böyük həcmi təmizləmə prosesinin optimal üsullarla aparılmasını tələb edir.

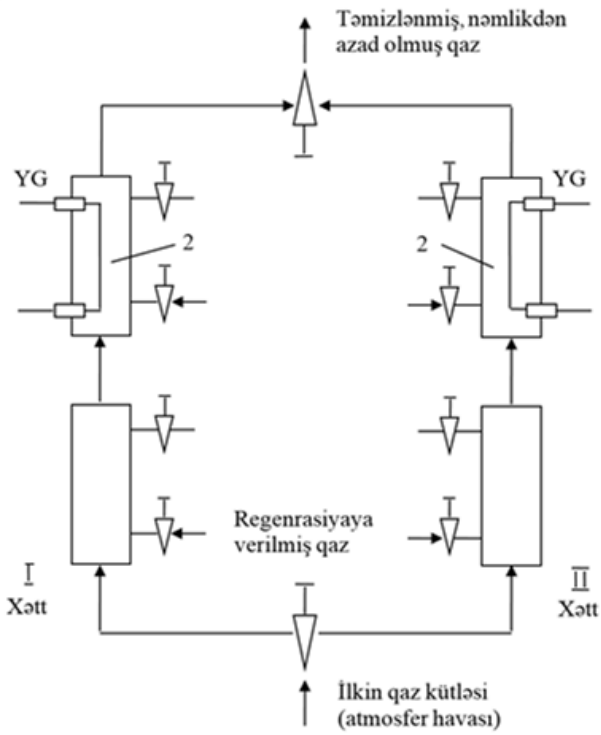
Tətbiq olunan adsorbentin seçilməsi, udulma prosesinin kinetikası, adsorbentin regenerasiya prosesini xarakterizə edən və bir-birilə əlaqədar olan məsələlərin düzgün seçimi təmizləmə prosesinin effektivliyinin yüksəlməsinə səbəb olur.

Şəkil 9-da atmosfer havasının karbon-dioksid və rütubətdən təmizlənməsinin tədqiqində istifadə edilən qurğunun sxemi verilmişdir. Şəkil 10-da tac boşalması tətbiq edilən reaktor, şəkil 11-də isə arakəsməli elektrik qazboşalması tətbiq edilən adsorber verilmişdir.

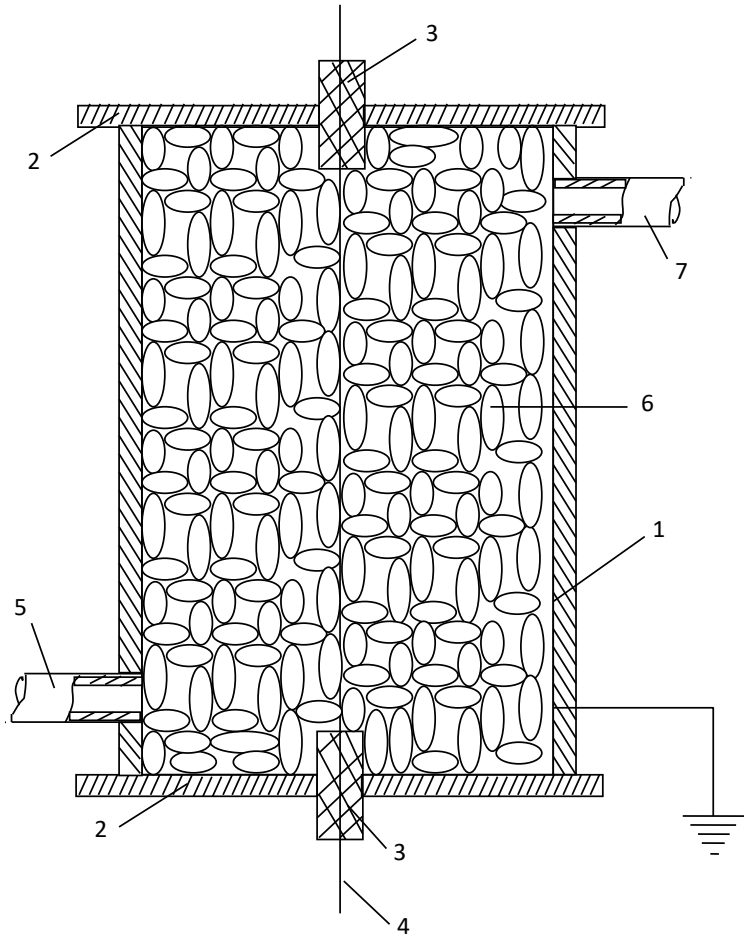
Qurğu iki xətdən ibarətdir. Hər bir xəttə 2 ədəd adsorber qoşulmuşdur, I adsorberdə CaA markalı seolit, II adsorberdə KSM-5 markalı silikagel yerləşdirilmişdir.

Hər iki adsorber qızdırılaraq (seolit-400ºC, silikagel-200ºC) regenerasiya prosesi yerinə yetirilir. Təmizlənən qaz sistemə daxil edilərək hər iki adsorberdə adsorbentlərlə təmasa gətirilir, II adsorberdə, eyni zamanda qazboşalmalarının təsirinə məruz qalır.

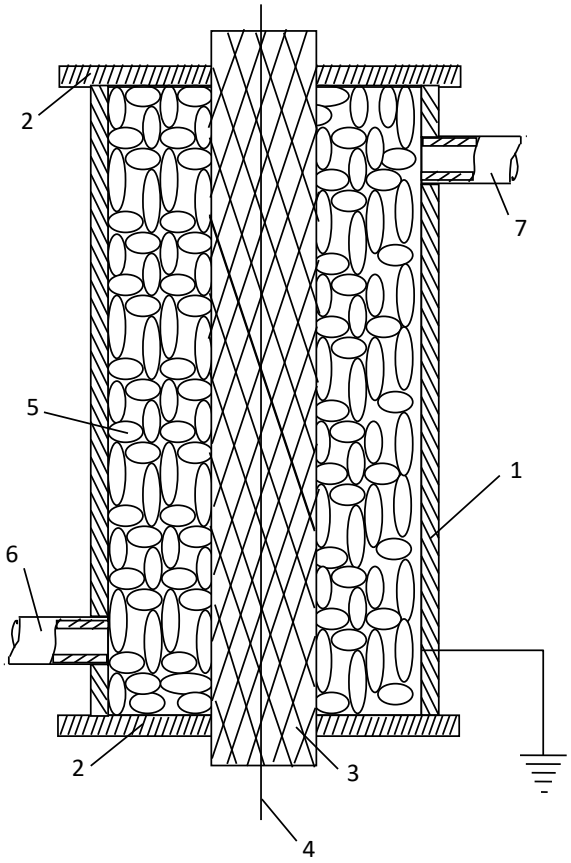
İstilik qazanlarında yanacağın yandırılması prosesinə güclü elektrik sahələrinin və qazboşalmalarının təsirlərini tədqiq etmək üçün odluq qurğusu layihələndirilmişdir. Odluq qurğusunun sxemi şəkil 12-də təqdim edilmişdir. Qurğunun iynəvari elektrodları ilə onun gövdəsi arasına gərginlik verdikdə boşalma aralığında məşəlşəkilli qazboşalması yaranır.



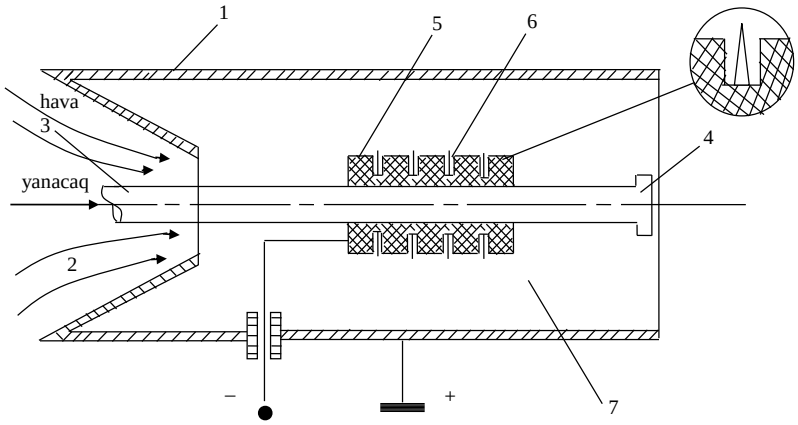
Şəkil 9. İkixətli qaz təmizləmə qurğusunun sxemi. I – birinci təmizləmə xətti; II – ikinci təmizləmə xətti; 1 – CaA seoliti yerləşən adsorber; 2 – KSM-5 markalı silikagelin yerləşdiyi və qazboşalması təsirini yaradan adsorber; YG – yüksək gərginlik.



Şəkil 10. Tac boşalması tətbiq edən adsorberin sxemi. 1 – metal korpus; 2 – flaneslər; 3 – dielektrik keçid izolyatorları; 4 – tac əmələgətirən elektrod; 5 – qazın daxilolma sistemi; 6 – adsorbent; 7 – qazın çıxış sistemi.



Şəkil 11. Arakəsməli boşalma tətbiq edən adsorberin sxemi.1 – silindrik korpus; 2 – flaneslər; 3 – dielektrik materialdan silindrik izolyator; 4 – yüksəkgərginlikli elektrod; 5 – adsorbent; 6 – qazın daxilolma sistemi; 7 – qazın çıxış sistemi.



Şəkil 12. Təcrübi odluq qurğusu. 1 – metal boru; 2 – konusvari havaötürən; 3 – yanacaqötürən; 4 – tozlandırıcı başlıq; 5 – dielektrik; 6 – iynəvari elektrodlar; 7 – boşalma aralığı.

Odluq qurğusu metal borudan 1, girişdəki 2 konusvari havaötürən, 3 yanacaqötürən, 4 tozlandırıcı başlıqdan ibarət olaraq yanacaqötürən borunun üstünə üzərində 20 ədəd dəlik açılmış silindrik dielektrik yerləşdirilmişdir. Bu dəliklərdən, uc tərəfi dielektrikin səthindən 1-2 mm çıxan iynəvari elektrodlar yerləşdirilmişdir. İynəvari elektrodlar mənfi, odluq qurğusunun metal gövdəsi isə müsbət elektrod olmalıdur.

Beləliklə, məqalədə elektroenergetika sistemlərinin ekoloji problemlərinin həlli istiqamətində elmi-tədqiqat işlərinin yerinə yetirilməsində, yuxarıda qeyd olunan üsullar və texnoloji qurğulardan istifadə edərək sistemli, çoxsaylı tədqiqat işlərini apararaq təbiət və cəmiyyətin ekoloji təhlükəsizliyinin təminatına qismən də olsa töhfə vermək olar.

[1] *K.M. Abdullayev, R.K. Məmmədov, Y.İ. Lətifov.* Enerji ehtiyatları, elektrik enerjisi istehsalı və ətraf mühit. II cild. Bakı: Zaman-3, 2007, 407s.

[2] *В. И. Вернадский.* Биосфера. Мысли и наброски. Сб. научных работ Вернадского В.И. М.: Изд. Дом "Ноосфера", 2001, 244 с.

[3] *М.И. Рустамов, В.М. Аббасов, Т.А. Мамедова, Н.Н. Пириев.* Экономические проблемы земли и альтернативные источники энергии. Баку: Элм, 2008, с. 717

[4] *А.М. Гашимов, Г.Дж. Гусейнов, К.Б. Гурбанов.* К решению экологических вопросов энергетических систем. Беларусь. Респ. Минск, Энергетика, 2010, №4, с. 30-35

A.M. Hashimov, K.B. Gurbanov, H.J. Huseynov, L.Ch. Suleymanova, S.A. Huseynova, V.M. Hajiyeva

TECHNOLOGICAL SCHEMES AND METHODS FOR STUDYING ENVIRONMENTAL PROBLEMS OF THE POWER INDUSTRY

The paper presents new, innovative methods and schemes of technological processes used at the Institute of Physics in solving environmental problems in the electric power industry. The article recommends the use of new methods based on cost-effective, electron-ion technologies in the purification of industrial wastewater and gases from harmful substances in order to ensure the ecological state of nature.

А.М. Гашимов, К.Б. Гурбанов, Г.Дж. Гусейнов, Л.Ч. Сулейманова, С.А. Гусейнова, В.М. Гаджиева

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В работе приведены новые, инновационные методы и схемы технологических процессов, применяемых в Институте Физики при решении экологических проблем электроэнергетики. В статье рекомендуется применять новые методы, основанные на экономически эффективных, электронно-ионных технологий, при очистке промышленных сточных вод и газов от вредных веществ с целью обеспечения экологического состояния природы.

TRANSFORMATOR YAĞININ XASSƏLƏRİ İLƏ ONUN ELEMENT ANALİZİ ARASINDAKI QARŞILIQLI ƏLAQƏSİ

T.K. NURUBƏYLİ[1,2], Ə.N. SULTANLI[1], N.Ş. CƏFƏR[1], Ə.A. ABDULLAYEVA[2]
1. Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu, H. Cavid pr. 131, Bakı, Az-1143, e-mail: omartarana@gmail.com, sultanli.alisaftar@mail.ru
2. Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı şəh, 16/21 Azadlıq prospekti, AZ1010 e-mail: t.nurubeyli@physics.science.az

Güc transformatorları elektrik, istilik və kimyəvi gərginliklərə məruz qalan enerji sistemləri içərisində ən vacib və bahalı cihazlardan biridir. Bu məqalənin əsas məqsədi transformator yağının kimyəvi parametrləri - yəni həll olunmuş qazlarla induktiv əlaqəli plazmalı kütlə spektrometri ilə alınan nəticələr arasında əlaqənin müəyyən olunmasıdır. Yağın turşuluğu və furfurol komponentlərinin bir-birilə tərs mütənasib olduğu müəyyən edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, yağda dəm qazının (CO) olmasının furfurol komponentinin artmasında böyük rolu var. Həmçinin, turşuluğun əmələ gəlməsində asetilen qazının (C_2H_2) rolu və onlar arasındakı əlaqə aşkar edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, transformator yağlarında mis elementinin çox miqdarda aşkar olunması dolaqlarda və ya bürünc və misdən hazırlanmış hər hansı komponentlərdə problemin olduğunu göstərir. Yağda dəmir elementinin əhəmiyyətli dərəcədə olması transformatorun içliyinin və çəninin, alüminiumun yüksək olması isə keramika qollarında olan nasazlıqdan xəbər verir. Alınan nəticələr 20 transformator yağlarının təcrübi məlumatları əsasında əldə edilmişdir.

Açar sözlər: transformator yağı, furfurol komponenti, induktiv əlaqəli plazmalı kütlə spektrometri, turşuluq və s.
UOT: 621.1.050

GİRİŞ

Transformator yağının bir neçə xüsusiyyətlərini analiz etməklə orada olan bir çox nasazlıqları aşkar etmək mümkündür. İstər fiziki, istər kimyəvi, istərsə də fiziki-kimyəvi təcrübələr aparmaqla transformatorun işlək vəziyyətini bilmək və transformatorda olan problemləri əvvəlcədən proqnozlaşdırmaq olar. Bir çox izolyasiya və dielektrik materiallarında olduğu kimi, transformator yağlarının parametrləri də zaman keçdikcə pisləşir. Buna səbəb temperaturun artması nəticəsində içlikdən və dolaqlardan yağa ötürülən istilikdir [1]. Dielektrik yağlarının xassələrinin pisləşməsinə əsas səbəb isə onun çirklənməsi və tərkibində metal sulfid hissəciklərinin turşu birləşmələrinin olmasıdır. Çirklənmədən savayı, dielektrik yağlar qismi və qövs boşalmaları, həmçinin temperaturun artması hesabına da parçalana bilər. Bildiyimiz kimi, istismar müddəti artdıqca yağların tərkibində kiçik molekulyar çəkili, həll olunan və karbon hissəciklərindən və onların müxtəlif birləşmələrindən ibarət qazlar ola bilər. Dielektrik yağlarının kimyəvi analizi transformatorun işlək vəziyyəti haqqında xəbər verən bir üsuldur. Ümumiyyətlə, dielektrik yağlar həm fiziki, həm də kimyəvi yolla çirklənə bilirlər [2].

Bildiyimiz kimi, transformatorlarda yaranan nasazlıqların əvvəlcədən aşkarlanmasının ən etibarlı üsulu yağlarda həll olunmuş qazların kimyəvi analizidir. Transformatorlarda izolyasiya mayeləri kimi yüksək dielektrik dayanıqlığına, istilik ötürmə qabiliyyətinə və kimyəvi sabitliyinə malik karbohidrogen (mineral) yağları qismən parçalanır. Lakin istilik artdıqca maye dielektrik və bərk izolyasiya parçalanmağa başlayırlar. Bu zaman ən tez parçalanan qazlar aşağı molekulyar çəkiyə malik qazlar, məsələn hidrogen, metan, etan, etil, asetilen, karbon monoksit və karbon qazları olurlar. Çünki, bu təhlükəli qazlar dielektrik mayedə daha tez həll olurlar və bununla belə onların hər birinin analizi tac, qığılcım kimi boşalmaların, ifrat qızma kimi nasazlıq proseslərini müəyyən etməyə imkan verir [4].

Yağların həll olunmuş qazlara görə analizinə əlavə olaraq transformator yağlarının metallara görə element analizi götürülür. Əgər yağların həll olunmuş qazlara görə analizi hər hansı bir nasazlığın olmasından xəbər verirsə, onların element analizi onun yerini dəqiq müəyyənləşdirməyə kömək edir [5].

Yüksək enerji təkcə transformatorun izolyasiyasının korlanmasına deyil (yağ, kağız, taxta və s.), həmçinin yağda yaranan metal hissəciklərin əmələ gəlməsinə gətirib çıxarır ki, bunlar da əsasən yağın dövriyyəsi nəticəsində transformatorun hər tərəfinə yayılırlar. Temperaturun artması zamanı transformatorun bəzi detalları metal hissəcikləri əmələ gətirə bilərlər. Bu metal hissəcikləri ya ayrı-ayrılıqda, ya da müxtəlif birləşmələr şəklində ola bilər. Məhz bu metalların konsentrasiyalarını təyin etməklə nasazlığı yaradan səbəbləri müəyyənləşdirərək onları əvvəlcədən proqnozlaşdırmaq mümkündür [6].

Transformator yağlarında alüminium, mis, dəmir, qurğuşun, gümüş, qalay və sink kimi metallar aşkar oluna bilər. Transformator yağının metallara görə element analizi atom adsorbsiya (AA) və induktiv əlaqəli plazmalı (ICP) spektrometriya üsulları ilə aparmaq və onların konsentrasiyasını ppm, ppb dəqiqliyinə qədər ölçmək mümkündür. Ümumiyyətlə, yağlarda metalların miqdarını ölçmək üçün induktiv əlaqəli plazmalı kütlə spektrometrdən (ICP-MS) istifadə etmək daha məqsədəuyğun hesab olunur [7].

İƏP-KS yüksək göstəricilərinə görə müasir avadanlıqlardan əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Hal-hazırda İƏP-KS istehsalatda alovlu atom absorbsiya spektroskopiyasını (AAS) tədricən əvəz edərək qabaq-

cıl cihazlardan biri olmuşdur. İƏP-KS-in üstünlükləri içərisində aşağıdakıları sadalamaq olar [8]:
- kimyəvi elementlərin və izotopların ən aşağı təyinetmə sərhədə malik olması (nq/l səviyyələri və bəzən hətta pq/l);
- analiz olunan maddənin kiçik kütləyə malik olması;
- çox elementli analiz aparmaq imkanı;
- yüksək həssaslıq və ayırdetmə qabiliyyətinə malik olması və s. [9].

Bu məqalənin əsas məqsədi, transformator yağının parametrlərini ölçməklə onlar arasındakı qarşılıqlı əlaqəni aşkar etmək və bu parametrlərin hər birinin yağın keyfiyyətinə təsirini öyrənmək və həmçinin transformatorda olan nasazlığı qabaqcadan proqnozlaşdırmaq üçün yağların kütlə spektrometrik üsulla element analizinin aparılması və onların digər parametrlərdən asılılığını müəyyən etməkdir.

TƏCRÜBİ HİSSƏ

Transformator yağında metalların konsentrasiyasını ölçmək üçün tədqiqatlar ABŞ istehsalı olan Agilent Technologies 7700 induktiv əlaqəli plazmalı kütlə spektrometrində aparılmışdır. Kiçik həcmli qablarla təchiz edilmiş, temperaturu tənzimlənə bilən Speedwave Xpert mikrodalğalı sistemindən (Almaniya) istifadə etməklə nümunələr minerallaşdırılmışdır. Mikrodalğanın radiasiya gücü 2000 Vt-a (2×1000 Vt) qədər çatır. Müəyyən bir parçalanma proqramına malik olan, 2,45 GHz tezlikli iki davamlı tənzimlənən maqnetrondan ibarət olan şüalanma hesabına hərtərəfli və dəqiq isitmə əldə etmək mümkündür. Nümunələri dəqiq ölçmək və saxlamaq üçün həcmi 100-1000 µl və 1-10 ml olan Pipet4u və Eppendorf (Almaniya) dozatorlardan, birdəfəlik ucluqlardan və 15 və 50 ml həcmli polipropilen borulardan istifadə edilmişdir.

Nümunələrin minerallaşdırılılması və dərəcələnmiş məhlulların hazırlanması üçün 65% nitrat turşusu (HNO_3) və 30% peroksiddən (H_2O_2) istifadə edilmişdir. Bütün məhlullar deionsuzlaşmış su ilə (18.2 MΩ·sm) durulaşdırılmışdır. Cihazın düzgün kalibrlənməsi içməli suyun standart nümunəsi ilə tənzim olunmuşdur.

Xromatoqrafik üsulla yağda həll olunan qazların (H_2, CO, CO_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, C_2H_2, N_2, O_2) tərkibi müəyyən edilmişdir. Yağların tərkibini təyin etmək üçün quraşdırılmış alov ionlaşdırma (FID) və istilik keçiricilik detektorları (TPD) və katarometrə malik olan avtomatlaşdırılmış qaz xromatoqrafı KRISTALLUKS-4000M-dən istifadə olunmuşdur.

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

İşdə 20 yaxın transformator yağlarının kütlə spektrometrik üsulla element, həll olunmuş qazlara və yağın keyfiyyət parametrlərinə görə analizi aparılmışdır. Təcrübədə həmçinin yağların müxtəlif üsullarla alınan nəticələrin bir – birinə görə dəyişməsi də təyin edilmişdir.

Transformator yağında CO və CO_2 qazlarının əmələ gəlməsi kağız izolyasiyasının dağılmasından xəbər verir [10]. CH_4, C_2H_4 və C_2H_6 qazları mövcudluğu transformatorun həddən artıq yüklənməsini, C_2H_2 qazının olması isə transformatorda qığılcımın olduğunu göstərir ki, bu da transformatorda keçid kontaktlarının sıradan çıxması ilə əlaqədardır. Dielektrik yağlarında CH_4, C_2H_4, C_2H_6, CO_2 və CO qazlarının eyni vaxtda yaranması transformatorun kağız izolyasiyasının yanmasını və sıradan çıxmasını göstərir. Qeyd edək ki, əksər nasazlıq hallarında yağlarda əmələ gələn H_2 qazı əsasən qismi boşalmanın olmasından xəbər verir [11-12].

Bildiyimiz kimi yağlarda hər zaman oksigen olduğundan CO, CO_2 qazlarını yaranmasına səbəb olur ki, bu da öz növbəsində yağın turşuluğunu artırır. Transformatorda temperatur artdıqda, turşu komponenti su ilə hidroliz reaksiyasına girərək kağız izolyasiyasını parçalayır. Digər tərəfdən, ifrat istiləşmə zamanı kağız izolyasiyası yanaraq müxtəlif birləşmələr əmələ gətirir. Buna piroliz fenomeni deyilir. Hidroliz və piroliz hadisələrindən əmələ gələn məhsullar birləşərək furfurol komponentləri əmələ gətirir. Furfurol oksigen, turşu, CO və CO_2 qazlarından ibarət olur. Furfurolun turşu və oksigen komponentləri transformator yağının və kağız izolyasiyasının dağılmasına səbəb olur [13-16].

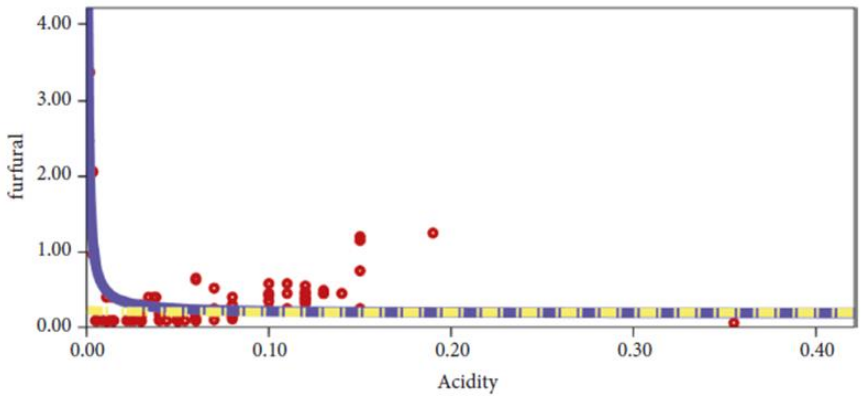
Şəkil 1-də transformatorun kağız izolyasiyasının dağılması nəticəsində əmələ gələn furfurol komponentinin turşuluq komponenti ilə tərs mütənasibliyi göstərilmişdir. Belə ki, transformator yağında turşuluğun 1 ppm artması furfurol komponentinin 0,569 ppm azalmasına səbəb olur.

Yağın oksidləşməsi transformator yağının turşuluğunun əmələ gəlməsinə gətirir. Hidroliz (su ilə parçalanma) və piroliz (termik parçalanma) hadisələri və oksigenin varlığı transformatorların kağız izolyasiyasının deqradasiyasına və bununla da furfurol komponentin əmələ gəlməsinə səbəb olur [17]. Şəkil 1-də turşu ilə furfurol komponentlər arasındakı tərs mütənasiblik aydın şəkildə göstərilmişdir. Furfurol komponentinin artması yağda turşuluğun azalmasına gətirib çıxarır.

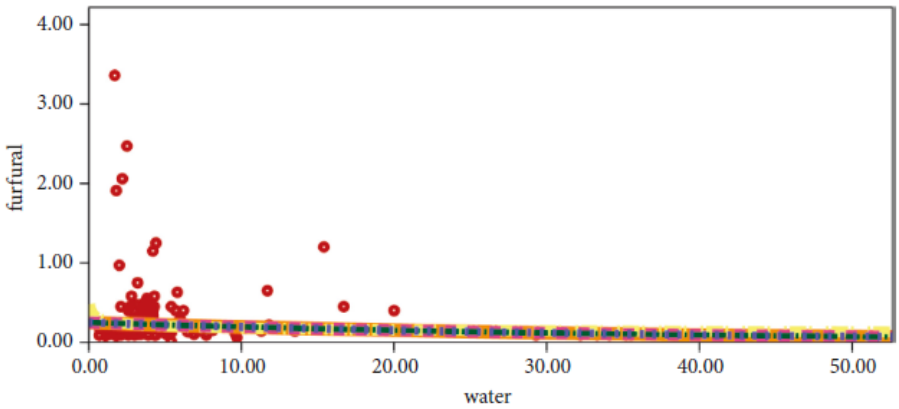
Şəkil 2-də, yağın tərkibində suyun miqdarından asılı olaraq furfurolun tərkibinin dəyişməsi göstərilmişdir. Transformator yağının tərkibində nəmliyin artmasına səbəb təkcə ətraf mühitin rütubətliyi deyil, həm də kağız izolyasiyasının hidrolizi, yəni suyun parçalanmasıdır [18]. Temperaturun yüksək qiymətində transformator yağının tərkibində olan su qabarcıqlara çevrilərək qismi boşalmanın yaranmasına və hidrogenin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Transformator yağında suyun miqdarı artdıqca yağın elektrik keçiriciliyi artır, lakin elektrik gərginliklərinə görə yağın dielektrik nüfuzluğu azalır.

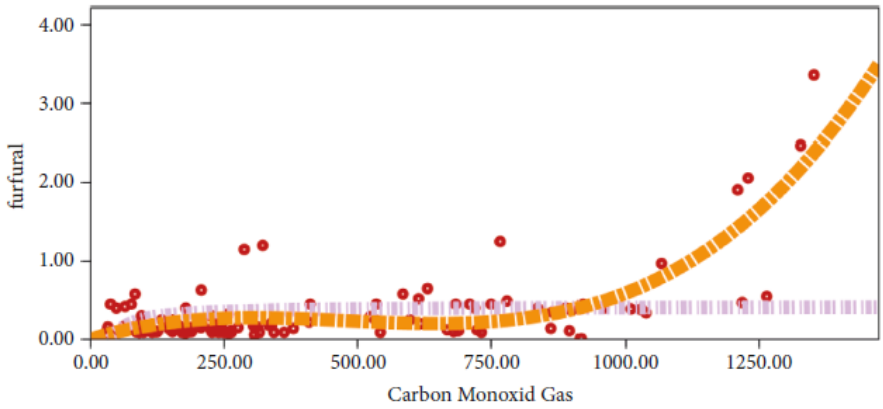
Transformator kağızının izolyasiyasının parçalanmasına səbəb olan qazlardan biri də dəm (CO) qazıdır. Bu qaz furfurol komponentinə ən çox təsir edən qazdır. Şəkil 3-ə əsasən, transformator yağında CO qazının miqdarı az olduqda furfurolun da miqdarının az olduğu müşahidə olunur. İstiliyin təsiri altında transformatorun kağız izolyasiyasının parçalanması və yağda karbon qazının miqdarının artması səbəbindən furfurolun tərkibi də artır. Transformatorun kağız izolyasiyasının polimerləşmə dərəcəsini və işlək müddətini müəyyən edən furfurol komponentləri əsas parametrlərdən biri sayılır.



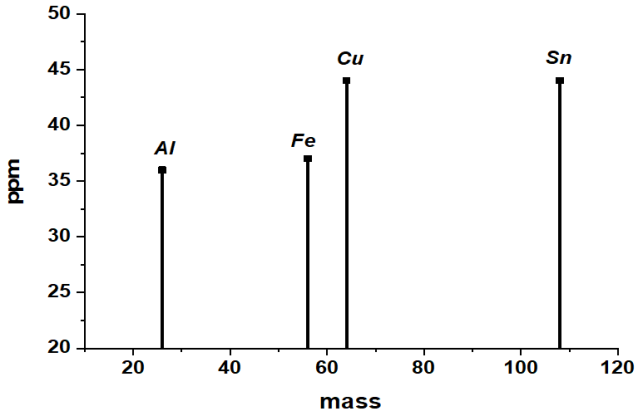
Şəkil 1. Transformator yağının turşuluğu və furfurol komponentləri arasındakı asılılıq.



Şəkil 2. Suyun miqdarından asılı olaraq furfurolun tərkibinin dəyişməsi.



Şəkil 3. Furfurolun dəm qazından asılılığı.



Şəkil 4. Transformator yağının induktiv əlaqəli kütlə spektrometri vasitəsi ilə element analizi.

Transformator yağlarının tərkibində olan metalların miqdarının limit səviyyəsinə malik olmamasına baxmayaraq, aparılan təcrübələr və toplanılan məlumatlar göstərir ki, yağlarda metalların analizinin olduqca vacibdir. Çünki, transformatorun nasazlığını ciddi problemə çevrilməzdən əvvəl, onu aşkar etmək çox vacibdir. Lakin təkcə metalların element analizi onun yağın vəziyyəti haqqında tam məlumat əldə etmək kifayət deyil, bunun üçün kompleks təcrübə aparmaq və alınan nəticələri bir-biri ilə müqayisə etmək lazımdır.

Şəkil 4-də transformator yağlarının kütlə spektrometrik analizi göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, bəzi nümunələrdə A, B, C, D qrupları ilə adlandırılan eyni miqdarda metalların konsentrasiyaları qeyd olunmuşdur. A qrupuna daxil olan 5-ə yaxın nümunənin analizi alüminiumun konsentrasiyası, B qrupuna daxil olan 10-yə yaxın nümunədən alınan nəticədə isə dəmirin konsentrasiyasının normadan artıq olduğu müşahidə olunmuşdur. C qrupuna daxil olan, təxminən 8 nümunədən alınan nəticələrdə misin konsentrasiyasının artımı, D qrupuna aid 30 nümunədə aparılan təcrübələrdə isə qalayın miqdarının icazə verilən konsentrasiyanın qiymətindən iki dəfə artıq olduğu müşahidə olunmuşdur.

Aparılan tədqiqatlardan belə nəticəyə gəlmək olar ki, transformator yağlarında çox miqdarda mis elementinin olması sarğılarda, eləcə də bürünc və ya misdən hazırlanmış hər hansı komponentlərdə problemlərin olduğu göstərir. Dəmirin əhəmiyyətli miqdarda çox olması transformatorun içliyinin və çəninin, alüminiumun konsentrasiyasının çox olması isə keramik qollarının nasazlığını göstərir. Yağda qalayın miqdarının çox olması isə ucluqların, boltların dağılmasını göstərir.

NƏTİCƏLƏR

Beləliklə, belə nəticəyə gəlmək olar ki, transformatorun işlək qabiliyyətini ən çox azaldan parametr, istinadların nəticələrinə əsasən yağın tərkibində olan suyun miqdarıdır. Furfurol komponenti turşuluq komponenti ilə tərs mütənasibdir, yəni yağın turşuluğu artdıqca furfurolun qiyməti azalmış olur. CO_2 və CO qazları transformatorun işlək vəziyyətinə ən çox təsir edən komponentlərdir. Transformator yağının tərkibində CO_2 və CO qazlarının olması onun kağız izolyasiyasının parçalanmasına gətirib çıxarır. Transformator yağlarının kütlə spektrometrik metodu ilə element analizinin üstünlüklərindən biri də onun tərkibindəki metalların təyin edilməsi ilə problemlərin dəqiq diaqnozunun verilməsidir.

[1] *W. Chen, Z. Gu, J. Zou, F. Wan and Y. Xiang*. "Analysis of furfural dissolved in transformer oil based on confocal laser Raman spectroscopy," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 23, no. 2, pp. 915–921, 2016.

[2] *A. M. Abd-Elhady, M. E. Ibrahim, T. A. Taha, and M. A. Izzularab*. "Effect of temperature on AC breakdown voltage of nanofilled transformer oil," IET Science Measure- ment and Technology, vol. 12, no. 1, pp. 138–144, þ 2018.

[3] *D. Peng, D. Yang, C. Wang and M. Li*. "The influence of transformer oil aging to dielectric dissipation factor and its insulating lifetime," in Proceedings of the Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, IEEE, Wuhan, China, 2009.

[4] *S. Forouhari and A. Abu-Siada*. "Remnant life estimation of power transformer based on IFT and acidity number of transformer oil," in Proceedings of the IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials, IEEE, Sydney, Australia, 2015.

[5] *I.G.N. Satriyadi Hernanda, A.C. Mulyana, D.A.Asfani, I.M.Y. Negara, and D.Fahmi*. Application of Health Index Method for Transformer Condition Assessment, IEEE, Piscataway, NJ, USA, 2014.

[6] *M. Augusta*. "Martins "Condition and risk assessment of power transformers: a general approach to calculate a Health Index"," Ciˆencia & Tecnologia dos Materiais, vol. 26, no. No. 1, pp. 9–16, 2014.

[7] *T.K. Nurubeyli*. The Effect of Plasma Density on the Degree of Suppression of Analyte Signals in ICP-MS. Technical Physics, –2020, v. 65, No. 12, –p. 1963–1968.

[8] *T.K. Nurubeyli, Kh.N. Ahmadova*. The role of the spectral matrix effect in the element analysis of biological fluids in ICP-MS. International Journal of Modern Physics B, Vol. 35, No. 05, 2150094 (2021)

[9] *T.K. Nurubeyli, Z.K. Nurubeyli, K.Z. Nuriyev*. Standardless analysis of solids by mass spectrometry with inductively coupled plasma. Technical Physics, –2017, v. 62, No.2, –p. 305-309.

[10] *A. Cigre*, "Condition assessment of power transformers," Technical Brochure CIGRE, vol. 49, 2019.

[11] *A. Azmi, J. Jasni, N. Azis and M. A. Kadir*. "Evolution of transformer health index in the form of mathematical equation," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 76, pp. 687–700, 2017.

[12] *J.I. Aizpurua, B.G. Stewart, S.D.J. McArthur, B. Lambert, J.G. Cross and V.M. Catterson*. "Improved power trans- former condition monitoring under uncertainty through soft computing and probabilistic health index," Applied Soft Computing, vol. 85, Article ID 105530, 2019.

[13] *H. Zeinoddini-Meymand and B. Vahidi*. "Health index cal- culation for power

transformers using technical and eco- nomical parameters," IET Science, Measurement and Technology, vol. 10, no. 7, pp. 823–830, 2016.

[14] *A.D. Ashkezari, H.Ma, T.K. Saha and C.Ekanayake*. "Application of fuzzy support vector machine for determining the health index of the insulation system of in-service power transformers," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 20, no. 3, pp. 965–973, 2013.

[15] *R. A. Prasojo, K. Diwyacitta and H. Suwarno*. "Gumilang transformer paper expected life estimation using ANFIS based on oil characteristics and dissolved gases (Case study: In- donesian transformers)," Energies, vol. 10, 2017.

[16] *F.R. Barbosa, O.M. Almeida, A.P.S. Braga, C.M. Tavares, M.A.B. Amora and F.A.P. Aragao*. "Artificial neural network application in estimation of dissolved gases in in- sulating mineral oil from physical-chemical datas for incipient fault diagnosis," in Proceedings of the IEEE 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Sys- tems, IEEE, Curitiba, Brazil, Nov 2009.

[17] *D. Rediansyah, R. A. Prasojo, and A. Abu-Siada*. "Artificial intelligence-based power transformer health index for han- dling data uncertainty," IEEE Access, vol. 9, pp. 150637–150648, 2021.

[18] *A. Cigre*. "Guidelines for life management techniques for power transformers", Technical Brochure, vol. 227, 2002.

T.K. Nurubeyli, A.N. Sultanly, N.Sh. Jafar, E.A. Abdullayeva

INTERACTION OF TRANSFORMER OIL PARAMETERS AND ITS ELEMENTARY ANALYSIS

Power transformers are one of the most responsible and expensive devices in power systems exposed to electrical, thermal, and chemical stresses. The purpose of this article as a new idea is to determine the relationships between the chemical parameters of transformer oil, dissolved gases and indicators obtained by a mass spectrometer with inductively coupled plasma. The inverse dependence between acidity and furfural components was determined. The relationship between gaseous C_2H_2 as a parameter that plays the largest role in the formation of an acidic component is established. It is found that a large amount of copper predicts problems in the windings, as well as in any components made of bronze or brass. The concentration of iron in significant quantities indicates problems with the core and tank of the transformer, and aluminum with ceramic bushings. Test data related to 120 transformers were also considered.

Т.К. Нурубейли, А.Н. Султанлы, Н.Ш. Джафар, Е.А. Абдуллаева

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА И ЕГО ЭЛЕМЕНТНЫМ АНАЛИЗОМ

Силовые трансформаторы являются одним из наиболее ответственных и дорогостоящих устройств в энергосистемах, подвергающихся воздействию электрических, тепловых и химических напряжений. Целью данной статьи как новой идеи является определение взаимосвязей между химическими параметрами трансформаторного масла, растворенными газами и показателями, полученными масс спектрометром с индуктивно связанной плазмой. Определено обратная зависимости между кислотностью и фурфурольными компонентами, Выявлено что, газообразное CO как параметр, играющей наибольшую роль в производстве фурфурольного компонента. Установлено взаимосвязь между газообразным C_2H_2 как параметр, играющего наибольшую роль в образовании кислотного компонента. Выявлено что большое количество меди прогнозирует о проблемах в обмотках, а также в любых компонентах из бронзы или латуни. Концентрация железо в значительных количествах показывает о неполадках сердечнике и баке трансформатора, а алюминий —керамических втулках. А также были рассмотрены данные испытаний, относящиеся к 120 трансформаторам.

ƏTRAF MÜHİTİN EKOLOJİ PROBLEMLƏRİ ÜZRƏ İCMAL

A.M. HƏŞİMOV[1], K.B. QURBANOV[1], H.C. HÜSEYNOV[1], L.Ç. SÜLEYMANOVA[2], Z.A. TAĞIYEVA[1], S.S. ƏHƏDOVA[1]

[1.] Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu Az-1143, Bakı, H.Cavid prospekti, 131.

tzenfira@mail.ru

[2.] Mingəçevir, Mingəçevir Dövlət Universiteti Az-4500, Dilarə Əliyeva küçəsi, 21.

suleymanovaLc@mail.ru

Ətraf mühitin mühafizəsi – atmosfer havasının, torpağın və suyun təbii tərkib hissəsinin qorunub saxlanılması insanların və digər canlı aləmin varlığını təmin etdiyi üçün, bu istiqamətdə yerinə yetirilən elmi-tədqiqat işləri və dünya dövlətləri tərəfindən qəbul olunmuş müvafiq qərarlar insan cəmiyyəti üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Məqalədə ətraf mühitin ekoloji problemləri üzrə əhatəli icmal təqdim olunmuşdur.

Açar sözləri: atmosfer, atmosfer, torpağ, su, ekologiya, texniki tərəqqi, təbiət və cəmiyyət, sənaye.
UOT: 631.95
PACS: 87.23.-n

1. Giriş

Təbiət və cəmiyyət bir tamın iki dialektik vəhdətdə olan ayrılmaz hissəsidir. Bu səbəbdən də, cəmiyyətlə təbiət arasında münasibətlərin iki tərəf üçün əlverişli təşkili irəliyə doğru inkişafın mühüm şərtidir. Bəşəriyyət tarixi boyunca cəmiyyət və təbiət arasında qarşılıqlı münasibət və təsir kortəbii surətdə davam etmişdir. Məhsuldar qüvvələrin inkişaf səviyyəsinin aşağı olduğu dövrlərdə insanın təbiəti dəyişdirmək üçün göstərdiyi fəaliyyəti yalnız ayrı-ayrı yerlərdə təbii mühitə əhəmiyyətsiz dərəcədə təsir edirdi. Təbii mühit insan fəaliyyətinin ləng gedən inkişafına uyğunlaşa bilirdi.

Hazırda cəmiyyət elmi-texniki inqilab əsrində yaşayır. Bu inqilab, bir tərəfdən insanın təbiətə təsir imkanlarını artırmış, təbiətdən asılılığını azaltmış, təbii ehtiyatların istifadəsini asanlaşdırmışdır. Digər tərəfdən isə ekoloji sistemdə mənfi iz buraxmış – hava, dəniz akvatoriyaları, şirin su hövzələri çirklənmiş, torpaq örtüyü və meşə ehtiyatları korlanmışdır. Bu proses bu və ya digər dərəcədə yenə də davam etməkdədir.

Sənayenin inkişafı və müxtəlif texniki sistemlərdən kütləvi surətdə istifadə edilməsi nəticəsində hazırda təbii mühitin fiziki-kimyəvi parametrlərində dəyişikliklər əmələ gəldiyi müşahidə olunur.

Yeni texnika və texnologiyaların səmərəliliyinə dair kompleks göstəricilərin mövcud olması, yalnız istehsaldan mənfəət götürmək mənafeyini üstün tutmaqdan çəkindirərdi. Texnika nəinki təkcə “bu gün” baxımından, həm də uzaq perspektiv baxımından əlverişli olmalıdır.

Texniki tərəqqi üzərində ciddi iqtisadi nəzarətin qoyulması texnikanın təbii proseslərə ziyanını azaltmaq, və ya tamamilə aradan götürmək üçün şərait yaradır. Ekoloji amilləri nəzərə almaqla yeni texnikanın kompleks qiymətləndirilməsi texniki tərəqqi qarşısında qoyulan tələbləri əvvəlcədən müəyyən edir. Texnikanın inkişafında həmin tələbləri getdikcə daha çox əks etdirən meyllər nəzərə çarpmaqdadır ki, bu da təbiidir. Texnikanın inkişafı bütövlükdə ictimai tələbatın artmasının təzahürüdür.

Texnikanın inkişafı, şübhəsiz, ekoloji problemlərin müvəffəqiyyətli həlli üçün yeni imkanlar açacaqdır. Hazırda texnikanın inkişafında özünü göstərən səmərəli meyl texniki tərəqqinin əsas perspektivini heç də tamamilə müəyyən edə bilməz. Müasir dövrdə texnikanın inkişafı elmin açdığı yeniliklərlə, böyük kəşflərlə şərtlənir. Elmin dəqiq proqnozunu vermək isə mümkün deyil. Burada, aydındır ki, texnikanın gələcək inkişafı cəmiyyət və təbiət arasında qarşılıqlı təsir və vəhdət prinsipinə əsaslanmalıdır.

Müasir sənayenin müxtəlif sahələrinin sürətli inkişafı, müəssisənin iqtisadi səmərəliliyini, ekoloji tələblərə uyğunluğunu, bazar iqtisadiyyatı şəraitində rəqabətdə dözümlüyünü ciddi şəkildə tələb edir. Qeyd olunan tələbləri təmin etmək üçün, müəssisə daima yeni texnoloji prosesləri tətbiq etməli və ümumiyyətlə fəaliyyətini elmi əsaslar üzrə təşkil etməlidir.

Ətraf mühitin mühafizəsi – atmosfer havasının, torpağın və suyun təbii tərkib hissəsinin qorunub saxlanılması insanların və digər canlı aləmin varlığını təmin etdiyi üçün, bu istiqamətdə yerinə yetirilən elmi-tədqiqat işləri və dünya dövlətləri tərəfindən qəbul olunmuş müvafiq qərarlar insan cəmiyyəti üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Ətraf mühitin mühafizəsi dünya miqyaslı problem olduğundan, 1983-cü ildə Birləşmiş Millətlər Təşkilatı ətraf mühitin mühafizəsi ilə bağlı olaraq beynəlxalq ekspertlər qrupu təşkil etmiş və 1985-ci ildə Vyana konvensiyasının müddəaları, 1987-ci ildə Monreal protokolu qəbul edilmiş və 1992-ci ildə Riode-Janeyroda ətraf mühitin ekoloji problemlərinə həsr olunmuş ilk konfrans keçirilmişdir [1]. Konfransda təbiətin mühafizəsinə dair beynəlxalq səviyyədə sənədlər qəbul olunmuş, eyni zamanda "XXI əsrin gündəliyi" adlı plan tərtib edilmişdir. Bu planda gələcək nəslin sağlamlığı naminə dövlətlərin iqtisadi inkişafı ilə yanaşı ətraf mühitin mühafizəsi strateji istiqamət kimi öz əksini tapmışdır. 1997-ci ildə isə Yaponiyanın Kioto şəhərində 2008-2012-ci illər ərzində atmosferə atılan "istixana" qazlarının azaldılmasının vacibliyi və azaldılma miqdarı barədə dövlətlərarası razılaşma qəbul edilmişdir. Bu razılaşma-

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

da, həmçinin dünya miqyasında, ətraf mühiti çirkləndirici istehsal sahəsi kimi energetika obyektlərinin istismarının məhdudlaşdırılması və müvafiq olaraq enerjidən istifadənin müəyyən qədər azaldılmasına da baxılmışdır.

Beynəlxalq ekspertlərin gəldiyi qənaətə əsasən, ətraf [2] mühitin təbii tərkibinə atılan, 1 ildə 25 milyard ton, əsas çirkləndiricilər aşağıdakılardır:

1. Kükürd oksidləri (SO_2 və SO_3) – 200 mln.ton;
2. Azot oksidləri (N_xO_y) – 1425 mln.ton;
3. Karbon oksidləri (CO və CO_2) – 20.725 mln.ton;
4. Metan və müxtəlif karbohidrogenlər – 1000 mln.ton;
5. Ftor və xlor tərkibli karbohidrogenlər – 300 mln.ton.

Yuxarıda qeyd olunan qazlar atmosferin yuxarı təbəqələrində toplaşaraq "istixana" effektinin yaranmasına və temperaturun qlobal yüksəlməsinə səbəb olur. Təbii balansın pozulması ilə əlaqədar olaraq, son 10 ildə dünyanın müxtəlif bölgələrində cəmiyyət insan tələfatı və genişmiqyaslı dağıntılarla müşayiət olunan fəsadlarla üzləşir.

Müəyyən edilmişdir ki, şəhər əhalisinin sağlamlığına zərər gətirən maddələr, əsasən, kimya, neftkimya, neft emalı, energetika, metallurgiya, tikinti, nəqliyyat və digər sənaye – emal sahələrinin tullantılarıdır.

Dünya üzrə okeanlar, dənizlər, çaylar, böyük və kiçik su hövzələri sənaye müəssisələri və kommunal təsərrüfatların tullantı suları ilə nəzərəçarpacaq dərəcədə çirklənmiş halda olurlar.

Neft istehsalı, neft emalı və nəqli prosesləri, metallurgiya, kənd təsərrüfatı məhsullarının yetişdirilməsi və digər xalq təsərrüfatı sahələrinin fəaliyyəti nəticəsində yerin torpaq səthi çirklənmiş olur, kifayət qədər geniş torpaq sahələri erroziyaya məruz qalır. Qeyd olunan proseslər torpağın və su hövzələrinin flora və faunasına öz mənfi təsirini göstərmiş olur.

Ekoloji problemlərin həllinin həyati vacibliyi, ciddiliyi, sənayeçilərin, dövlət strukturlarının, alimlərin, ölkə vətəndaşlarının ekoloji durumunun mühafizəsində səylərini birləşdirməyi tələb edir.

Hazırkı vaxtda alimlərin gəldiyi qənaətə görə atmosferin ozon qatının zəifləməsi, qlobal istiləşmə, turşu tərkibli yağıntılar və meşə zolaqlarının məhv olması müşahidə olunur. Bu hadisələrin sonrakı inkişafı bir çox faktordan asılıdır. Ən vacib faktor insanların kütləvi şəkildə ekologiya sahəsində biliklərə yiyələnməsidir, yalnız bu halda insanlar təbiətə və özlərinə mənfi təsir edən zərəri aradan qaldıra bilərlər. Belə ki, insanların ekologiya sahəsində müasir elmi biliklərlə kütlənin bilik səviyyəsi arasında təhlükəli şəkildə artan fərqin mövcudluğu ekoloji problemlərin həllində böyük maneələr törədir.

2. Texniki tərəqqinin ekoloji problemləri

V.Vernadskinin 1922-ci ildə [3-5] diqqətə çatdırdığı "biosfera elmi idrakın əsas sahəsidir" konsepsiyası dünya birliyi elmi cəmiyyəti tərəfindən vaxtında başa düşülmədi və cəmiyyətin fəaliyyət istiqamətindən kənarda qaldı. Bu konsepsiyadan vaxtında nəticə çıxarılsaydı dünya birliyi tərəfindən planetin ekologıyasına dair qlobal beynəlxalq proqramlar qəbul edilmiş olardı.

Dünya dövlətlərinin hərb siyasəti dünyəvi elmi cəmiyyəti milli mənafeyə xidmət edən planetin biosferasının mühafizəsi fikrindən uzaqlaşdıraraq, səyləri müharibə, mübarizə, müdafiə vasitələrinin hazırlanmasına doğru istiqamətləndirdi. XX əsrin ikinci yarısından etibarən inkişaf etmiş dünya dövlətləri, ilk növbədə böyük həcmdə nüvə silahı, reaktiv aviasiya və raket sənayesi üzrə milli tədqiqatları maliyyələşdirirdilər. Bu istiqamətlərin inkişafı yüksək enerjilərin, yüksək temperaturların, yüksək sürətli proseslərin reallaşmasını tələb etmişdir. Bunlar isə öz növbəsində böyük həcmdə enerji daşıyıcılarının istehsalını və emalını tələb edir. Sonuncu proseslər kiçik faydalı iş əmsalına malik köhnə texnologiyaların tətbiqilə əldə edildiyindən, əksər hallarda ekoloji baxımdan da təminatsız olmuşdur. O dövrdə termodinamika, fizika, qaz dinamikası, elektrotexnika elm sahələrində yüksək enerjili proseslərin, nüvə çevrilmələrinin, böyük raketlərin və hərbi təyyarələrin öyrənilməsinə, layihələndirilməsinə və hazırlanmasına daha çox fikir verilirdi. Bununla yanaşı, ekoloji konqreslərin etirazlarına, V.Vernadskinin konsepsiyasına və ayrı-ayrı alimlərin ətraf mühitin sağlamlığı ilə enerjı çirkləndiricilərinin miqyası arasında uyğunluq balansının saxlanılmasının vacibliyi çağırışlarına dünya ictimaiyyəti tərəfindən illər ərzində fikir verilməmişdir.

XX əsrin sonu XXI əsrin əvvəllərində bütün dünyada üzrə insanların üzləşdiyi təbii fəlakətlərin yaratdığı fəsadlar dünya ölkələrinin siyasi xadimlərinə bir daha xatırladır ki, hərb siyasətindən uzaqlaşıb və maliyyə resurslarının ekoloji təminatlı istehsalın, müasir texnologiyaların inkişaf etdirilməsinə sərf etmək bu günün tələbidir.

Yuxarıda qeyd olunan vəziyyətdən çıxış yolu bir sıra tədbirlərin həyata keçirilməsini tələb edir. Belə ki hər bir bölgədə mütəmadi olaraq atmosfer havasının monitorinqi keçirilməlidir və atmosferin çirklənməsinə səbəb olan istehsalat sahələrində yeni texnologiyalar tətbiq etməklə, beynəlxalq normalara müvafiq istehsal prosesləri təşkil edilməlidir.

Dünya ölkələrinin iri şəhərlərində istər sənaye, istərsə də maye-qazla işləyən çoxsaylı, müxtəliftipli avtonəqliyyat vasitələri və stasionar mühərriklər, məsələn, mazutla işləyən qazanxanalar, poladəritmə müəssisələri, istilik elektrik stansiyaları və ağır sənayenin digər istehsal sahələri tərəfindən atmosfer mühiti çoxlu miqdarda dəm qazı (CO), karbon (CO_2), kükürd və azot qazları (SO_x, NO_x), hidrogen-sulfid (H_2S), mikron ölçülü karbon hissəcikləri, qurum, his və digər toksik maddələrlə intensiv olaraq çirkləndirilir. Avtomobil nəqliyyatının rezin, yaxud sintetik təkərlərindən çıxan rezin tozunun tərkibində 100-dən artıq zəhərli kimyəvi maddə vardır. Bunlardan da insan orqanizmi üçün ən təhlükəlisi *N*-nitrozilamin hesab olunur. Rezin tozu canlı orqanizmlərin dərisində yaralar əmələ gətirir, astma xəstəliklərini şiddətləndirir və orqanizmdə şişlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Neft mədənləri, ağır sənaye müəssisələri, kimya sənayesi müəssisələrinin sıx yerləşdiyi ərazilərdə torpağın qurğuşun (Pb), sink (Zn), dəmir (Fe), alüminium (Al), sürmə (Sb), kadmium (Cd) və digər metallarla çirklənməsi müşahidə olunur. Superfosfat müəssisələrinin istehsalı ətraf mühitin civə (Hg) maddəsi ilə çirklənməsinə səbəb olur. Uçucu komponent olan Hg daha geniş əraziyə yayıla bilir. Qeyd etmək lazımdır ki, Pb – canlı orqanizmlərdə yaddaşın zəiflənməsinə və mədəbağırsaq xəstəliklərinə, Sb – ciyərlərdə sarkoma, alü-

minium az miqdarda qana keçdikdə şizofreniya və digər psixi xəstəliklərə səbəb olur. Cd – sümükləri kövrək hala salır, insanı iflic xəstəliyinə düçar edir.

Plastik maddələri ekstruziya və tökmə üsulu ilə emal edən istehsalat sahələri ətraf mühiti zərərli kimyəvi maddələrlə – formaldehid, asetaldehid, alifatik karbohidrogenlər (C_1-C_5), sirkə turşusu, nitrilakril turşusu, stirol və xlorlu vinil, dəm qazı və etilen oksidi ilə çirkləndirir.

Kimya və neft – kimya sənaye sahələrinin sıx yerləşdiyi ərazilərdə kaustik soda, dəmir və mis kuporosu, sulfat turşusu, nitrat və xlorid turşusu, ammonyak, zəy boyalar sənaye sahələrinin tullantıları, adətən ərazidə gölməçələr, bataqlıqlar və nəmli buxarlanma sahələri əmələ gətirir ki, bu da öz növbəsində ətraf mühitin, su hövzələrinin, torpaq sahələrinin neft məhsulları, qalvanik istehsalat tullantıları, ağır metallar, üzvi birləşmələr və s. zərərli maddələrlə çirklənməsinə səbəb olur. İstehsalat sahələrindən gün ərzində zəhərli kimyəvi maddələr, xüsusilə sulfat, sulfit, xrom – sulfat, fenol və başqa kükürdlü birləşmələr təbii su hövzələrinə axıdılır. Qiymətli əlvan metal olan xrom metallurgiya sənayesində geniş istifadə olunur. Toxuculuq, gön-dəri, mahud parça kombinatlarında işlədilir. Xrom birləşmələri ilə zəngin sənaye tullantılarının təbii su hövzələrinə atılması ilə bir tərəfdən qiymətli xrom birləşmələri itirilir, digər tərəfdən axıdılan çirkab sular təbii su hövzələrini yararsız hala salır. Təbii su hövzələrinə atılan tullantı maddələrdən biri də fenoldur. Fenolun su hövzələrində miqdarı 1 m^3 suyun tərkibində 1 mq-dan artıq olduqda su hövzəsindəki canlı orqanizmlər üçün təhlükə yaranmış olur.

Ətraf mühitin mühafizəsi və təbii sərvətlərdən səmərəli istifadə etməyin həllini düzgün istiqamətləndirmək üçün aşağıdakı proseslər hərtərəfli təhlil olunmalıdır:

– ətraf mühitin və təbii sərvətlərin mövcud vəziyyəti və bu vəziyyətin zamanla dəyişmə dinamikası;

– ətraf mühitin vəziyyətinə təsir edən amillər;

– ətraf mühitin və təbii sərvətlərin vəziyyətində gözlənilən dəyişikliklərin proqnozlaşdırılması;

– təsərrüfat fəaliyyəti və təbii faktorların təsiri nəticəsində ətraf mühitin və təbii sərvətlərin yaranmış vəziyyətinin kəmiyyət və keyfiyyət göstəriciləri üzrə qiymətləndirilməsi;

– sənaye, energetika, kənd təsərrüfatı, nəqliyyat, kommunal təsərrüfatı sahələrinin ətraf mühitə təsir göstərə bilən struktur dəyişiklikləri və istehsal həcmi haqqında müvafiq məlumatlar;

– yaşayış məntəqələrinin atmosfer havasının keyfiyyəti, iqlim dəyişmələri, yerüstü suların vəziyyəti, yeraltı suların vəziyyəti, torpaqların çirklənməsi və deqradasiyası, meşələrin və bitki örtüyünün vəziyyəti, heyvanat aləminin vəziyyəti, ətraf mühitin sanitar-epidemioloji vəziyyəti və insan səhhəti, antropogen faktorların ətraf mühitə təsiri.

Dövrün mühüm ekoloji məsələsi – ətraf mühitin irimiqyaslı çirklənməsi ilə (təbii yanacaqların sərfiyyatı ilə bağlı karbon qazının ərtaf mühitə verilməsi, sənaye müəssisələrinin tullantıları ilə su hövzələrinin və torpağın çirklənməsi) mübarızə aparmaqdır: qlobal ekosistemlərin pozulması ekoloji fəsadların meydana çıxmasına şərait yaradır [6-7, 9-11].

Hazırda təbii mühitdə proseslərin qlobal dəyişiklikləri, o cümlədən iqlimin dəyişməsi, atmosferin qaz tərkibinin pozulması, turşu tərkibli yağışların mövcudluğu, ozon təbəqəsinin zəifləməsi, təbiətdə maddələr dövranının pozulması, kütləvi şəkildə meşələrin qırılması və yanması, torpaqların münbitliyinin azalması və eroziyanın güclənməsi, səhralaşmanın genişlənməsi, planetin genofondunun azalması, təbii fəlakətlərin artması müşahidə olunur. Həyatı təmin edən təbii sistemlərin deqradasiyası reallaşır.

Atmosfer dünya okeanlarını və qurunu birləşdirərək ekosistemlər arasında qarşılıqlı əlaqə yaradır. Atmosfer ekologiyasının əsas məsələləri iri sənaye müəssisələrində müasir texnologiyaların tətbiqinə və sənaye tullantılarının zərərsizləşdirilməsinə nail olmaqdır.

Hidrosfer bütün su hövzələri, onların ekosistemləri arasında qarşılıqlı əlaqəni həyata keçirir və maddələr mübadiləsi prosesində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Sənaye tullantılarının su hövzələrinə axıtma normativlərinə müvafiqliyinin təmin edilməsi, sutəmizləyici qurğularının inşa edilməsi, kənd təsərrüfatı işlərinin təbiəti mühafizə qaydalarını nəzərə alaraq yerinə yetirilməsi hidrosfer ekologiyasının mühüm məsələsidir.

Litosferin bütün mərhələlərində fəaliyyət göstərən ekosistemlər vahid biokimyəvi dövriyyədə iştirak edirlər. Sənaye və radioaktiv tullantıların zərərsizləşdirilməsi litosferin mühüm məsələsi hesab olunur.

Biosfer bütün ekoloji sistemlərlə və bioloji proseslərlə qarşılıqlı təmasdadır. Ekoloji təhlükəsizlik konsepsiyasını həyata keçirərkən bütöv bir biosfer yanaşması tətbiq olunmalıdır. Cəmiyyətin ətraf mühitə etdiyi hər bir mənfi təsir elmi əsaslarla məhdudlaşdırılmalıdır.

3. Energetika sistemlərinin ekoloji məsələləri

Məlumdur ki, [1] istiliyin əsas mənbəyi yanacaqlardır. İstilik elektrik stansiyalarının üzvi yanacaqları mürəkkəb üzvi birləşmələr olub, maye və qaz halında olur. Üzvi yanacaqların yanan tərkibləri karbondan (C), hidrogendən (H) üzvi birləşmə şəklində olan kükürddən ($S_{üzv}$), kolçedan şəklində olan kükürddən (S_{kol}), oksigendən (O_2) və azotdan (N) ibarətdir. Bunlar yanacağın tərkibində mürəkkəb birləşmələr şəklində olur. Göstərilən elementlərdən başqa üzvi yanacaqların işçi tərkibində kül və nəmlik də olur.

Üzvi yanacaqların yanması zamanı yanan elementlər (C, H və S) ilə havanın oksigeni arasında ekzotermik oksidləşmə reaksiyaları baş verir və tam yanma prosesindən sonra CO_2, SO_2, SO_3 qazları və su buxarı (H_2O) alınır.

Karbon ilə hidrogen yanacağın ən qiymətli tərkibi sayılır, oksigen və azot isə yanacağın daxili ballastı sayılmaqla, yanan elementlərin faizini azaltmış olur. Bu da yanacağın dəyərini aşağa salır. Yanan kükürd bərk və maye yanacağın tərkibində üzvi və kolçedan birləşmələri şəklində olur. Yanacaqda kükürdün olması onun keyfiyyətini aşağı salır. Yanma prosesindən sonra əmələ gələn kükürd oksidi (SO_3) yanma məhsulunun tərkibində olan su buxarı ilə birləşərək H_2SO_4 buxarına çevrilir və kondensatlaşdıqda qaz yolunda olan metal səthləri korroziyaya uğradır. Yanma prosesində əmələ gələn SO_2 qazı isə çox zəhərli birləşmələrdən biri sayılır.

İstilik energetikasında maye yanacaq kimi neftin emal qalığı olan mazutdan ehtiyat yanacaq kimi istifadə edilir. Energetika sənayesində M-40, M-100 və M-200 markalı mazutdan istifadə edilir. Yanma istiliyinə görə mazut yanacaqları bütün üzvi yanacaqlardan üstündür. Lakin qaz yanacaqları bir çox üstün cəhətlərinə görə onlardan əlverişlidir. Mazut yanacaqlarının tərkibində parafin 1% və daha çox kükürd ola bilir. Bunlar da mazutun əsas keyfiyyət göstəricilərinə mənfi təsir göstərir. Belə yanacaqların yandırılması bəzi əlavə hazırlıq işlərinin görülməsini tələb edir.

Mazut yanacaqlarından istifadə edəndə su mənbələrinin və atmosferin çirklənməsi ehtimalı daha çox olur. Mazutla işləyən qazanlarda tüstü qazlarının şeh nöqtəsinin temperaturu nisbətən yüksək olduğundan çıxan qazlarda itən istilik çox olur.

Təbii yanacaqlar bütün göstəricil ərinə görə başqa üzvi yanacaqlardan fərqlənir. Qaz yanacaqları yanarkən kükürd və kül alınmadığından onların istilik elektrik stansiyalarında yanacaq kimi işlənilməsi çox əlverişlidir. Qaz yanacaqları ilə işləyən energetik qurğuların atmosferə və ekologiyaya çirkləndirici təsiri az olur, həm də hava hövzəsinin mühafizəsi və insanların sağlamlığının qorunmasının təmin edilməsi asanlaşır.

Yanacağın tam yanması prosesindən sonra tüstü qazlarının tərkibi CO_2, H_2O, SO_2, SO_3, N_2 qazları və kül məhsullarından ibarət olur. Bu qazlardan ən zəhərlisi SO_2 və SO_3 qazları bir də qazlarla aparılan kül hissəcikləri sayılır. Bundan başqa ocaqda məşəlin nüvəsində temperaturun çox yüksək olması, molekul halında olan azotun və oksigenin parçalanaraq atom halına keçməsi və NO qazının yaranmasına səbəb olur. Azot 2-oksidin (NO_2) əmələ gəlməsi isə adətən, tüstü qazlarının atmosferə atıldığı zaman baş verir. Demək, tüstü qazlarının qaz yolundakı hərəkət sürəti nisbətən yüksək olduğundan NO qazının oksidləşməsi və NO_2 qazına çevrilməsi prosesi gedə bilmir.

Tüstü qazları atmosferə yayılan zaman NO qazının oksidləşməsi nəticəsində cox zəhərli NO_2 qazı əmələ gəlir. Üzvi yanacaqlar natamam yanan zaman çoxlu miqdarda dəm qazı (CO), metan (CH_4) və etilen (C_2H_4) qazları da əmələ gəlir. Onlar insan orqanizminə düşdükdə qana daha tez sorulur və zəhərləyici təsir göstərir. Müasir istilik elektrik stansiyalarının texniki səviyyəsi natamam yanma prosesinin minimuma endirilməsinə imkan verir.

Təcrübə göstərir ki, atmosferin zəhərli qazlarla çirklənməsi ən çox İES-lər və daxili yanma mühərrikli nəqliyyat vasitələri tərəfindən baş verir. Bu nəqliyyat vasitələrində yanacağın yanma prosesi zamanı yaranan qazlarda natamam yanma məhsulları daha çox olur. Ona görə də mərkəzi şəhərlərdə və əhalisi sıx olan rayonlarda atmosferin tüstü qazlarından qorunması həll olunmamış bir problem kimi qalır.

Araşdırmalar göstərir ki, yanma prosesindən sonra ətraf mühitə düşən zəhərləyici birləşmələrin bir hissəsi işçi yanacağın tərkibində olur. Qalan hissəsi isə yanma prosesi zamanı qarşılıqlı kimyəvi təsir nəticəsində əmələ gəlir. Uçan kül hissəcikləri və tüstü qazları ilə aparılan zəhərləyici maddələr işçi yanacağın növündən asılı olaraq dəyişə bilər. Bərk yanacaqların əksəriyyəti germanium, civə, vanadium, arsen və flüor birləşmələri ilə zəngin olur. Yanma prosesindən sonra bu birləşmələr metal oksidi şəklində külün və tüstü qazlarının tərkibində ətraf mühitə yayılır. Mazut yanacağı yandırılan zaman natrium və vanadium birləşmələri əmələ gələrək uçan kül hissəcikləri və tüstü qazları ilə birlikdə ətraf mühitə, yaxud da konvektiv qızdırıcı səthlər yuyulanda su hövzələrinə yayıla bilər.

İES və AES-n ətraf mühitə təsiri, əsasən, üç istiqamətdə ola bilər: 1) tüstü qazlarının atmosferə atılması; 2) yanma prosesi zamanı və soyuducu qurğulardan xarici mühitə itən və atılan istilik; 3) külatma qurğularından, yanacaq təsərrüfatından, su emalı qurğularından və s. atılan çirkab suları ilə.

Müasir kültutucu qurğuların tətbiqi nəticəsində tüstü qazları ilə atmosferə aparılan uçan kül hissəciklərinin ətraf mühitə düşməsinin praktiki olaraq tam qarşısı alınmışdır. Lakin külatma qurğularından su hövzələrinə düşən külün qarşısının alınması hələ də tam həll edilməmişdir.

Tüstü qazları hava hövzəsinə atılan zaman özləri ilə çoxlu miqdarda zəhərləyici maddələr aparırlar. Bunlar biosferaya keçməklə bütün canlı orqanizmlərin həyat fəaliyyətinə zəhərləyici təsir göstərir. Akademik V.İ.Vernadskinin verdiyi tərifə görə Yer kürəsinin həyat mövcud olan bütün sahəsinə biosfera deyilir. Yer səthi və ona birləşmiş atmosfer təbəqəsi, suyun yuxarı səthləri və s. – bunlar hamısı biosferanı təşkil edir. Ona görə də, onu mühafizə etmək vacib problemdir.

Məlumdur ki, atmosferin və təbiətin çirklənməsi təkcə İES-lər tərəfindən yox, həm də başqa sənaye müəssisələri və mühərrikli nəqliyyat vasitələri tərəfindən də baş verir. Demək, insan fəaliyyəti ilə əlaqədar olan bütün texniki sahələr ətraf mühitin çirklənməsinə səbəb olan mənbələrdir.

Hava və su hövzələrinin mühafizəsini düzgün təşkil etmək üçün hansı sənaye sahələrində daha çox yanacaq yandırılması və daha çox zəhərləyici maddələrin olması düzgün öyrənilməlidir. Sənaye müəssisələrində atmosferə atılan zərərli maddələrin miqdarının dəyişməsinə əsas səbəb sənaye istehsalının sürətli inkişafı və tullantıların azaldılması üçün tətbiq edilən yeni metodlardır. Avtomobil istehsalının sürətlə artması atmosfer havasının işlənmiş qazlarla çirklənməsini daha da sürətləndirir. Bununla əlaqədar olaraq, son zamanlar avtomobil sənayesində, atmosferin mühafizəsi məqsədilə bir neçə tədbir (məsələn, maye yanacaq əvəzinə qaz yanacaqlarından istifadə edilməsi, mühərriki yanacaqla təmin edən mexanizimlərin təkmilləşdirilməsi və s.) görülmüşdür.

İES tullantılarının ətraf mühitə təsirinə iki nöqteyi-nəzərdən, yəni zəhərləyici maddələrin yalnız stansiyaətrafı mühitə və eləcə də biosferaya ümumi təsiri kimi baxmaq və səciyyələndirmək olar. İri İES-lərin qurulması ilə yanaşı uca tüstü boruları da tikilir. Ancaq təcrübə göstərir ki, uca tüstü boruları, qurulduğu yerdən 25-50 km diametr boyunca sahədə yerləşən rayonların çirklənmə təhlükəsizliyi təmin oluna bilmir. Demək, tüstü qazları bitki, insan və heyvanat aləminə zəhərləyici, tikinti konstruksiyalarına, binalara və qurğulara dağıdıcı təsir göstərir.

Adətən, bitkilər SO_2 qazının zəhərləyici təsirinə daha çox məruz qalırlar. Bu qazın zəhərləyici təsiri bitki yarpaqlarında xlorofil maddəsinin parçalanması nəticəsində yarpaqların zədələnməsi ilə müəyyən edilir. Yarpaqlarını tökən bitkilərə SO_2 qazının təsiri az olur.

Ancaq həmişəyaşıl bitkilər üçün, o cümlədən iynəyarpaqlı ağaclar üçün SO_2 qazının zəhərləyici təsiri daha çoxdur.

Atmosfer havasında olan SO_2 qazının zəhərləyici təsirini öyrənmək üçün iynəyarpaqlı ağaclar üzərində tədqiqatlar aparılmış və öyrənilmişdir ki, havada olan SO_2 qazının 0,32 mq/m^3-ə qədər qiymətində əvvəlcə yarpaqlarda fotosintez prosesi və sonra tənəffüs pozulur. Nəticədə 2-3 il müddətində ağac tam qurumuş olur. Atmosferdə olan SO_2 qazının 0,08-0,23 q/m^3 qiymətində küknar ağacında fotosintezin intensivliyi azalır, hava alması isə davam edir. Bu da bitkinin tədricən quruması və məhv olması ilə nəticələnir. SO_2 qazının 0,5 q/m^3 qiymətindən yuxarı olan konsentrasiyalarında yarpaqlı bitkilərdə assimilyasıya prosesinin pozulması müşahidə olunur. İnsan üçün SO_2 qazının zəhərləyici təsiri 4-8 q/m^3 qiymətlərində ola bilir. Ümumiyyətlə, insana təsir edən zəhərləyici maddələr içərisində SO_2 qazının və atmosferdə asılı şəkildə olan hissəciklərin təsir dərəcələri nisbətən yaxşı öyrənilmişdir.

Çirklənmiş atmosferin insana olan mənfi təsiri zəhərləyici dumanın olması zamanı müşahidə edilir. Zəhərləyici duman atmosferin çox çirklənməsi və pis meteoroloji şəraitin yaranması zamanı ola bilir. Zəhərləyici dumanın SO_2 qazının konsentrasiyasının birdən-birə artması ilə insana təsiri daha çox olur.

Atmosferdə olan zəhərləyici maddələrin insana təsiri bir çox xəstəliklərin yaranması və inkişafı ilə də müşahidə olunur. Çirklənmiş atmosfer havasının təsirindən bir çox xroniki spesifik xəstəliklər əmələ gəlir. Məsələn, aterosklerozu və bununla əlaqədar olan ürək xəstəliklərini, nəfəs yollarının xroniki xəstələnməsini, xroniki astmanı, emfizemanı və s. xəstəlikləri görsətmək olar. Bu sahədə aparılan tədqiqatlar göstərmişdir ki, kənd əhalisinə nisbətən xəstəliklərin şəhər əhalisi arasında çox yayılması ilk növbədə atmosferin çirklənməsi və əhalinin sıx olması ilə izah edilir.

Tüstü qazları ilə atmosferə atılan zəhərləyici qazlardan biri də NO_2 qazıdır.

Azot oksidi NO və azot dioksidi NO_2 şəhər atmosfer havasının əsas çirkləndiriciləridir. Bu qazların şəhər atmosferində yayılmasına əsas səbəb avtonəqliyyat və energetika müəssisələrinin istismarıdır. Bu qazlar ozon qazının fotokimyəvi çevrilmələrinə səbəb olur.

$$NO_2 \xrightarrow{h\nu} NO + O \qquad (1)$$

$$O + O_2 + N \rightarrow O_3 + N \qquad (2)$$

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 \qquad (3)$$

Şəhərin sənaye rayonlarında NO, NO_2 və O_3 qazlarının konsentrasiyaları üzrə ölçmələr göstərir ki, yuxarıda göstərilən reaksiyalarda tarazlıq dayanıqsız ola bilər. Buna səbəb atmosferdə digər qazların olması meteoroloji faktorlar və ümumiyyətlə nəzərə alınması çətin olan, ədəbiyyatda verilmiş digər nəticələrdən olan faktorlardır. Buna baxmayaraq ədəbiyyatda verilmiş nəticələrdən məlum olur ki, NO_2 və O_3 qazlarının konsentrasiyalarının dəyişməsi avtonəqliyyat və istilik elektrik stansiyalarının istismar rejiminin qrafiki ilə sıx əlaqədardır. Qeyd olunan reaksiyalardan məlum olur ki, O_3 qazı NO qazının əsas oksidləşdiricisidir. Odur ki, gün ərzində avtonəqliyyatın intensiv istismarı saatlarında və istilik elektrik stansiyalarının maksimal güclə istismar edilən vaxtlarında O_3 qazının NO qazının oksidləşdirilməsinə sərfiyyatı çoxalır; atmosferdə O_3 qazının konsentrasiyası azalır, NO_2 qazının konsentrasiyası isə artır. Yuxarıda qeyd olunan (3) reaksiyasından məlum olur ki, NO_2 molekulunun sayı oksidləşmə prosesinə sərf olunan O_3 molekulunun sayı qədər artır. Digər mənbədə qeyd olunur ki, bəzi hallarda bu tarazlıq ödənilmir. Bu halı onunla izah edirlər ki, atmosferdə CO, CH_4 və digər karbohidrogenlərin mövcudluğu oksidləşmə prosesində iştirak edərək qeyd olunan tarazlığın pozulmasına səbəb olur. Karbon oksidinin iştirak mexanizmi aşağıdakı reaksiyalarla ifadə olunur:

$$CO + OH \xrightarrow{O_2} CO_2 + HO_2 \qquad (4)$$

$$HO_2 + NO \rightarrow OH + NO_2 \qquad (5)$$

Reaksiyadan görünür ki, bu halda azot oksidi HO_2 molekulu vasitəsilə oksidləşməyə uğrayır.

Karbon-dioksid və ozon qazının gün ərzində dəyişməsinin qanunauyğunluğu ədəbiyyatda böyük ehtimalla izah edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, atmosfer havasının küləkli günlərində şəhər daxilində NO_2 və O_3 qazlarının konsentrasiyasının ölçülməsindən alınan nəticə təqribən şəhərdən kənar, avtomagistral boyu ölçmələrdən alınan nəticə ilə eynilik təşkil edir ki, bu da küləyin şəhər atmosfer havasını təmizləməsi ilə izah olunur. Yuxarıda qeyd olunduğu kimi şəhər atmosferində əmələ gələn NO_2 qazı NO qazının O_3 qazı ilə oksidləşməsi nəticəsində baş verdiyindən atmosferdə ozon qazının miqdarı azalır, bu prosesin baş verməsi ozon qatının zəifləməsinə gətirərək, həlli tələb olunan ekoloji problemlə nəticələnir.

Əvvəllər NO_2 qazının zəhərləyici təsiri məlum olmadığından onun atmosferdə yayılması üçün buraxılan norma qiyməti verilməmişdir. Lakin NO_2 qazının zəhərləyici təsiri məlum olduqdan sonra 1966-cı ildə keçmiş ittifaqın Səhiyyə Nazirliyinin Baş sanitar epidemioloji idarəsi tərəfindən norma qiyməti təyin edilmişdir.

Müxtəlif ölkələrdə aparılan tədqiqatlar nəticəsində öyrənilmişdir ki, NO_2 qazı ilə çirklənmiş rayonlarda insanın tənəffüs orqanları öz funksiyasını itirir, respirator xəstəlikləri artır, qanın tərkibində hemoqlobinin dəyişməsi, yəni methemoqlobinlərin artması baş verir.

Azot oksidi təbii şüalanmanı udaraq atmosferin şəffaflığını pozur və fotokimyəvi tutqunluq yaradır. O, görmə orqanlarına pis təsir edir və açıq avadanlıqları korroziyaya uğradaraq dağıdır.

Hazırda atmosferin çirklənməsinin qarşısını almaq üçün iki üsuldan istifadə edilməsi nəzərdə tutulmuşdur: 1) ən yaxşı praktiki nəticə vermiş tədbirlərin tətbiq edilməsi üsulu. Burada atmosferin çirklənmə dərəcəsindən asılı olmayaraq, əhalinin sıx yaşayan rayonlarda müasir texnikanın və texnoloji proseslərin tətbiqi yolu ilə ətraf mühitin çirklənmədən mühafizəsinin təşkili; 2) atmosfer havasının keyfiyyətinin idarə olunması yolu. Burada atmosferin çirklənmədən qorunması və onun üzərində nəzarət aparılması məqsədilə havanın keyfiyyətinin standart normalara uyğun hala gətirilməsi.

Havanın keyfiyyət standartı hava hövzəsi çirklənmiş rayonlarda atmosferin təmizlənməsinin səmərəli aparılmasına geniş imkan yaradır.

Ümumiyyətlə, qeyd etmək lazımdır ki, sənaye sahələrinin müxtəlifliyi səbəbindən atmosfer havasında çoxsaylı atom və molekulların olması əksər hallarda alınan nəticələrin stabilliyinə zəmanət vermir və zaman, məkan, meteoroloji və digər faktorlar nəzərə alınaraq atmosfer havası müntəzəm olaraq tədqiqat obyekti olaraq nəzarətdə saxlanılmalıdır. Yer səthi yaxınlığında karbon-dioksid və ozon qazının konsentrasiyalarının ölçülməsində spektral-optik üsula üstünlük verilərək, tədqiqatların nəticələrinin birqiymətliliyini təmin etmək məqsədilə, ölçmələrin şəhərin daxilindən kənarda avtomagistral boyu müəyyən davamiyyətli məsafələrdə ölçülməsi qərara alınmışdır. Müəlliflər NO qazının O_3 qazı vasitəsilə oksidləşməsində NO_2 və O_3 qazlarının konsentrasiyalarının nisbətinin sinxron dəyişməsini araşdıraraq, bu prosesə təsir edən faktorları, o cümlədən günün müəyyən vaxtlarının təsirlərinin müəyyən edilməsinə çalışmışlar.

Atmosferdə O_3 və NO_2-nin konsentrasiyası yolboyu 400 m məsafədə, yer səthindən 5 m hündürlükdə "Opsis" markalı qaz analizatoru cihazı ilə ölçülmüşdür. Cihazın NO_2 qazı üzrə ölçmə dəqiqliyi – 0,25 ppm, O_3 qazı üzrə isə - 0,5 ppm təşkil etmişdir. Ölçmələr 1 ay müddətində 5 dəqiqə fasilələrlə yerinə yetirilmişdir. Bəzi hallarda texniki səbəblərdən ölçmələrdə fasilələr yaranmışdır. Nəticələr 10, 20, 30 günlük ölçmələrdən alınmış nəticələrin orta qiyməti ilə müəyyən edilmişdir.

Ölçmələrin orta qiymətlərindən alınmış nəticələr aşağıdakı cədvəl 1-də verilmişdir:

Cədvəldən göründüyü kimi, vaxtından asılı olaraq tədqiq edilən qazın birinin artması, digər qazın müvafiq azalmasına səbəb olur. Qeyd olunan asılılıq günün müəyyən zaman intervalında ödənilir, digər vaxtlar isə zəif ödənilir.

Cədvəl 1.

NO_2 və O_3 qazlarının gün ərzində konsentrasiyalarının dəyişməsi

Günün saatları	NO_2 qazının konsentrasiyası, *ppm*	O_3 qazının konsentrasiyası, ppm
4	15	8
8	10	11
12	7	30
16	22	7
20	27	6
24	5	33

Bəzi xarici ölkələrdə olduğu kimi, bizim ölkəmizdə də sanitar qanunvericiliyində atmosferə atılan zərərli maddələrin ümumi tərkibi üçün mütləq sərhəd qoyulmamışdır, həm də yer səthindən 1,5 m hündürlükdə olan atmosfer qatı üçün (nəfəsalma səviyyəsi üçün) bütün zərərli maddələrin reqlamenti verilmişdir. Məsələn, SO_2 qazı üçün iki buraxılabilən konsentrasiya həddi (BBKH) norması verilmişdir: maksimum birdəfəlik norma (burada, ölçmə zamanı hava nümunəsinin götürülməsi 20 dəqiqə müddətinə davam edir) və orta sutkalıq norma (burada, nümunənin götürülməsi 24 saat müddətində fasiləsiz və ya fasiləli aparılır).

ABŞ-da atmosfer havasına iki kateqoriyada baxılır:

1-ci kateqoriya insan sağlamlığının mühafizəsi baxımından, 2-ci kateqoriya isə maddi dəyərin mühafizəsi baxımından. Zəhərləyici maddələrin atmosferdə konsentrasiyasının BBKH-dən az olması üçün hündür tüstü borularından istifadə edilir. Atmosferə atılan SO_2 qazının məhdudlaşdırılması üçün isə ya azkükürdlü yanacaqlardan istifadə edilir və ya buxar qazlarını təmizləyən qurğularla təmin edirlər. Məsələn, İsveçdə orta hesabla kükürdlülüyü 2,5% olan mazut yanacaqları işlədilir. Stokholmda kükürdlülüyü 1% olan mazut yanacaqlarından istifadə edilir. AFR-də gücü $3{,}35{:}10^8$ kC/saat-dan böyük olan qazanxanalarda kükürdlülüyü 1,8% olan mazut yanacaqlarından istifadə edilir. Finlandiyada yanacaq sərfi 700 t/il-dən çox olan qazanxanalarda kükürdlülüyü 0,8%-dən az olan mazut yanacaqlarından istifadə edilir və s.

Kapitalist ölkələrindən fərqli olaraq, keçmiş sosialist ölkələrində, o cümlədən respublikamızda ətraf mühitin çirklənməsi sahəsində qəbul edilən normativlər zəhərli maddələrin minimal reaksiyaedici qabiliyyətinə görə tərtib edilir. Bu maddələr atmosferi çirkləndirməklə yanaşı, əhali arasında xəstəliklərin inkişafını da artırır. Cədvəl 2-də müxtəlif ölkələrin sanitar-epidemioloji stansiyalarının qanunvericilik təşkilatları tərəfindən atmosfer havasında SO_2 qazı üçün BBKH-nin norma qiymətləri verilmişdir.

Cədvəl 3-də ölkəmizdə İES ətrafı əhali yaşayan rayonlarında atmosfer havasında zərərli maddələrin BBKH-rı verilmişdir. Bu qiymətlər keçmiş İttifaqın Səhiyyə Nazirliyinin Baş sanitar epidemioloji idarəsi və Dövlət Tikinti Nazirliyi tərəfindən təsdiq edilmişdir. Bizim ölkədə havanın keyfiyyət standartı zərərli maddələr üçün qəbul edilən BBKH ilə xarakterizə olunur.

Adətən atmosfer havasının çirklənməsi öyrənilən zaman bütün zərərli maddələr üçün ayrı-ayrılıqda hesablama aparılır. Bunlar, BBKH-si 2-ci cədvəldə verilən qiymətdən böyük olmamalıdır.

Bununla yanaşı, kükürd və azot oksidlərinin ümumi təsiri üçün nazirliyin əlavə tələbi verilmiş və aşağıdakı şərt daxilində qəbul edilmişdir.

$$\frac{C_{SO_2}}{BBKH_{SO_2}} + \frac{C_{NO_2}}{BBKH_{NO_2}} \le 1$$

Əlavə qəbul edilmiş bu tələb, İES-in və başqa sənaye sahələrinin məsuliyyətini bir daha artırmışdır.

Atmosfer havasında olan zərərli maddələr ilə təbii maddələr həmişə qarşılıqlı təsirdə olduğundan və atmosfer suları ilə onlarda yuyulma prosesi getdiyindən bu maddələr arasında müxtəlif çevrilmələr baş verir. Çevrilmə prosesi müxtəlif maddələr üçün müxtəlif olur. Asılı hissəciklərin (aerozalların) atmosfer qatında qalma müddəti onların fiziki və kimyəvi xassələrindən, meteoroloji parametrlərdən, ən başlıcası isə hissəciklərin atmosferdə yayılma hündürlüyündən asılıdır.

Cədvəl 2.

SO_2 qazının atmosfer havasında BBKH

Ölkələr	Maksimum birdəfəlik BBKH		Orta sutkalıq BBKH		BBKH-yə əməl olunmasına qoyulan tələb %
	Hava nümunəsi, mq/m^3	Ölçmənin davametmə müddəti, dəqiqə	Hava nümunəsi, mq/m^3	Ölçmənin davametmə müddəti, saat	
Keçmiş SSRİ					
Yaponiya	0,50	20	0,05	24	100
Çexoslovakiya	0,50	60	0,125	24	100
Finlandiya	0,50	30	0,25	24	100
AFR	0,625	30	0,25	24	100
İsveçrə	0,50	30		24	75
Fransa	-	-	0,125	24	100
Fransa	-	-	0,25	24	96,7
ABŞ	-	-	0,75	24	8 saatdan çox olmalıdır
1 kateqoriya	-	-	0,365	24	98,7
2 kateqoriya	-	-	0,26	24	99,7
İtaliya	0,8	30	0,4	24	94
İsveçrə					
Yayda	0,75	30	0,5	24	75
Qışda	0,125	30	0,75	24	75

Aerozol şəklində olan qatışıqlar ağırlıq qüvvəsinin təsiri altında şeh və yağış ilə yuyulma nəticəsində atmosferdən ayrılır. Hissəcik şəklində olan maddələrin atmosfer havasında qalma müddəti isə onların çökmə prosesi ilə bağlıdır. Çökmə prosesi hissəciklərin diametrindən asılıdır.

Cədvəl 3

Əhali yaşayan rayonlarda atmosfer havasında zərərli maddələrin BBKH-ı

Çirkləndirici maddələr	BBKH mq/m^3	
	Maksimum birdəfəlik	Orta sutkalıq
Zəhərləyici olmayan tozlar	0,5	0,25
Kükürd anhidridi	0,5	0,05
Karbon oksidi	0,3	1,00
Azot 2-oksid	0,085	0,085
Qurum (his)	0,45	0,05
Hidrogenli kükürd	0,008	0,008
Benzopiren	-	0,1 mkq/100 m^3

Belə ki ölçüsü 0,1 mkm-dən kiçik olan hissəciklər həmişə Broun hərəkətində olduguna görə çökə bilmir, ölçüləri 1mkm-dan böyük olan hissəciklər isə əksinə, Stoks qanununa tabe olaraq atmosfer havasından ayrılaraq bitki yarpaqlarına çökür. Adətən, ölçüləri 0,1-1 mkm arasında olan hissəciklərin çökmə sürəti atmosfer havasının yerdəyişmə sürətindən kiçik olur. Ona görə də belə hissəciklərin atmosfer havasında qalma müddəti uzun olur.

Hissəciklərin diametrindən asılı olaraq çökmə sürətləri aşağıdakı qiymətlərdə dəyişir.

Hissəciyin radiusu, mkm.	Çökmə sürəti, sm/san.
0,1	$8,10^{-6}$
1,0	$4,10^{-3}$
10,0	0,3
100,0	25

Hissəciklərin atmosfer havasında qalma müddəti onların koaqulyasiya olunma dərəcəsindən də asılıdır. Təbiidir ki, küləyin olması hissəciklərin havadan ayrılmasına böyük təsir göstərir, yəni onların atmosfer havasında qalma müddətini artırmış olur.

Qaz maddələrinin atmosfer havasında qalma müddəti çox az öyrənilmişdir. SO_2 qazının atmosfer havasında qalma müddəti üçün müxtəlif tədqiqatçılar tərəfindən müxtəlif qiymətlər verilmişdir və göstərilir ki, bu qiymət bir neçə saatdan 1,5 sutkaya qədər ola bilir.

Məlumdur ki, SO_2 qazının SO_3 qazına çevrilməsi xüsusi katalizator tətbiq etməklə mümkündür. Ancaq təhlil göstərir ki, tüstü qazları ilə atmosferə atılan SO_2 qazlarının az hissəsi qaz yolunda tədricən oksidləşərək SO_3 qazına çevrilir və sonra su buxarı ilə birləşərək turşu buxarı (H_2SO_4) əmələ gətirir. Bu proses atmosfer havasında da davam edir. Təbiidir ki, belə prosesin getməsinə səbəb günəş şüaları və kiçik toz hissəcikləridir. Çünki bunlarda katalizator xassəsi, yəni oksidləşdirici xassə ola bilir. Tədqiqatlar göstərir ki, SO_2 qazının oksidləşmə sürəti, dalğa uzunluğu 220 – 250 mm olan şüalanmada daha böyük olur.

Oksidləşmə prosesinə havanın nəmliyi də təsir edir. Belə ki müxtəlif tədqiqatçılar tərəfindən təcrübələr göstərir ki, nəmliyi 60% olan havada turşu aerozolunun qiyməti 7,8%, 81% olan havada isə 31% təşkil edir.

Bundan başqa məlum olmuşdur ki, atmosfer havasında qaz şəkilli çirkləndiricilərin əmələ gəlməsi termo və fotooksidləşmə prosesinin təsirilə də gedir. Yəni atmosfer havasında olan maddələr arasında baş verən çevrilmələr istilik və şüa fotonlarının bilavasitə iştirakı

ilə də baş verir. Belə proseslər ən çox atmosfer havasının yer səthindən 30 km hündürlükdə yerləşən təbəqəsində gedir. Araşdırmalar göstərir ki, burada bütün üzvi və qeyri-üzvi maddələrin parçalanması və çevrilməsi baş verir. Mürəkkəb molekulların parçalanaraq karbon oksidi, su, azot, oksigen və s. şəklində yer səthinin atmosfer təbəqəsinə qayıtması daha maraqlıdır.

Müəyyən edilmişdir ki, azot 2-oksidin atmosfer havasında NO və oksigenə parçalanmasında günəşin ultrabənövşəyi şüalarının təsiri ilə gedən fotokimyəvi proseslərin böyük rolu vardır. NO_2 qazının parçalanması üçün tələb olunan enerjinin qiyməti 300 kC/mol olur ki, bu da dalğa uzunluğu 396 mm olan foton sellərinə uyğundur.

NO_2 qazının atmosfer havasındakı dissosiasiyası əlavə olaraq ozon və başqa maddələrin əmələ gəlməsi ilə nəticələnir. Bununla yanaşı, bu reaksiyanın getməsi ilə karbohidrogen birləşmələrinin də oksidləşməsi baş verir. Nəticədə karbon oksidi və karbon 2-oksid ilə bərabər üzvi aerozol maddələr də əmələ gəlir. Azot oksidi və karbohidrogen birləşmələrinin birgə oksidləşməsi zamanı hava təbəqəsində çox zəhərləyici xassəyə malik olan nitratperoksiatsilat əmələ gəlir. Bu qrupa daxil olan zəhərləyici maddələr, şəhər havasının zəhərləyici qazlarla dumanlaşması zamanı müşahidə olunur.

Azot oksidinin parçalanması prosesində alınan NO qazı ilə atom halında olan oksigen qazı arasındakı birləşmə reaksiyası sürətlə gedir. Yəni ikinci pillə reaksiyanın getməsi nəticəsində yenidən azot 2-oksid və ozon alınır. Sonra ozonun azot 2-oksid ilə qarşılıqlı təsiri nitratların əmələ gəlməsi ilə nəticələnir.

Son zamanlar müəyyən edilmişdir ki, şəhər yerlərində yer səthinə yaxın atmosfer havasında fotokimyəvi çevrilmələrin nəticəsində baş verən çirklənmənin artması, neft tipli üzvi maddələrin və yüksək temperatur şəraitində əmələ gələn azot oksidi qazlarının çox olması ilə əlaqədardır.

Fotokimyəvi proseslər nəticəsində atmosfer havasında əmələ gələn bütün oksidləşdiricilər (bunlara oksidantlar da deyilir) bir sıra hallarda oksidləşmə reaksiyaları intensiv getməsi sahəsində gigiyena göstəricisi kimi də qəbul edilir.

Radioaktiv üzvi qatışıqların və azot oksidi ilə çirklənmiş atmosfer qatında fotokimyəvi dumanların yaranması şəraiti günəş radiasiyasından, temperatur dəyişməsindən və küləyin sürətinin kiçik olmasından asılıdır.

Belə bir sual yaranır ki, görəsən, İES-in tüstü qazları ilə atmosferə atılan zəhərləyici maddələrin təbiətə böyük miqyasda təsiri varmı? Bunlar təbiətdəki maddələrin cərəyan etməsinə nə kimi təsir göstərir?

Hər şeydən əvvəl qeyd etmək lazımdır ki, insanın fəaliyyəti nəticəsində yaranan tullantılar ətraf rayonlar üçün yad hesab edilə bilməz və başqa maddələr kimi bu tullantılar da atmosfer, litosfer və hidrosfer arasında cərəyan edir.

Hesablamalar göstərir ki, Yer kürəsinin atmosfer qatında 2000 mlrd. ton CO_2 şəklində karbon qazı vardır. Bunun hər bir ildə 135 mlrd. tonu atmosferdə, quruda və dənizlər arasında cərəyan edir. Atmosferin nəfəsalma qatındakı CO_2-nin miqdarı 15 mlrd. tondur. Yanma proseslərində atılan CO_2 qazlarının atmosfer təbəqəsindəki karbon qazının ümumi dövranına təsiri olmasa da, nəfəsalma təbəqəsindəki karbon qazının dövranına böyük təsiri vardır.

Təbii proseslər nəticəsində hər ildə atmosferə mlrd. ton, antropogenlərdən isə 100 – 200 mln. ton toz hissəcikləri keçir. Təbii prosesləri ilə NO_2 və NH_3 şəklində atmosferdə mlrd. ton, antropogenlərdən isə 60-70 mlrd. azot keçir.

Son 100 ildə karbon qazının atmosfer havasındakı konsentrasiyasının artması müşahidə olunmuşdur, yəni CO_2 qazı 0,029-dan 0,032%-ə qədər artmışdır. Karbon qazının artması canlı aləm üçün qorxulu hesab edilmir. Lakin atmosfer havasında CO_2 qazının artması davam edərsə, onda planetin ümumi orta temperaturunun yüksəlmə qorxusu yaranır. Bununla bərabər oksigenin sıxlığı da azalmış olur. Ancaq belə hesab edilir ki, hətta oksigenin bir neçə faiz azalması belə biosferaya zərərli nəticə verə bilməz, çünki CO_2 qazının artması çox kiçik həddə gedir.

Hazırda, zərərli maddələr üçün BBKH norması, əsasən, sənaye rayonları üçün tərtib edilmişdir, planet üçün hələlik belə normativin təşkilinə ehtiyac yoxdur.

Yaşayış rayonlarının hava hövzəsindəki zərərli maddələrin konsentrasiyası, əsasən, tüstü qazlarının atmosfer qatında yayılmasının düzgün təşkilindən asılıdır.

Ümumiyyətlə, zərərli maddələrin canlı orqanizmlər üçün nə dərəcədə qorxulu olması onların yer səthinə yaxın mühit üçün aparılan hesablama qiymətini maksimal həddinə görə müəyyən edilir. Zəhərli maddələrin maksimal hesablama qiyməti çox pis meteoroloji şəraitdə onların atmosferə atıldığı yerdə müxtəlif məsafələrdə ölçülməsi ilə müəyyən edilir.

Yerin atmosfer təbəqəsində hər bir zərərli maddənin maksimal konsentrasiyası maksimal-birdəfəlik konsentrasiyanın buraxıla bilən qiymətindən (BBQ) böyük olmamalıdır. Əgər atmosfer qatında bir neçə zərərli maddələrin qarışığı olarsa, onda norma qiyməti üçün aşağıdakı şərt ödənilməlidir.

$$\frac{C_1}{BBKh_1} + \frac{C_1}{BBKh_2} + ... + \frac{C_n}{BBKh_n} \le 1$$

Yaşayış rayonlarının atmosfer havası üçün zərərli maddələrin BBKH-i keçmiş İttifaqın Səhiyyə Nazirliyi tərəfindən təsdiq edilmişdir. Cədvəl 4-də BBKH üçün norma qiymətləri verilmişdir.

Məlumdur ki, [1] İES və AES ən böyük su tələb edən sənaye sahələrindəndir. Belə ki İES-də 1 kVt saat enerji istehsalı üçün su sərfi 180 *l*, AES-də isə 280 *l* təşkil edir. Ancaq istifadə olunan suyun 80 – 85%-i çirkab suları şəklində xarici su hövzələrinə atılır. İES-də aparılan texnoloji proseslərin xarakterindən asılı olaraq, atılan suların çirklənmə tərkibi müxtəlif olur. Yalnız turbin kondensatorlarda soyutma məqsədilə işlədilən texniki işlənmiş su müstəsnalıq təşkil edir.

İES-də çirkab suları, əsasən, aşağıdakılara görə əmələ gəlir:

- su işlədən qurğularının istismarı zamanı bəzi texnoloji əməliyyatların aparılması;
- işlənmiş buxarı kondensatorlarda kondensə olunan zaman soyuducu suyun qızması;

- neft məhsullarının kondensat və texniki sularına;
- buxar qazının konvektiv qızma səthlərini yuyan zaman alınan çirkab sularına;
- bərk yanacaqla işləyən İES-in külatma qurğularında yaranan çirkab sularına;
- istilik qurğularının kimyəvi məhlullarla yuyulması zamanı alınan çirkab suları;
- döşəmələrin və maşın zallarının yuyulması zamanı əmələ gələn çirkab suları;
- məişət – təsərrüfat suları.

Göstərilən çirkab sularından ən geniş yayılanı birinci dörd səbəb sayılır. Bu çirkab sularının həcmi sərfi çox və çirkliliyi müxtəlif olur. Ona görə də belə çirkab sularının nəzarət altına alınması və onların təmizlənməsi xüsusi və ciddi şəkildə aparılmalıdır. Müəssisə, tullantı sularını təmizləmək üçün müxtəlif kimyəvi-texnoloji sxemlərdən və emal üsullarından istifadə edir. Bu üsullar və texnologiyalar həm tətbiq edilən fiziki və kimyəvi proseslərlə, həm də texnologiyaların xarakterinə görə bir-birindən kəskin fərqlənir.

Çirkab sularının təmizlənməsi zamanı mexaniki, fiziki-kimyəvi və biokimyəvi təmizləmə proseslərindən hansı üsulun seçilməsinin dəqiq kriteriyası yoxdur.

Ümumiyyətlə, suyun təmizlənməsi üsullarını üç qrupa bölürlər: mexaniki təmizləmə, fiziki-kimyəvi təmizləmə və kimyəvi təmizləmə. Bunlardan ən geniş yayılanı kimyəvi təmizləmədir.

Çirkab suyun təmizlənməsi zamanı sudan xaric edilən maddələrin xarakterindən asılı olaraq bir neçə təsnifat mövcuddur. Bu təsnifatlara görə çirkab suları homogen və heterogen sistemlərə daxildir və çirkləndiricilər burada molekulyar, ion, kolloid və asılı halda ola bilər.

Çirkab suyu təmizləmək üçün emal üsulunu seçdikdə çirkabın nə şəkildə ayrılması məlum olmalıdır. Emal üsulu elə seçilməlidir ki, alınan qatışıqların gələcəkdə utilizasiyası və ya zərərsizləşdirilməsi sadə yol ilə mümkün olsun.

Son zamanlar çirkab suların təmizlənməsi sahəsində tətbiq edilən təmizləmə üsullarını aşağıdakı növlərə bölürlər:

- qatışıqların bilavasitə ayrılması üsulu;
- suyun və ya qatışıqların faza halının dəyişdirilməsi ilə təmizləmə üsulu;
- qatışıqların çevrilməsi üsulu;
- biokimyəvi üsul.

Birinci və ikinci üsulların tətbiqi zamanı sudan ayrılan çirkləndiricilərin kimyəvi xassələri dəyişmir. Bu zaman, qatışıqlar tam həllolunmuş şəkildə (bu zaman ikinci üsul tətbiq edilir), yaxud da müxtəlif faza halında ola bilər (bu zaman birinci üsul tətbiq edilir). Bəzən emal prosesi elə aparılır ki, qatışıqlar sərbəst faza şəklinə keçir və bundan sonra ikinci üsulu tətbiq etməklə təmizləmə aparılır.

Mexaniki çirkləndiricilər bilavasitə sudan (birinci üsul) aşağıdakı yollarla ayrılır:

- iri hissəciklərin mexaniki üsulla ayrılması (tor və ya şəbəkələr) yolu ilə;.
- mikrotorlardan istifadə edilməsi yolu ilə;
- çökdürmə və şəffaflandırma yolu ilə;
- mərkəzi fuqlarda ayırma yolu ilə;
- hidrotsiklonlarin tətbiqi ilə;
- Mexaniki süzgəclərdən süzülmə yolu ilə;
- flotasiyanin tətbiqi ilə;
- membran üsulu (əks-osmos, elektrodializ) ilə.

Cədvəl 4

Yaşayış rayonlarının atmosfer havasının zərərli maddələrin BBKH-in norma qiymətləri

Zərərli maddələr	BBKH mq/m^3	
	Maksimum – birdəfəlik	Orta sutkalıq
1	2	3
Azot 2-oksid	0,085	0,085
Azot turşuşu:	9,4	0,4
$N_2S_1O_3$ molekulu üzrə	0,006	0,006
Hidrogen ionu üzrə	-	0,002
Vanadium 5-oksid	-	0,003
Arsen	0,5	0,15
Zəhərli olmayan toz hissəcikləri	0,15	0,05
Qurum (his)	0,3	0,1
Sulfat turşusu:		
N_2SO_4 molekulu üzrə	0,006	0,001
Hidrogen ionu üzrə	0,5	0,05
Kükürd anhidridi	0,008	0,008
Hidrogen-sulfid	0,03	0,005
Karbonlu kükürd	3	1
Karbon-oksid	4	2
Karbon 4-oksid	0,1	0,03
Sirkə anhidridi	0,01	0,01
Fenol	0,15	0,05
Fosfor anhidridi	0,02	0,005
Flüorlu birləşmələr	0,03	0,01
Qazşəkilli birləşmələr (HF, SIF_4)	0,35	0,35
Yaxşı həllolan qeyri-üzvi birləşmələr	1,5	0,8
(NaF, Na_2SiF_6)	0,2	0,2
Aseton	0,6	0,6
Benzol	0,1	0,03
Ammonyak	0,04	0,02
Tolüol	0,035	0,012
Xlor	0,03	0,01
Xlorofos	35	5
Formaldehid		3
Flüor və flüor duzları (birlikdə)	0,001	0,001
Etanol		
Etilen		

Çirkləndiricilərin kimyəvi xassələrini dəyişməklə onların çevrilməsi ilə təmizlənməsi üsulları aşağıdakı yarımqruplara bölünür:

- çətin həllolan birləşmələrin yaranması (əhəngləşdirmə və s.);
- az dissosiasiya edən kompleks birləşmələrin yaranması (fosfatlaşdırma və s.);
- parçalanma və sintez prosesləri (qələvi verən zaman komplekslərin ağır metallara bölünməsi və s.);
- oksidləşdirmə-reduksiya prosesləri (qüvvətli oksidləşdiricilər ilə üzvi və qeyri-üzvi birləşmələrin oksidləşdirilməsi və s.);
- termiki emal.

İES-də tullantı çirkab suların təmizlənməsi üçün birinci qrup üsulun daha böyük praktiki əhəmiyyəti vardır. Burada mərkəzi fuqlaşdırma və hidroksiklonlardan demək olar ki, istifadə edilmir.

İkinci qrup üsulda ən çox koaqulyasiya və sorbsiyadan geniş istifadə edilir (ion mübadiləsinə də tez-tez rast gəlmək olur). Üçüncü qrup üsuldan isə əhəngləşdirmə, parçalanma və oksidləşmə proseslərində çox istifadə edilir.

4. Güclü elektrik sahələrinin və qazboşalmalarının texnoloji proseslərdə tətbiqi

Bazar iqtisadiyyatı münasibətləri şəraitində, sənaye sahəsində, yüksək rəqabətin mövcudluğu istehsal texnologiyasının daim təkmilləşdirilməsini tələb edir. XX əsrin ikinci yarısından etibarən istehsal proseslərində güclü elektrik sahələri və qazboşalmalarının təsirindən istifadə olunan texnoloji proseslər geniş yer tutmuşdur [12].

Yeni texnologiyanın ən perspektiv istiqamətlərindən biri, güclü elektrik sahələrinin, yüklənmiş xırda hissəciklərə parçalanmış xammala təsirini təşkil edən elektron-ion texnologiyasıdır.

Materialın yüklənmiş hissəciklərinin elektrik sahəsində hərəkəti elektron-ion cihazlarında oldugu kimi xarici sahə ilə tənzimlənir. Elektron-ion texnologiyası adı da məhz buradan irəli gəlir.

Elektron-ion texnologiyası bir sıra üstünlüklərə malikdir.

Burada elektrik enerjisi, emal edilən xammala, bilavasitə təsir edir. Təbiətin əksər cisimlərini elektrik yükü ilə yükləyib, elektrik təsirinə məruz qoymaq mümkündür. Məhz buna görə də elektron-ion texnologiyası universal texnologiyadır və ən müxtəlif istehsal sahələrində tətbiq oluna bilər. İstənilən kiçikölçülü materialın ayrı-ayrı hissəciklərinə elektrik sahəsinin təsiri olur.

Buna görə də elektron-ion texnologiyası istehsal prosesinin fasiləsizliyini və axıcılığını asanlıqla təmin etməklə yanaşı, həm də tamamilə avtomatlaşdıra bilər.

Yuxarıda qeyd etdiyimiz üstünlüklər təkcə elektron-ion texnologiyasına deyil, ümumiyyətlə elektrik sahələri və qazboşalmalarının texnoloji proseslərdə istifadəsi üçün də xarakterikdir.

Güclü elektrik sahələri və elektrik qazboşalmaları bərk cisim halında olan polimer dielektriklərə təsir etdikdə dielektriklərin səthində və həcmində müəyyən fiziki və kimyəvi proseslər gedir ki, bu proseslər nəticədə dielektriklərin mühüm elektrofiziki xassələrinə əsaslı təsir göstərir. Bu prosesləri tənzimləməklə dielektriklərin bəzi xassələrini idarə etmək imkanları yaranır ki, bu da texnika baxımından mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Elektrik qazboşalmalarının təsiri vasitəsilə maye dielektriklərin tərkib hissəsinin bir sıra aşqarlardan təmizlənməsi prosesləri artıq bir sıra proseslərdə öz istehsalat tətbiqini tapmışdır. Transformator yağlarının və ümumiyyətlə, əsasən, karbohidrogen mənşəli mayelərin, sənaye tullantı sularının, içməli suların, monomerlərin və s. materialların aşqarlardan təmizlənməsi texnoloji proseslərdə elektrik təsirindən müvəffəqiyyətlə istifadə edilir.

Elektrik təsirinə əsaslanan texnoloji proseslər iqtisadi cəhətdən səmərəli, texnoloji tətbiqi cəhətdən sadə, ekoloji cəhətdən təminedici olaraq, əksər hallarda beynəlxalq sertifikat normalarının tələblərinə cavab verəbiləcək səviyyədə olur. Buna görə də son illərdə tədqiqatçılar bu sahədə intensiv olaraq, elmi-tədqiqat işləri aparırlar və hal-hazırda bu sahədə bir sıra mühüm nəticələr əldə edilmişdir [13-16].

Elektrik təsirinə əsaslanan bir sıra texnoloji proseslər təbii qazların, karbohidrogen mənşəli mayelərin, içməli və sənaye tullantı sularının təmizlənməsində müvəffəqiyyətlə tətbiq olunur, bu texnoloji proseslər inkişaf mərhələsində olub, yeni tədqiqatların aparılmasını tələb edir və zaman keçdikcə təkmilləşir.

Müasir texnikanın tətbiq etdiyi və yüksək tələblərə cavab verən materiallar əldə etmək üçün iki üsul mövcuddur: 1) yeni kimyəvi tərkibli təzə materialların sintezi; 2) artıq mövcud olan materiallara, texnikanın tələblərinə uyğun, yeni xüsusiyyətlərin aşılanması.

Birinci üsul, yeni materialların sintez tədqiqatçıları tərəfindən qəbul edilərək, kimyaçılar materialların texnologiyası və fizika sahəsi işçiləri tərəfindən geniş işlənilərək dünya miqyasında, kompozisiya materialları adı altında yüzlərlə yeni material sintez olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, bu üsulla alınmış hər bir yeni materialın bütün xassələri kompleks şəkildə öyrənilməlidir, sınaq təcrübələrindən keçirilməlidir və real sənaye şəraitində sınaqdan keçirildikdən sonra onun pasport göstəriciləri dəqiqləşdirilməlidir. Bu üsulla texnikanın tələblərinə cavab verən materialların əldə edilməsi perspektiv üsul olmaqla yanaşı, eyni zamanda bir çox hallarda iqtisadi cəhətdən baha başa gələn üsuldur.

İkinci üsul, mövcud olan materiallara müəyyən təsir vasitəsilə yeni xüsusiyyətlərin aşılanması, iqtisadi cəhətdən səmərəli və tez başa gələn üsuldur.

Bərk cisim halında olan materiallara yeni xassələrin aşılanması bir qayda olaraq, onlara təsir etməklə əldə edilir (mexaniki, kimyəvi, bioloji, fiziki təsirlərdən).

Son illər elektrofiziki təsir olaraq, bir sıra müxtəlif aqreqat halında olan materiallara güclü elektrik sahələrinin və elektrik qazboşalmalarının təsirindən geniş istifadə edilir.

Bərk halda olan dielektriklərə elektrik sahəsi ilə təsir etdikdə materiallarda polyarizasiya, rekristalizasiya, kimyəvi tərkib dəyişiklikləri, onlarda səthi və həcmi elektrik yüklərinin cəmlənməsi, səth prosesləri və s. fiziki-kimyəvi dəyişikliklər əmələ gəlir ki, bu proseslər nəticəsində dielektriklərin, elektrik keçiriciliyi, istilik keçiricili, xüsusi səthi və həcmi müqaviməti, istilik tutumu, elektrik möhkəmliyi, dielektrik itkiləri, elektrik köhnəlməsi, mexaniki möhkəmliyi və s. elektrofiziki xassələri bu və ya digər istiqamətdə dəyişir.

Dielekrik, bu və ya digər texniki sahədə istifadə edilməsindən və onlara qoyulan tələblərdən asılı olaraq, istənilən elektrofiziki xassələrini məqsədəuyğun şəkildə dəyişmək üçün, onların qazboşalmalarının təsirinə məruz qaldığı halda baş verən proseslərin fiziki-kimyəvi mahiyyəti aydınlaşdırılmalı və yalnız bu halda, biz, dielektrikin xassələrinin dəyişilməsinin idarə edilməsinə nail ola bilərik.

Dielektriklərə elektrik qazboşalması vasitəsilə təsir edərkən, məsələn, dielekriklərdə elektrik yüklü və-

ziyyətin əmələ gəlməsindən, elektretlərin hazırlanmasında istifadə edilir.

Məsaməli bərk cisimlərə elektriki təsirlər edərək, onların adsorbsiya qabiliyyətlərini artıraraq, maye və qaz halında olan materialları aşqarlardan təmizləməkdə müvəffəqiyyətlə istifadə etmək olur. Elektrik təsirlərindən istifadə edərək maye və qazları tərkib hissələrinə ayırmaq mümkün olur.

Elektrik qazboşalmaları vasitəsilə tərkibində müəyyən miqdarda hidrogen-sulfid olan təbii qazlara təsir etdikdə, sistemdə adsorbent olaraq, monoetanolamin mövcud olduğu halda, hidrogen-sulfidi hidrogen və kükürd atomlarına parçalamaq mümkün olur, bu halda hidrogen qaz şəklində ayrılaraq kənarlaşdırılır, kükürd isə absorbent tərəfindən udulur. Qeyd etmək lazımdır ki, elektrik təsiri absorbentin kükürd vasitəsilə korroziya prosesinə uğramasının qarşısını alır və kükürdün mütəmadi olaraq absorbentdən ayrılıb, xüsusi həcmdə toplanmasına səbəb olur. Beləliklə, absorbentin doyma müddəti nəzərəçarpacaq dərəcədə artır, bu üsulla əldə edilmiş kükürd, xammal olaraq, yüksək təmizliyə malik olur. Eyni zamanda monoetanolamin absorbentinin işləmə müddəti uzadılmış olur. Bu texnoloji proses təbii qaz emalı müəssisələrində müvəffəqiyyətlə sınaqdan keçirilmiş və istehsalatda tətbiqini tapmışdır [17].

Neft emalı müəssisələrində neftin su vasitəsilə yuyulmasında, texnoloji prosesin digər mərhələsində neftin sudan azad edilməsində güclü elektrik sahələrinin təsiri vasitəsilə su damcılarının bir kütləyə toplanmasına və kütləsinin artması hesabına, neftdən ayrılmasına müvəffəq olunur. Bu prosesə əsaslanan texnoloji qurğu uzun illərdir ki, bütün dünyada neft emalı sənayesində tətbiq edilir.

Transformator yağlarının rütubətdən, dəmir atomları birləşmələrindən, mexaniki aşqarlardan, turşu qalıqlarından və s. bu kimi aşqarlardan təmizləmək məqsədilə də əsasında elektrik təsirləri duran bir sıra texnoloji proseslər işlənilmişdir.

İstər bəsit, istərsə də mürəkkəb qaz qarışıqlarına elektrik qazboşalmaları vasitəsilə təsir etdikdə, qazın atom və molekulları həyəcanlanma, ionlaşma, rekombinasiya, konversiya nəticəsində yeni molekulların əmələ gəlməsi, bəzi molekulların isə onların təşkiledicilərinə parçalanması kimi, fiziki və kimyəvi proseslər müşahidə edilir. Faktiki olaraq, elektrik sahələrində və elektrik qazboşalmalarının təsiri zamanı qaz sistemi yeni keyfiyyətlər nümayiş etdirir və sistemin elektrofiziki parametrləri əvvəlkindən fərqli qiymətə malik olur.

Bir sıra istehsal proseslərində müxtəlif sənaye qazları alınır və yaxud emal edilir. Texnoloji proseslərin bəzilərində qaz məhsulu sənaye tullantıları şəklində atmosfer havasına ötürülür. Bir çox hallarda tullantı qazların özü və ya onların tərkibində olan toz, rütubət və digər zərərli aşqarlar atmosferin çirklənməsinə səbəb olur, odur ki, qazların atmosferə verilməsindən əvvəl, onların təmizlənməsi zərurəti doğur.

Məsələn, atmosfer havasının və ətraf mühitin çirklənməsinin qarşısını almaq üçün kömürlə işləyən elektrik stansiyalarının tüstü qazlarını atmosferə ötürməzdən əvvəl təmizlənməsi vacib məsələdir.

Kükürd turşusu istehsalında mərhələlərdən biri kükürd kolçedanının yandırılması ilə əlaqədardır. Əmələ gəlmiş qazlardan kükürd turşusu almaq üçün bu qazları kükürd kolçedanı tozundan təmizləmək tələb olunur. Sement istehsalı sənayesinin tullantı qazlarının alüminiumdan təmizlənməsi vacib məsələdir.

5. Nəticə və müzakirə

Beləliklə, müasir sənayenin demək olar ki, bütün sahələrində müxtəlif qazların tozlardan və ya digər aşqarlardan təmizlənməsi zəruridir. Bir çox halda bir saatda milyonlarla kubmetr qaz təmizlənir və bu zaman onlardan 10 tonlarla toz və ya maye aşqarlar ayrılır.

Sənaye qazlarının elektrik süzgəclərində tozdan və digər aşqarlardan təmizlənməsi əsas üsullardan biridir. Qazların təmizlənməsi üsullarından elektrikli üsul daha effektiv, elektrik süzgəci isə bu məqsədə xidmət edən daha universal qurgudur. Konkret şəraitdən asılı olaraq elə elektrik süzgəcləri hazırlamaq olar ki, onların qazları təmizləmə dərəcəsi 99%, hətta 99,9%-ə çatsın. Təmizlənəcək qazlarda hissəciklərin konsentrasiyası 1 q/m^3 – 50 q/m^3 intervalında dəyişə bilər. Qazın temperaturu 500ºC və daha artıq ola bilər. Elektrik süzgəcləri ölçüsü 0,01 mk-dan 100 mk-a qədər olan hissəcikləri tuta bilir və zəruri hallarda turşulara, qələvilərə və digər yeyici maddələrə qarşı davamlı materiallardan hazırlanır.

Elektrik süzgəclərində müxtəlif konstruksiyalarında elektriki təsir olaraq, tacşəkilli elektrik qazboşalmasının təsirlərindən istifadə edilir.

Qazların elektriki təmizlənməsini aşağıdakı mərhələlərə bölmək olar:

- qazlardaki hissəciklərin elektrik yüklənməsi;
- yüklənmiş hissəciklərin çökdürücü elektrodlara doğru hərəkət etməsi;
- hissəciklərin elektrodlar üzərinə çökməsi;
- çökmüş hissəciklərin çıxarılması (ayrılması).

Adi tac boşalması şəraitində ölçüləri 2-3 mk-dan çox olan hissəciklər təxminən bir saniyə ərzində yüklənə bilir. Süzgəcin uzunliği bir neçə metr, qazın elektrik süzgəcində sürəti 1 m/san ətrafında olduğu üçün hissəciklər tam yüklənməyə imkan tapırlar. İstehsalat şəraitinin tələblərinə uyğun olaraq elektrik süzgəcləri şaquli və üfüqi vəziyyətdə qurula bilər.

Adətən, elektrik süzgəcləri bir neçə paralel seksiyadan ibarət olur. Bu cür konstruksiya istismar şəraitində bütün qurğunun işini dayandırmadan ayrı-ayrı seksiyaları açmaqla (təmir üçün) çökdürücü elektrodları hissəciklərdən təmizləməyə imkan verir.

Sənayenin inkişafı, təmizlənməsi vacib olan qazların həcmi ilə birbaşa bağlıdır. Ona görə də, hazırda elektrikli təmizləmənin təkmilləşdirilməsi və yeni metodların yaranması üzrə tədqiqatlar aparılır.

Qazboşalmalarının təsirindən və sorbentlərin sorbsiya intensivliklərinin artırılması faktından istifadə edərək, yüksək və ifrat yüksək vakuum yaradan elektrofiziki qurğular hazırlanması, bu qurğuların tətbiqi vasitəsilə elmi-tədqiqat laboratoriyalarında və istehsalatda $R=10^{-5}$-10^{-7} Pa -ya qədər vakuum əldə etmək olar.

Beləliklə, yuxarıda şərh edilən bir sıra texnoloji proseslərin mövcudluğu, reallığı sübut edir ki, güclü elektrik sahələri və elektrik qazboşalmaları ilə materiallara təsir etdikdə onlarda bir sıra keyfiyyət dəyişiklikləri baş verir ki, bu hal materialların modifikasiyası məfhumu kimi başa düşülür.

Qeyd etmək lazımdır ki, materiallara güclü elektrik sahələri vasitəsilə təsir etdikdə, onlarda bir növ proseslər, elektrik qazboşalmaları vasitəsilə təsir etdikdə isə başqa növ fiziki-kimyəvi proseslər reallaşır. Ona görə də qarşıya qoyulan məsələdən asılı olaraq, bu və ya digər təsir vasitəsi seçilir.

[1] *K.M. Abdullayev, R.K. Məmmədov, Y.İ. Lətifov.* Enerji ehtiyatları, elektrik enerjisi istehsalı və ətraf mühit. II cild. Bakı: Zaman-3, EİKM, 2007, 407 s.

[2] *М.И. Рустамов, В.М. Аббасов, Т.А. Мамедова, Н.Н. Пириев.* Экономические проблемы земли и альтернативные источники энергии. Баку: Элм, 2008, с. 717.

[3] *В.И. Вернадский.* Биосфера. Очерки первый и второй. Л.: Научно-технич. изд.-во, 1926, 146 с.

[4] *В.И. Вернадский.* Биосфера. Мысли и наброски. Сб. научных работ Вернадского В.И. М.: Изд. Дом "Ноосфера", 2001, 244 с.

[5] *В.И. Вернадский.* Биосфера (избранные труды по биогеохимии). М.: Мысль, 1967, 374 с.

[6] *Я.Д. Вишняков, С.А. Рыбкин, В.В. Сергиянко.* Экспорт-ориентированная экономическая стратегия и экологическая чистота производства. Менеджмент в России и за рубежом. 1999, с. 105.

[7] *Я.Д. Вишняков, Д.В. Ушаков.* Оптимальные экологические параметры технологических процессов-основа конкурентоспособности современного производства. Экология и промышленность России. 1998, с. 34.

[8] *Л.Д. Гачут.* СНГ: Новый путь развития в XXI веке. М.: Русь, 2000, с. 384.

[9] *В.А. Коптюг.* Конференция ООН по окружающей среде и развитию. (Рио-де-Женейро, июнь 1992 г.) Информационный обзор. Новосибирск: СО РАН, 1992, с. 4.

[10] *М. Китинг.* Программа действий. Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. Женева: Центр за наше общее будущее, 1993.

[11] Наше обще будущее. Доклад международной комиссии по окружающей среде и развитию. Пер. с англ. М.: Прогресс, 1989.

[12] *В.И. Попков, А.М. Бут, В.И. Левитов, С.П. Жебровский, Н.А. Капцов* и др. Обзор "Электронная технология" подготовлен в соответствии с программой работ научно-технической комиссии по электронной технологии. Москва, 1961, с. 1-80.

[13] *В.И. Вернадский.* Биосфера. Мысли и наброски. Сб. научных работ В.И. Вернадского. М.: Изд. Дом "Ноосфера", 2001, с.244.

[14] *А.М. Гашимов, Г.Дж. Гусейнов, К.Б. Гурбанов.* К решению экологических вопросов энергетических систем. Беларусь. Респ. Минск, Энергетика, 2010, №4, с. 30-35.

[15] *И.К. Ларин, А.А. Угаров.* Климатический прогноз на 2000-2010 годы и роль атмосферных химических процессов I. Оценка возможного глобального потепления в XXI веке Химическая физика, 2002.

[16] *И.К. Ларин, А.А. Угаров.* Климатический прогноз на 2000-2010 годы и роль атмосферных химических процессов II. Роль атмосферных химических процессов. Химическая физика, 2002.

[17] Специальный доклад Межправительственной Группы Экспертов по изменению климата. Сценарии выбросов. Всемирная метрологическая организация, ВМО. Программа по окружающей среде ООН. ЮНЕП, 2002.

A.M. Gashimov, K.B. Gurbanov, G.J. Guseynov,
L.Ch. Suleymanova, Z.A. Taghiyeva, S.S. Akhadov

REVIEW OF ENVIRONMENTAL ISSUES

Environmental protection - the preservation of the natural composition of atmospheric air, soil and water ensures the existence of people and other living beings, therefore, research work carried out in this direction, and the corresponding decisions taken by the countries of the world, are of great importance for human society. The article presents a comprehensive overview of the ecological problems of the environment.

А.М. Гашимов, К.Б. Гурбанов, Г.Дж. Гусейнов,
Л.Ч. Сулейманова, З.А. Тагиева, С.С. Ахадова

ОБЗОР ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Охрана окружающей среды - сохранение природного состава атмосферного воздуха, почвы и воды обеспечивает существование людей и других живых существ, поэтому научно-исследовательские работы, проводимые в этом направлении, и соответствующие решения, принимаемые странами мира, имеют большое значение для человеческого общества. В статье представлен комплексный обзор экологических проблем окружающей среды.

"GÜNƏŞ-YER-İNSAN" EKOLOJİ SİSTEMDƏ MAQNİT AMİLİ VƏ ONUN İNSANA TƏSİRİNİN BİOFİZİKASI

N.N. ƏLİYEV
Tibbi və bioloji fizika kafedrası

G.N. HÜSEYNOVA
Tibbi biologiya və genetika kafedrası, Azərbaycan Tibb Universiteti
AZ 1007, Bakı şəhəri, Bakıxanov küçəsi, 23
Email: nusreddin.aliyev@mail.ru

Məqalədə Günəşin aktivləşməsi dövründə yaranan Günəş küləyi ilə yerin maqnit sahəsinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində maqnit qasırğasının baş verməsi göstərilib. Bu zaman geomaqnit sahəsinin aktivləşməsi fonunda zamana görə dəyişən ultra aşağı tezliyə (UAT:0-10 hs) malik maqnit sahəsi yaranır ki, bunun da insan orqanizminə təsiri nəticəsində onda rezonans mexanizminə əsaslanan biofiziki effektlər yaradır. Fikrimizcə, bu orqanizmdə baş verən fizioloji ritmlərin (EKQ, EEQ və b.) tezliyinin həmin tezlik oblastına düşməsinin nəticəsidir.

Açar sözlər: Günəş küləyi, qütb parıltısı, maqnit qasırğası, rezonans mexanizmi.

"Günəş-Yer-İnsan" ekoloji sistem təşkil edir. Bu sistemdə insan orqanizmi termodinamika qanunları baxımından tarazlıqda olmayan açıq sistemdir. Yəni canlı orqanizm daimi ətraf mühitlə maddə, enerji və informasiya mübadiləsində olur. İnsan orqanizmi özü-özlüyündə elektromaqnit sistemdir. Ona görə də, ətraf mühitlə elektromaqnit qarşılıqlı təsirdə olur. Orqanizm daxili orqanlar, hüceyrələr və b. arası qarşılıqlı əlaqənin özü də çox aşağı tezlikli elektromaqnit rəqsləri vasitəsilə həyata keçirilir. Hətta təcrübi olaraq müəyyən edilib ki, canlı hüceyrələrin həyat fəaliyyəti prosesində onlar arası "danışıq dili" çox aşağı tezlikli elektromaqnit rəqslərindən ibarətdir.

Canlı orqanizmdə biotoxumaların maqnit xassəsinə malik olması onları təşkil edən molekulların P_m – maqnit momenti və toxumanın μ - nisbi maqnit nüfuzluğu ilə təyin olunur. Ona görə də biotoxumalar maqnit xassəsinə görə iki qrupa ayrılır: 1 – passiv maqnit xassəsinə; 2 – aktiv maqnit xassəsinə malik canlı toxumalar.

Biotoxumaların passiv maqnit xassəsi onun tərkibinə daxil olan maddənin fiziki və kimyəvi xassəsinə əsaslanır. Orqanizm mühitinin əsas kimyəvi komponentlərini (su, zülal, karbohidratlar, lipidlər və b.) təşkil edir. Orqanizm toxumaları xeyli dərəcədə (78-80%) su mühitindın ibarət olaraq diamaqnitdir (yəni, $\mu<1$; $P_m=0$ olur). Həmçinin orqanizmdə paramaqnit birləşmələr, onun ion və molekulları vardır. Məsələn, sərbəst radukallar ($\mu>$; $P_m\neq0$) var.

Son zamanlar, mütəxəssislərin fikrincə, canlı orqanizm toxumalarında ferromaqnit törəmələr aşkar olunub. Onların dalaqda, qara ciyərdə, böyrək üstündə olması müəyyən edilib.

Bəzi orqanların həyat fəaliyyəti dövründə əmələ gələn maqnit sahəsinin qiyməti belədir: maqnit sahəsinin induksiyasının qiyməti (*B, mTl*- ilə): beyin üçün 10^{-9}; əzələ üçün 10^{-8}; ürək üçün 10^{-7}-dir. Həmçinin müqayisə üçün Yerin maqnit sahəsinin induksiyası $5 \cdot 10^{-2} mTl$ -dir. Göründüyü kimi bioloji obyektlərin yaratdıqları məxsusi manqit sahələri olduqca kiçikdir. Buna baxmayaraq, onların tibbi praktikada qeyd olunması mümkündür və diaqnozun qoyuluşunda vacibdir.

Xarici maqnit sahəsinin (geomaqnit) təsirinə bütün orqanizm, hüceyrə orqanelləri reaksiya verir, xüsusilə mitoxondriya. Maqnit sahəsinin təsirinə sinir toxumaları, epitelin endokrin vəzilərin sekretor fəaliyyəti, ürək-qan-damar sistemi daha həssasdır. Maqnit sahəsi canlı toxumalarda gedən fiziki-kimyəvi, bioloji proseslərə təsir edir.

Geomaqnit sahənin bioloji sistemlərin maqnit sahəsinə təsirini biofizikanın maqnitobiologiya bölməsində öyrənilir, amma hələ bioloji obyektlərə maqnit sahəsinin təsirinin biofiziki təbiəti kifayət qədər müəyyən edilməyib.

Müasir məlumatlara əsasən Günəş səthində baş verən aktivləşmə hadisəsinin geomaqnit sahəyə təsiri hesabına əmələ gələn həyəcanlanmanın yaratdığı çox aşağı tezliyə malik dəyişən maqnit sahəsinin insanlara (bioloji obyektlərə) təsiri həqiqətdir [1, 2].

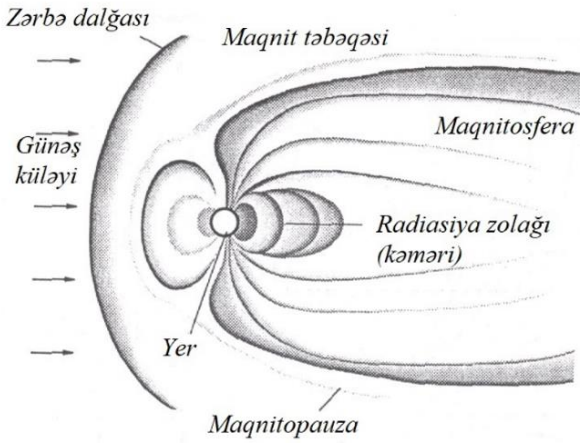
Günəş aktivliyinin yerin biosferasına təsirinin tədqiqi və helibiologiya elminin əsasının qoyulması A.L.Çijevskiyə məxsusdur. Onun fikrincə, bu epidemik xəstəlik, sosial fəlakətdir. Ürəkdə yaranan problemlər qəfil ölümün yaranmasının səbəbidir. Çijevski hesab edir ki, Günəşdə baş verən dəyişikliklərin Yerə təsiri mütləqdir, eyni zamanda insanlara təsiri nəticəsində onların fəaliyyətinin dəyişməsinə səbəb olur. Bu da Günəşlə Yerarası fiziki əlaqənin olmasının ən yaxşı göstəricisidir.

1950-1960-cı illərdə ilk kosmik uçuşlar nəticəsindəYerin maqnitosferası kəşf edildi. Yerin maqnitosferası yer üzərində bütün canlıları kosmik radiasiyadan qoruyaraq ekran rolunu oynayır. Bizim planetin bu maqnit örtüyünə günəş küləyinin təsir mexanizmi müəyyən edildi (şəkil 1).

Günəş küləyi nədir? Günəşin aktivləşməsi dövründə onun səthində baş verən dəyişiklilər zamanı fəzanın bütün istiqamətlərinə, həmçinin Yerə tərəf fasiləsiz olaraq Günəş maddəsi – həm elektromaqnit dalğaları şüalanması yayılır, həm də böyük sürətlə üçan

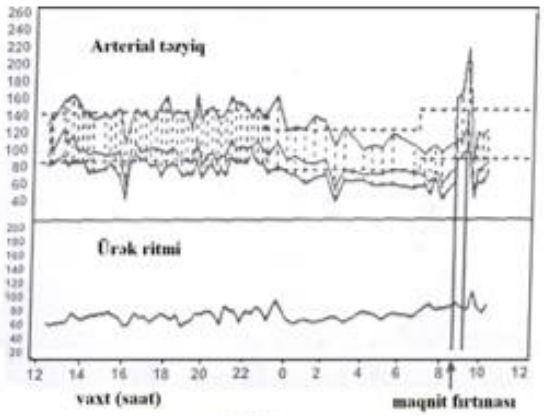
131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

yüklü zərrəciklər seli (onlar əsasən elektronlar və protonlardan ibarətdir) gəlir ki, bu da günəş küləyi adlanır (bax şəkil 1). Yerin atmosferinə çatan bu böyük enerjiyə malik günəş küləyinin zərrəcikləri müəyyən şəkildə Yerin maqnit sahəsi – maqnitosferasına təsir edərək onu sıxır. Günəş küləyi yerin maqnitosferasının quyruq hissəsi vasitəsilə fokuslanır, sürətləndirilərək və təqribən 100 km tərtibində yüksəkliyə malik qütb parıltısı zonasına daxil olur.



Şəkil 1.

Şəkil 2. Şimal qütb parıltısı zamanı lüminessensiya.



Şəkil 3.

Böyük enerjiyə malik bu zərrəciklər seli atmosferin havasının atom və molekulları (əsasən azot və oksigen) ilə toqquşması nəticəsində onları ionlaşdırır və həyəcanlandırır. Onun nəticəsində lüminessensiya işıqsaçması baş verir ki, bu da qütb parıltısı adlanır (şəkil 2). Bununla da geomaqnit sahəsinin aktivləşməsi dövrü başlayır. Bu da maqnit qasırğasının (fırtınasının) yaranmasına səbəb olur (bax şəkil 3). Yəni, maqnit fırtınasının əmələ gəlməsi günəş küləyi ilə Yerin maqnit sahəsinin qarşılıqlı təsirinin nəticəsidir. Geomaqnit sahəsinin bu aktivləşməsi fonunda zamana görə dəyişən ən aşağı tezliyə (ƏAT: 10-300 hs) və xüsusilə ultra aşağı tezliyə (UAT: 0-10 hs) malik maqnit sahəsi yaranır ki, bu da canlı orqanizmə təsir edərək onda rezonans mexanizminə əsaslanan biofiziki effektlər yarada bilir. Fikrimizcə bu orqanizmdə baş verən fizioloji ritmlərin (EEQ, EKQ, nəfəsalma və b.) tezliyi həmin tezlik oblastına düşdüyünə əsaslanır.

Müəlliflərin gəldiyi yekun nəticəyə görə ultra aşağı tezlikli (UAT) maqnit sahəsi (0-10 hs) insan orqanizmi üçün çox təhlükəlidir. Fikrimizcə, buna səbəb insan orqanizmində gedən bəzi fizioloji ritmlərin UAT oblastında baş verməsidir. Belə ki, insan orqanizmində bəzi orqanların məxsusi ritmləri – tezliyi beladur:

- baş beyin ritmləri – (9-13) hs
- ürək ritmləri - (8-12) hs
- insanın uzanmış və ziyyətində - (3-4) hs
- döş qəfəsi üçün – (5-8) hs
- qarın nahiyyəsi üçün – (3-4) hs
- göz üçün – (12-24) hs.

Yəni, baş beynin ritmləri (9-13) hs tezlik intervalına düşdüyündən maqnit fırtınası zamanı yaranan ultraaşağı tezliyə malik maqnit sahəsinn təsiri insan beynində təhlükəli rezonans hadisəsi yarada bilər ki, bu da insultla nəticələnər. Həmçinin ürək ritmləri (8-12) Hs tezlik intervalına düşdüyündən maqnit fırtınası zamanı yaranan ultraaşağı tezlikli maqnit sahəsinin təsiri insanlarda ürək fəaliyyətində rezonans hadisəsinin baş verməsi hesabına ürək infaktına tutulma ilə nəticələnə bilər.

Aparılan tədqiqatlara əsasən müəyyən edilmişdir ki, maqnit fırtınası zamanı miokardın infarktına tutulan xəstələrin sayı 31 %, insulta tutulanların sayı isə 23 % artmasına səbəb olmuşdur.

Bioloji tədqiqatların nəticəsində maqnit sahəsinin təsirinə məruz qalan adamlarda qanın arterial təzyiqinin dəyişməsi aşkar edilməyib. Yalnız maqnit fırtınası dövründə bu prosesin kəskin artması müşahidə edilib (şəkil 3).

Digər səbəblərdən biri də həmin tezlik intervallarında elektromaqnit sahəsinin elektrik sahəsinin intensivliyi (E) və maqnit sahəsinin induksiyası (B) toplananlarına bir-birindən asılı olmadığı hal kimi baxılır. Eksperimental və epidemioloji tədqiqatlar, həmçinin nəzəri tədqiqatlar ətraf mühiti əhatə edən elektromaqnit sahəsinin elektrik toplananı (E) yox, maqnit toplananının (B) UAT oblastında bioeffekt yarada bildiyi barədə məlumatlar verilib. Belə ki, maqnit sahəsi maneəsiz (sərbəst) olaraq toxumaya nüfuz edə bilir.

Müəlliflərin fikrincə ultra aşağı tezliyə (UAT) malik maqnit sahəsinin orqanizmə təsirinə aid aparılan bəzi tədqiqatlar rezonans mexanizminin mövcudluğunu deməyə imkan verir. Geomaqnit sahə ilə müqayisə olunan zəif statik və aşağı tezlikli oblastda zamana görə dəyişən maqnit sahəsi bioloji effektlər yaradır. Məsələn, statik geomaqnit sahə və zamana görə dəyişən

maqnit sahəsinin superpozisiyası hesabına biosistemə təsir edərək yaratdığı bioloji effektlər rezonans mexanizmi əsasında baş verir və $\omega_c = \frac{q_i B}{2m_i}$ - tezliyində müşahidə olunur. Burada ω_c – tsiklotron rezonans tezliyi, q_i – və m_i – toxuna ionlarının yükü və kütləsidir. Verilən ifadə sonda formal olaraq ionun tsiklotron tezliyinə uyğun gəlir. Yəni, $\nu_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$ - tezliyində biosistemin funksional xassəsinin dəyişməsi biosistemin ionsiklotron rezonansı adlanır.

Günəşin və geomaqnit sahəsinin aktivliyinin artması zamanı insan orqanizmində ürək-damar, endokrin, sinir sistemi, qan dövranı fəaliyyətinin pozulması ilə müşahidə olunan xoşagəlməz hadisələr baş verir. Heligeomaqnit amillərin təsiri damar tonusunu, arterial təzyiqin dəyişməsini, qanın koakulyasiyasının artması, ürəyin və digər orqanların ritmlərinin pozulması kimi fərdi reaksiyalarla müşayiət olunur. Nəticədə, hipertonik hədlərin sayının artmasını, beyninin qan dövranının ciddi surətdə pozulmasını, miokardın infarktını və qəfil ölüm hadisəsinin sayının artmasına səbəb olur.

Çox təəssüf ki, bəzən mətbuatda və televiziya vasitəsilə hava haqqında məlumatların çatdırılmasında meteohəssaslıqla maqnitohəssaslığı fərqləndirmirlər.

Ümumiyyətlə, meteo- və maqnitohəssaslığı birbirindən fərqləndirmək lazımdır.

Meteohəssaslıq – bu orta sutka ərzində havanın temperturunun, nisbi rütubətin, atmosfer təzyiqinin, yağıntının miqdarı və küləyin sürətinin dəyişməsi hər bir adamın sağlamlığına təsir edir. Ən başlıcası isə ürək-damar sistemi və nəfəs orqanları xəstə olan insanlar daha meteohəssas olur. Statistik məlumatlara əsasən sağlam insanlar arasında 35-45 %-ə qədəri meteohəssas insanlardır. Verilən məlumatlara əsasən sutkalıq temperatur dəyişməsinin hər 1^0S – artması zamanı miokardın infarktına tutulan xəstələrin sayı 1,9 %, insult olan xəstələrin sayı isə 4,9 % - artır.

Maqnitohəssaslıq: - əvvəldə deyildiyi kimi maqnit fırtınası dövründə miokardın infarktına tutulan xəstələrin sayı – 31 %, insulta tutulanların sayı isə - 23 % artması səbəb olur.

Müəyyən edilib ki, maqnit fırtınası zamanı yaranan aşağı tezlikli geomaqnit sahəsinin bioobyektlərə ciddi təsiri vardır. Həmin dövrdə sağlam (normal) könüllülərin maqnitohəssaslığı və hipertoniya xəstəliyindən əziyyət çəkən xəstələr üzərində aparılan tədqiqatların maraqlı nəticələri verilib.

Hipertoniya xəstələri iki qrupa ayırmışlar: birinci qrup üzrə - yüngül dərəcəli hipertonik xəstələr; ikinci – qrupa ağır xəstələri (yəni, ürək fəaliyyətində əhəmiyyətli dərəcədə problemi olan xəstələr). Aşkar edilib ki, ikinci qrup xəstələrin maqnitohəssaslığı - ~20 % qədər olmuşdur. Yəni, ürək – damar sistemində ciddi patologiyası olan insanlarda geomaqnit amilinə həssaslığı kəskin artması müşahidə olunub (bax şəkil 3).

Maqnit fırtınası baş verərkən yerətrafı kosmik fəza (YKF) həyəcanlanır ki, bu da peyklərin, radiosistemin və yer üzərindəki enerji sistemində problemlər yaradır.

YKF-ın həyəcanlanması həmçinin müasir naviqasiya sisteminin siqnallarına və bütövlükdə onunla əlaqəli olan bütün sistemə təsir göstərir. Günəşdə Yerin ionosfer və maqnitosferində baş verən hadisələrin qarşılıqlı əlaqəsi və insanların fəaliyyətinə və yaşadığı mühitin, halının ondan asılı olması Yerin maqnit sahəsinin öyrənilməsinə kompleks xarakter verir.

Dahi A. Eynşteyn vaxtilə demişdir ki, əsl elmi təfəkkürə həmişə "poeziya elementləri" daxil olur. Məhz buna görə, elmi biliklər əhəmiyyətli dərəcədə təbiəti poetik dərketməni zənginləşdirir.

Ümumiyyətlə, təbiətin elmi dərk olunması və mütəfəkkir tərəfindən onun poetik izahı əldən ələ keçərək bir-birini qarşılıqlı olaraq zəngiləşdirir. Fiziki biliklər təbiət hadisələrini onların daxili harmoniyasını və gözəlliyini daha aydın işıqlandırmağa imkan verir.

Haqqında danışdığımız "maqnit fırtınası" yaxud "qütb parıltısı" da təbiət hadisələrindən biri olub, onların yaranması dövründə baş verən heyranedici mənzərəni müşahidə edən rus şairi M.A. Dudinin həsr etdiyi aşağıdaki gözəl bir şeir dediklərimizə bariz misaldır (şeri ruscadan çevirəni Giya Paçxataşvilidir):

Bu şimal necə də gözəl oynaşır,
Üstümdə necə də alışır, yanır.
Onun buz Tacında göy qurşaqların
Rəngarəng işığı həyat adlanır!
Soyuq ehtirasın şux gözəlliyi
Şimala əxs edib gözəl təbiət.
Maqnit qasırğanın əsil gücüylə
Rənglərdə canlandı o birdən əlbət.

Göründüyü kimi, əvvəldə başvermə mexanizmini verdiyimiz maqnit qasırğasının və qütb parıltısı kimi təbiət hadisələrinin mənzərəsini müşahidə edərək şair Dudin heyranedici gözəlliyini poetik şəkildə çox gözəl ifadə etmişdir.

Belə ki, temperaturla əlaqəsi olmayan cismin (mühitin) məxsusi "soyuq işıq" saçması lüminessensiya adlanır. Şeirdə şair bunu "soyuq ehtirasın şux gözəlliyi" şəklində qələmə almışdır. Qütb parıltısının işığı da lüminessensiya hadisəsidir. Yəni, lüminessensiyanın baş verməsi üçün cisimdə (mühit) enerji toplanır. Bu həyəcanlanma enerjisi adlanır. Bu enerjini cisim (mühit) sonra işıqsaçmaqla şüalandırır ki, bununla da lüminessensiya hadisəsi baş verir.

Şair Dudin Günəş küləyinin Yerin maqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsirinin nəticəsi olan həyəcanlanmış mühitin məxsusi "soyuq işıq" saçması hadisəsini Şimal qütb parıltısını "soyuq ehtirasın sux gözəlliyi, Şimala əxz edib gözəl təbiət" deyərək heyranedici şəkildə çox gözəl dəyərləndirib.

[1] *D.O.Коллаган.* «Угроза солнечных супервспышек». В мире науки (01/02) 2022, с.52-60.

[2] *А.В. Медведев.* «Сила Солнца». В мире науки (05/06), 2022, с.97-103.

N.N. Aliyev, G.N. Huseynova

MAGNETIC FACTOR IN THE “THE SUN - THE EARTH – THE MAN” ECOLOGICAL SYSTEM AND BIOPHYSICS OF ITS EFFECT ON A HUMAN BODY

In the paper the creation mechanism of magnetic storm in the sun`s activation period is shown. In this process, the magnetic field having ultra lower alternating frequency (ULAF: 0-10 hz) is developed. As a result of action of this field on human organism the biophysical effects based on resonance mechanism are arrised. In our opinion this is a result of falling of frequency of biological rithms into the frequency region stated above.

Н.Н. Алиев, Г.Н. Гусейнова

МАГНИТНЫЙ ФАКТОР С ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ «СОЛНЦЕ-ЗЕМЛЯ-ЧЕЛОВЕК» И БИОФИЗИКА ЕГО ВЛИЯНИЯ НА ЧЕЛОВЕЧЕСКОЕ ТЕЛО

В статье показан механизм образования магнитного шторма в периоде солнечной активации. В этом процессе образуется магнитное поле с ультранизкой частотой (0-10 Гц). В результате действия магнитного поля на человеческий организм обнаруживаются биофизические эффекты на основе резонансного механизма. По нашему мнению, это происходит в результате совпадения частоты биологических ритмов с указанным выше частотным

İSTİLİK ELEKTRİK STANSİYALARININ SİNXRON VƏ ASİNXRONLAŞDIRILMIŞ TURBOGENERATORLARINDA NASOS VƏ VENTİLYATOR QURĞULARININ ÖTÜRÜCÜ İŞ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

ÜLKƏR İZZƏT QIZI AŞUROVA
Mingəçevir Dövlət Universiteti,
AZ4500, Mingəçevir, Dilarə Əliyeva küç. 21
ulker_ashurova@mail.ru

Bir çox enerji sistemində elektrik şəbəkələrində yüksək gərginlik səviyyəsini azaltmaq ehtiyacı problemi var. Gərginlik səviyyəsinin artması bir sıra səbəblərlə bağlıdır: gün və mövsüm ərzində qeyri-bərabər yük qrafiki, yün-gül yüklənmiş yüksək gərginlikli elektrik xətlərinin olması, elektrik şəbəkələrində reaktiv gücün kompensasiyası-nın qeyri-kafi dərəcəsi. Bu şərtlərdə mövcud enerji kompleksinin maksimum səmərəliliyi ilə işləməsi üçün onun işini optimallaşdırmaq lazımdır. İstilik elektrik stansiyalarının enerji sisteminin strukturunda həm müxtəlif para-metrlərə malik yüklərin ən böyük növünü buraxan obyektlərin, həm də bu yüklərin tez-tez dəyişdiyi (gündə bir neçə dəfə) obyektlərin olması faktına əsaslanaraq, daha sonra optimallaşdırılması onların işinin qısamüddətli re-jimləri elektrik enerjisi sisteminin kompleks optimallaşdırılmasının ən mühüm və mürəkkəb mərhələlərindən biridir [1].

Açar sözlər: Sinxron və asinxronlaşdırılmış turbogeneratorlar (STG, ASTG), İstilik elektrik stansiyalalarında yüklərin paylanması və optimallaşması, nasos və ventilyator qurğularının rejim xüsusiyyətləri.
UOT: 621.311

Bu problem təkcə elektrik birləşmələri və uzadılmış elektrik xətləri olan enerji sistemləri üçün deyil, həm də inkişaf etmiş hava və kabel elektrik şəbəkələri ilə bir-birinə və istehlakçılara bağlı olan çoxlu sayda əsasən istilik elektrik stansiyaları ilə xarakterizə olunan böyük konsentrasiya edilmiş enerji sistemləri üçün həll edilməlidir. Bu cür sistemlər yerə və elektrik xətlərinin fazaları arasında əhəmiyyətli bir ümumi tutuma malikdir. Transformatorlarda və avtotransformatorlarda, manevr reaktorlarında, aşırımölçənlərdə və digər növ avadanlıqlarda icazə verilən gərginlikdən artıq gərginliyin uzun müddət artması bu avadanlığın xidmət müddətinin kəskin azalmasına və qəzaların artmasına gətirib çıxarır, həmçinin etibarlılığını azaldır.

Magistral şəbəkələrdə gərginliyin tənzimlənməsi (reaktiv güc) aşağıdakılar tərəfindən həyata keçirilir:

• elektrik stansiyalarında sinxron generatorların (STG) avtomatik həyəcan tənzimləyiciləri;

• yarımstansiyalarda sinxron və statik tiristor kompensatorları;

• manevr reaktorları (MR), yük altında gərginlik tənzimlənməsi olan transformatorlar, statik kondensatorların bankları.

Gərginliyi azaltmaq üçün hətta həddindən artıq tədbirlərdən istifadə olunur, məsələn, magistral elektrik xətlərinin bağlanması enerji sistemlərinin etibarlılığını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və buna görə də elektrik şəbəkələrində gərginlik səviyyəsinin normallaşdırılması vasitəsi kimi tövsiyə edilə bilməz. Bundan əlavə, bir çox hallarda bu tədbir kifayət qədər effekt vermir.

Sinxron turbo və hidrogeneratorlar müəyyən həddlər daxilində reaktiv gücü tənzimləməyə qadirdir, lakin bu həddlər məhduddur. Elektrik stansiyalarının turbin generatorlarının reaktiv gücün istehlakı rejiminə keçirilməsi enerji sistemlərinin etibarlılığını aşağı salır və statorların son zonalarının həddindən artıq istiləşməsi və məhv olması səbəbindən elektrik stansiyalarının turbogeneratorları üçün təhlükəli iş şəraiti yaradır. Beləliklə, enerji sistemlərində yalnız ənənəvi sinxron turbogeneratorlardan istifadə edildikdə, enerji sistemlərinin elektrik şəbəkələrində gərginlik səviyyələrinin normallaşdırılması və tənzimlənməsi problemi əsaslı şəkildə həll edilə bilməz. Şəbəkələrdə əlavə olaraq reaktiv gücü idarə edən qurğuların (statik və ya elektrik maşınların) quraşdırılması, ya da reaktiv gücün çıxış və dərin istehlak rejimlərində sabit işləyə bilən STG istisna olmaqla, elektrik stansiyalarında xüsusi turbogeneratorlardan istifadə etmək lazımdır. İstilik elektrik stansiyalarında quraşdırılmış turbogeneratorların ümumi gücü 150 GVt (təxminən 1200 maşın) təşkil edir, halbuki turbogeneratorların təxminən 55%-i praktiki olaraq standartlarla müəyyən edilmiş minimum xidmət müddətini (25-30 il) işləyib. Sənaye istehsalının həcmi və bununla əlaqədar gözlənilən elektrik yüklərinin artımı cəhətdən köhnəlmiş avadanlığın dəyişdirilməsi üçün təcili tədbirlər tələb edir. Dəyişdirərkən generator tikintisində irəliləyişləri nəzərə almaq və avadanlığı tətbiq etmək lazımdır. Bura, xüsusən, texniki imkanlarına görə çoxməqsədli tətbiqə imkan verən asinxronlaşdırılmış turbogeneratorlar (ASTG) daxildir. İstilik elektrik stansiyalarında sinxron turbogeneratorlarla birgə istismarda ASTG-dən istifadə nəzəriyyəsini və təcrübəsini daha da inkişaf etdirməkdir.

Konkret olaraq işdə aşağıdakı əsas vəzifələr həll olunur:

1. Elektrik stansiyasının elektrik dövrəsinin riyazi modelinin, ASTG və STG-nın paralel fəaliyyətində dayanıqlı və keçici proseslərin öyrənilməsi üçün alqoritmlərin və kompüter proqramının işlənib hazırlanması.

2. ASTG və STG elektrik stansiyasında birgə fəaliyyət göstərən dayanıqlı və fövqəladə rejimlərin, dinamik dayanıqlığın və keçici proseslərin keyfiyyətinin təhlili.

3. Həyəcan sisteminin strukturu, idarəetmə sisteminin alqoritmləri və parametrləri üzrə tövsiyələrin işlənib hazırlanması, istilik elektrik stansiyalarında ASTG-nin iş rejimlərinin saxlanılması üçün tövsiyələr.

Qarşıya qoyulmuş vəzifələri həll etmək üçün aşağıdakılardan istifadə edilmişdir: elektromexaniki keçid nəzəriyyəsi, elektrik enerjisi sistemlərində keçici və sabit proseslərin təhlili üçün analitik üsullar, riyazi və fiziki modelləşdirmə üsulları, PC-də proqramlaşdırma nəzəriyyəsi və təcrübəsi, rəqəmsal sistemlərdə eksperimental tədqiqatlar və elektrodinamik modellər, dəzgah və tam miqyaslı testlər.

ASTG-nin universal riyazi modeli, alqoritmlər və proqram təminatı işlənib hazırlanmışdır ki, bunlar aşağıdakılarla fərqlənir:

• həyəcanlandırma və idarəetmə sistemlərinin müxtəlif strukturları olan generatorun dayanıqlı və keçici proseslərinin hesablamalarının aparılmasının mümkünlüyü;

• verilmiş səviyyədə həyəcan cərəyanlarının məhdudiyyətlərinin nəzərə alınması;

• rotor sarımlarının (dolaq sarğı) elektromaqnit parametrlərinin dəyişdirilməsi imkanı;

• son modeldə lazımi sayda ASTG modelinə malik olmağa imkan verən tam blok strukturu;

• adi asinxronlaşdırılmış rejimdən ehtiyata və əksinə keçidləri həyata keçirməyə imkan verən idarəetmə sisteminin və kommutasiya qurğularının olması.

Tərkibində STQ və ASTG, transformatorlar və avtotransformatorlar, yerli yük və digər avadanlıqlar olan elektrik stansiyasının elektrik dövrəsinin riyazi modeli işlənib hazırlanmışdır. Alqoritmlər və proqram təminatı STG və ASTG-nin sabit və keçici rejimlərdə paralel işləməsini tədqiq etməyə imkan verir.

1. ASTG universal riyazi modeli, o cümlədən generatorun amortizator sxemlərinin tənlikləri və idarəetmənin alqoritmləri və parametrlərinin dəyişməsi ilə həyəcan sisteminin müxtəlif strukturları ilə generatorun statik və dinamik rejimlərini hesablamağa imkan verən proqram təminatı.

2. Müxtəlif gərginlik sinifli istilikdaşıyıcılara, transformatorlara və avtotransformatorlara, yerli yüklənməyə və digər avadanlıqlara qoşulmuş, paralel qoşulmuş STG və ASTG turbogenerator qruplarından ibarət elektrik stansiyasının elektrik dövrəsinin riyazi modeli. Belə bir elektrik stansiyasının iş rejimləri üzrə tədqiqatların aparılması üçün alqoritmlər və proqram təminatı. Belə elektrik stansiyası modellərinin qurulması metodologiyası.

3. STG ilə birlikdə işləyərkən generatorun işinin etibarlılığını artırmağa və elektromexaniki keçidlərin keyfiyyətini yaxşılaşdırmağa imkan verən ASTG həyəcanlandırma və idarəetmə sisteminin strukturu və idarəetmə alqoritmləri.

4. Real elektrik stansiyasında STG ilə işləyərkən ASTG-nin dayanıqlı və keçici proseslərinin hesablamalarının nəticələrinə əsasən ASTG rejimlərinin saxlanması üçün tövsiyələr.

Eyni gücə malik sinxron maşınla müqayisədə ASTG-nin daha yüksək qiymətinə baxmayaraq, onun içindəki əlavə xərclər daha səmərəlidir və elektrik stansiyasının şinlərinə qoşulmuş əlavə keçid reaktorunun xərclərindən daha tez ödəyir. ASTG-dən istifadənin texniki və iqtisadi effekti əsasən sistemli xarakter daşıyır və onları işlətməli olan ayrı-ayrı elektrik stansiyalarının kommersiya maraqlarından kənara çıxır.

Müasir iqtisadi şəraitdə bu vəziyyət asinxronlaşdırılmış turbogeneratorların tətbiqinə mane olur. Bu amilin mənfi təsirini aradan qaldırmaq üçün elektrik stansiyaları və enerji sistemləri arasında asinxronlaşdırılmış turbogeneratorların istifadəsindən effektin paylanması prinsipi və mexanizmi məsələsini həll etmək lazımdır [2]. ASTG-nin tətbiqi onlarla paralel işləyən sinxron maşınların az həyəcanlanma rejimlərini istisna etməyə və bununla da onların etibarlılığını və dayanıqlığını artırmağa imkan verir. Bu vəziyyət, elektrik stansiyalarının özlərinin ASTG-dən istifadədə bilavasitə texniki və iqtisadi marağı ilə bağlı ola bilər ki, bu da fövqəladə avtomatika işə salındıqdan sonra enerji bloklarının yenidən işə salınma sayının azalması nəticəsində mümkün yanacağa qənaətlə dəstəklənir. ASTG-nin sağ qalma qabiliyyətini qiymətləndirmək üçün həyəcanlandırma və idarəetmə sistemlərində qəzalar zamanı keçici proseslər təhlil edilmişdir. Göstərilmişdir ki, bir sıra hallarda keçici proseslər uzanan xarakter daşıyır və rejim parametrlərində əhəmiyyətli dalğalanmalar, stator cərəyanının yüksəlməsi, hətta rotorun dirsəkləri və sinxronizmin itirilməsi ilə müşayiət olunur. Bu mənfi amilləri aradan qaldırmaq üçün ASTG idarəetmə sisteminin alqoritmlərinin optimallaşdırılması aparılmamışdır.

Elektrik stansiyasının işlənmiş riyazi modeli və proqram təminatı aşağıdakılara imkan verir:

• ilkin stabil vəziyyəti hesablamağa;

• müxtəlif növ pozğunluqlar üçün dinamik dayanıqlığın hesablamalarını aparmaq (yükləmə/yükləmə; stansiya avtobuslarında, yerli yükün qoşulma nöqtələrində qısaqapanma);

• həyəcanlandırma və idarəetmə sistemlərində qəzalar zamanı generatorun (generatorların) işini qiymətləndirmək;

• ASTG-nin strukturunda əllə və ya avtomatik dəyişikliklərin aparılması;

• ASTG tənzimləyicisinin asinxron idarəetmə prinsipindən sinxron idarəetmə prinsipinə və əksinə əllə və ya avtomatik keçidini həyata keçirin.

Tərkibində ASTG olan elektrik stansiyasının sabit iş rejimləri nəzərdən keçirilir [2].

Stabil vəziyyət rejimlərinin hesablamaları aşağıdakıları müəyyən etməyə imkan verdi:

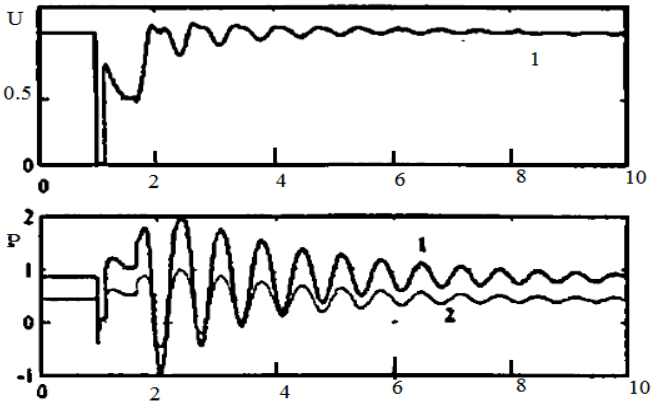
• ASTG-nin xarakterik iş rejimləri;

• paralel işləyən STQ-lərə reaktiv enerji istehlakı rejimlərinin təsiri;

• reaktiv gücün dərin istehlakı rejimlərində ASTG əməliyyatı zamanı köməkçi istilikdaşıyıcılarında gərginlik səviyyələri.

ASTG az həyəcan rejimlərində işləyərkən (reaktiv enerji istehlakı), köməkçi istilikdaşıyıcılarında aşağı gərginlik səviyyələri müşahidə olunur, lakin onlar köməkçi transformatorun yük altındakı kran dəyişdiricisinin müvafiq tənzimlənməsi ilə məqbul hədlərdə olur. Buna görə də, köməkçi avadanlığın normal işləməsi üçün transformatorun yük altında kran dəyişdiricisinin avtomatik idarə edilməsi tövsiyə olunur. Stabil vəziyyət rejimlərinin hesablamaları enerji sistemindəki pozulmalar (tökülmə/yük artımı, qısaqapanma və s.) və

həyəcanlandırma sistemində baş verən qəzalar nəticəsində yaranan keçici proseslərin öyrənilməsində generatorların ilkin rejimlərini təyin etməyə imkan verdi. Sinxron turbogeneratorlarla paralel işləyərkən ASTG, daha çox reaktiv gücün çıxışı olan zonaya ötürülməsi, həmçinin stansiya istilikdaşıyıcılarında gərginliyin daha sürətli bərpası hesabına STG-nin dinamik dayanıqlığının hədlərinin artırılmasını təmin edir [1]. Göründüyü kimi, paralel işləyən STG-nin salınımlarının sönümlənməsinə kömək edir, keçici proses isə daha kiçik Salınım amplitudası ilə baş verir və daha tez başa çatır (şəkil 1).



Şəkil 1. Üç fazalı qısaqapanma stansiya istilikdaşıyıcıları (marşurutları) [1]. U - stansiya istilikdaşıyıcılarında gərginlik; P - aktiv güc

Şəkildən göründüyü kimi, adi ASG rejimindən və bir ox boyunca həyəcanlı rejimlərə keçid qadağandır, çünki uğurlu keçidin mümkünlüyü bir çox amillərdən asılıdır: generatorun ilkin iş rejimi baxımından aktiv və reaktiv gücün və sarğılardan hansının işlək vəziyyətdə qalması. Nəticədə həm stabil, həm də qeyri-sabit rejimə keçid mümkündür (rotorun əyilməsi, həyəcanla asinxron işləmə). Buna görə də, ilkin rejimdən həyəcanlandırma kanallarından birində hər hansı qəza (uğursuzluq) baş verdikdə, generator qeyd-şərtsiz asinxron rejimə (AG) keçir. Bundan əlavə, nasazlığın səbəbini müəyyən etdikdən sonra heyət (asinxron rejimdə generator qeyri-müəyyən müddətə işləyə bilər) generatoru həyəcan sarğılarından birində həyəcanla iş rejiminə və həyəcanlandırma ilə normal rejimə (nasazlıqların aradan qaldırılmasından sonra) keçirə bilər. (Tiristor çeviricilərində cərəyanın dəyişdirilməsi zamanı körpülərin dəyişdirilməsi anında həyəcan sistemində daxili qısaqapanmanın aradan qaldırılması körpülərin ayrıca idarəetmə sistemi ilə həyata keçirilir ki, bu da problemsiz geri dönüşün yüksək etibarlılığını və minimum ölü vaxtı təmin etməlidir. Kompüter stendində aparılan tədqiqatlar ASTG-nin reaktiv gücün həm çıxış, həm də istehlak rejimlərində yüksək dinamik sabitlik səviyyəsini saxladığı maksimum icazə verilən vaxtı müəyyən etməyə imkan verdi. Transformatorların, avtotransformatorların, sinxron kompensatorların mövcudluğu nəzərə alınmaqla, müxtəlif gərginlikli (220 kV, 500 kV) istilikdaşıyıcıya qoşulmuş generator blokları (STG və ASTG) olan elektrik stansiyasının elektrik dövrəsinin modeli hazırlanmışdır:

- Model sinxron və asinxronlaşdırılmış turbogeneratorların paralel işləməsi zamanı baş verən prosesləri əlaqələrin həqiqi elektrik dövrəsini ən tam əks etdirən ekvivalent sxemə uyğun öyrənməyə imkan verir;

- Həyəcan sarğılarının asimmetrik (ümumiyyətlə) strukturuna malik, rotor massivinin üç dövrəli ekvivalent sxemi və amortizatorun sarğısı olan ASTG modeli istənilən növ ASTG-ni öyrənməyə imkan verir;

- Asinxron rejimə operativ və fövqəladə keçidlərin və asinxron rejimdən həyəcanlı rejimlərə tərs keçidin şərtlərini tədqiq etməyə imkan verən bloklar təqdim edilmişdir. ASTG-nin sinxron idarəetmə prinsipinə keçidlə bir ox boyunca həyəcanla işləməsi, həmçinin iki ox boyunca həyəcanla işləmə və sinxron idarəetmə prinsipi təmin edilir. Turbin modeli ixtiyari qrafikə uyğun olaraq turbinin boşaldılmasına imkan verir;

- Hazırlanmış metodologiya əsasında elektrik stansiyasının blok modeli standart blokları artırmaqla mürəkkəbləşdirilə bilər və ya əksinə, sadələşdirilə bilər ki, bu da demək olar ki, istənilən real elektrik stansiyasının modelini tez bir zamanda yaratmağa imkan verir;

- Elektrik stansiyasının işlənib hazırlanmış riyazi modeli və proqram təminatı aşağıdakılara imkan verir: ilkin sabit vəziyyət rejimlərinin hesablamalarını aparmaq; müxtəlif növ pozğunluqlar üçün dinamik dayanıqlığın hesablamalarını aparmaq (yükləmə/yükləmə; stansiya istilikdaşıyıcılarında, yerli yükün qoşulma nöqtələrində qısaqapanma); həyəcanlandırma və idarəetmə sistemlərində qəzalar zamanı generatorun (generatorların) işini qiymətləndirmək; ASTG-nin strukturunda əllə və ya avtomatik dəyişikliklərin aparılması; ASTG tənzimləyicisinin asinxron idarəetmə prinsipindən sinxron idarəetmə prinsipinə və əksinə əllə və ya avtomatik keçidini həyata keçirməsi;

- Elektrik stansiyalarında aktiv yükün azalması və gərginlik səviyyəsinin artması müşahidə edildikdə, gecə saatlarında asinxron rejimindən istifadə etmək tövsiyə olunur. ASTG-nin asinxron rejimdə işləməsi həyəcanlandırma sistemində profilaktik baxım aparmağa, həmçinin onun xidmət müddətini artırmağa imkan verir;

- ASTG az həyəcan rejimlərində işlədikdə (reaktiv enerji istehlakı), köməkçi istilikdaşıyıcılarında gərginlik adətən azalır. Buna görə də, köməkçi avadanlığın normal işləməsi üçün transformatorun yük altında kran dəyişdiricisinin avtomatik idarə edilməsindən istifadə

etmək tövsiyə olunur. Paralel işləyən sinxron və asinxronlaşdırılmış turbogeneratorlarla elektrik stansiyasının dinamik dayanıqlığının aparılmış tədqiqatları göstərmişdir ki, asinxronlaşdırılmış turbogenerator həm çıxış rejimlərində, həm də reaktivin dərin istehlakı rejimlərində dinamik gücü sabitdir. Sinxron turbogeneratorlarla paralel işləyərkən ASTG, daha çox reaktiv gücün çıxışı olan zonaya ötürülməsi, həmçinin stansiya istilikdaşıyıcılarında gərginliyin daha sürətli bərpası hesabına STG-nin dinamik dayanıqlığının hədlərinin artırılmasını təmin edir;

- ASTG-nin normal iş rejimindən ehtiyata və əksinə keçidi üçün təklif olunan alqoritmlər keçidlərin keyfiyyətini yaxşılaşdırmağa, həmçinin generatorun etibarlılığını artırmağa imkan verdi. Fövqəladə iş rejimlərinin həyəcan tənzimləyicisinin inkişafı və elektrik stansiyalarında sinxron və asinxronlaşdırılmış turbogeneratorlar üçün mikroprosessor əsaslı həyəcan tənzimləyicilərinin qurulması üçün kompüter stendi hazırlanmışdır. Asinxronlaşdırılmış idarəetmə prinsipini həyata keçirən həyəcan tənzimləyicisi üçün istinad siqnalı olaraq, stansiya şininin gərginliyindən (aqreqat transformatorunun daha yüksək gərginlikli tərəfdən) istifadə edilməsi tövsiyə olunur.

İstilik-energetika kompleksində enerjiyə qənaətin ümumi tanınan vasitəsi, qurğuların yaradılması və paylanmasının köməkçi mexanizmləri üçün tezliklə idarə olunan elektrik ötürücüsünün istifadəsidir. Dəyişən sürət ötürücü tənzimləməni aradan qaldırmaqla yanaşı, bir sıra mühüm texnoloji imkanları da təmin edir. İstilik elektrik stansiyalarının əsas mexanizmlərinin elektrik ötürücüləri məsul kimi təsnif edilir. Şəbəkə nasoslarının işində fasilə şəbəkə suyunun minimum istehlakı səbəbindən qorunmaq üçün bütün qazanların bağlanmasına səbəb olur. Fərdi qazan aqreqatlarının işi başqalarından, məsələn, qaralama mexanizmlərindən asılıdır. Tezlik çeviriciləri qısamüddətli tədarük gərginliyinin azalmasına həssasdır, buna görə də, enişin hətta 20-30% baş verməsi mexanizmin və onunla birlikdə teztez bütün stansiyanın təcili dayandırılmasına səbəb olur. İstilik stansiyalarının avadanlıqlarının etibarlılığının aşağı salınması və onların dayanmalarının sayının artması ciddi problemdir. Fasiləsiz işləməyi təmin etmək vəzifəsinə əlavə olaraq, istilik elektrik stansiyalarının nisbətən "zəif" enerji təchizatı şəbəkələrində tezlik çeviricilərinin mənfi təsirlərinin azaldılması vəzifəsi, mövcud enerji təchizatında elektromaqnit uyğunluğu problemlərinin həlli zərurəti ilə bağlıdır. İstilik elektrik stansiyalarında enerjiyə qənaət edən tezliklə idarə olunan elektrik ötürücülərindən istifadənin texniki və iqtisadi səmərəliliyinin artırılmasına, həmçinin istilik enerjisi ilə əlaqəli avadanlıqların etibarlılığının artırılmasına yönəlmiş bir sıra problemləri həll etməkdir. Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı vəzifələr həll edilmişdir:

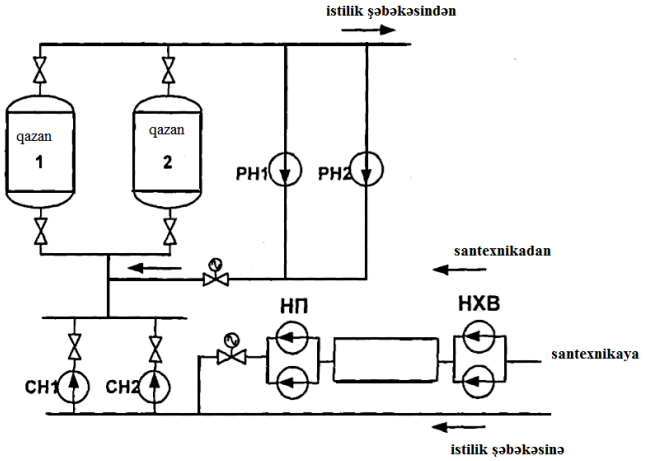
1. İstilik elektrik stansiyalarında tezliklə idarə olunan elektrik ötürücülərindən istifadənin texniki-iqtisadi təhlilinin və əsaslandırılmasının mühəndis metodologiyasının işlənib hazırlanması.

2. Optimal iş rejimlərinin təmin edilməsi baxımından istilik elektrik stansiyalarının əsas mexanizmlərinin hər bir qrupu üzrə tezliklərin idarə edilməsi sxemlərinin texniki həllərinin öyrənilməsi, texnoloji avadanlıq, enerji daşıyıcılarının, elektrik enerjisinin itkilərinin azaldılması və xərclərin minimuma endirilməsi.

3. Enerji təchizatı sistemində gərginliyin düşməsi zamanı istilik elektrik stansiyalarının özünü işə salma rejimində məsul mexanizmlərinin xüsusiyyətlərinin tədqiqi, gərginliyin düşməsi zamanı etibarlılığını artırmaq üçün tövsiyələrin hazırlanması.

4. İstilik elektrik stansiyalarının enerji təchizatı şəbəkələri ilə elektromaqnit uyğunluğunun təmin edilməsi baxımından tətbiq olunan sxemlərinin təhlili, tələbin yerinə yetirilməsi nəzərə alınmaqla istilik elektrik stansiyalarının şəraitində rasional sxemlərin istifadəsi üzrə tövsiyələrin işlənib hazırlanması.

5. Qazanların etibarlı istismarının təmin edilməsi meyarına əsaslanaraq istilik elektrik stansiyalarının kritik mexanizmlərinin obyektyönümlü tələbləri tərtib edilir və istilik təchizatı obyektlərinə münasibətdə optimal tezlik idarəetmə sxemlərinin seçilməsi üçün tövsiyələr hazırlanır.



Şəkil 2. İstilik elektrik stansiyasının növbəsinin texnoloji sxemi [3].

Əsas mexanizmlərin nümayişi ilə tipik istilik elektrik stansiyasının növbəsinin texnoloji sxemi şəkil 2-də göstərilmişdir. Texnoloji prosesi müəyyən edən əsas mexanizmlər şəbəkə və resirkulyasiya nasosları və mənbə su nasoslarıdır. Üfləyici ventilyatorlar və tüstü çıxarıcılar qazanların istilik çıxışını və hava-qaz nisbətini tənzimləyir. Hər bir mexanizm qrupunun iş rejimlərinin təhlili əsasında idarə olunan sürücüyə keçi-

din məqsədəuyğunluğu əsaslandırılır və ən prioritet mexanizmlərdir. Modernizasiya enerji və resurs qənaəti, eləcə də şəbəkə nasoslarının, üfürücülərin və tüstü çıxarıcıların texnoloji zərurətinin tənzimlənməsi baxımından müəyyən edilir [5].

Avadanlığın iş parametrləri; - qazanın istilik yükü ilə bağlı məlumatlar əsasında layihə mexanizmlərinin enerji qənaətini proqnozlaşdırmaq üçün bir üsul hazırlanmışdır; - qazan çəkmə mexanizmlərini tənzimlənən ötürücülərlə təchiz edərkən qaza qənaət nəzərə alınır; - icrası layihələrinin həyata keçirilməsi üçün hər hansı qəbul edilmiş dövr üçün gəliri və geri ödəmə müddətini müəyyən etmək üçün genişləndirilmiş iqtisadi alətdən istifadə edərək, enerji qənaətinin proqnozlaşdırılması metodu hazırlanmışdır [1]. Üfləyici ventilyatorun və tüstü çıxarıcının idarə olunan və idarə olunmayan sürücüləri ilə elektrik enerjisinin istehlakına dair eksperimental məlumatlar əsasında əldə edilmişdir. Yüksək gərginlikli çeviricilərin ümumi sxemləri onların istilik elektrik stansiyalarında istifadəsinin məqsədəuyğunluğu və tərtib edilmiş texniki tələblərə uyğunluğu üçün nəzərdən keçirilir: - sürücünün mühərrikinə birbaşa qoşulmaqla inverterin yüksək gərginlikli modifikasiyası üçün müxtəlif variantlar; - aşağı gərginlikli tezlik çeviricisi olan iki transformatorlu dövrə; - yüksək gərginlikli asinxron mühərrikin aşağı gərginlikli mühərriklə dəyişdirilməsi; - bölməli aşağı gərginlikli klapan-induktor sürücüsünün istifadəsi. Gərginliyin düşməsi zamanı stabil işləmək üçün xüsusi olaraq hazırlanmış bölməli klapan-induktor sürücüsü optimaldır. Asinxron mühərrikləri olan şəbəkə nasoslarını idarə etmək üçün yüksək gərginlikli çeviricilərdən istifadə edərkən, motorun idarə edilməsini qruplaşdırmaq məqsədəuyğundur. O, nasosların hər biri qarşılıqlı ehtiyatla tezlik çeviricisi tərəfindən idarə olunan nasosların sayından asılı olaraq qruplara bölünməsinə əsaslanır. Qısa elektrik kəsilməsindən sonra ilkin iş rejiminə qayıtmaq üçün vaxta ciddi tələblər qoyulduğundan, istilik qurğusunun şəbəkə nasoslarına və çəkmə mexanizmlərinə bölməli klapan-induktor sürücüsünün quraşdırılması ən məqsədəuyğundur Mühərrikin hər bir bölməsi bir-biri ilə sinxronlaşdırılan öz çeviricisi tərəfindən idarə olunur. İki müstəqil mənbədən eyni vaxtda enerji təchizatı sayəsində bu elektrik ötürücü bir bölmədə qısamüddətli elektrik kəsilməsi zamanı tənzimlənən mexanizmi işlək vəziyyətdə saxlamaq imkanına malikdir. Elektrik enerjisi bərpa edildikdən sonra enerjisiz olan bölmələr işə salınır və işləyənlərlə sinxronlaşdırılır. Eyni zamanda, klapan-istəksizlik mühərriki yalnız fərdi nəzarət tələb edən 50 Hs şəbəkədən birbaşa işləmək qabiliyyətinə malik deyil. Şəbəkə nasosu dayandırıldıqda, qazandan qızdırılan suyun axınının icazə verilən dəyərdən aşağı düşməsi halında, qoruma işə salınır və gecikmə vaxtı geri sayımdan sonra qazan məcburi şəkildə işə salınır. Üfürülən hava təzyiqinin düşməsi ilə fövqəladə qorunma tərəfindən nəzarət edilir və təxminən 3-4 s gecikmə ilə qazan ocaqları söndürülür. Bu, fövqəladə mühafizəsi sobadakı vakuumun böyüklüyü ilə tətiklənən tüstü çıxarıcıya da aiddir [4].

İstilik elektrik stansiyalarında istifadə şəraitində tezliklə idarə olunan elektrik ötürücüsünün dövrə rejim xüsusiyyətlərinin aparılmış tədqiqatları aşağıdakı əsas nəticələri əldə etməyə imkan vermişdir: Mexanizmlərin iş rejimlərinin təhlili əsasında istilik elektrik stansiyalarının köməkçi ehtiyacları, enerji və resurs qənaəti, eləcə də tənzimləmənin texnoloji ehtiyacı baxımından modernləşdirmənin ən prioritet mexanizmləri müəyyən edilmişdir. İstilik elektrik stansiyalarının enerji təchizatı şəbəkələrinin xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla onların əmin edilməsi baxımından çeviricilərin seçilməsi və istifadəsi üzrə tərtib edilmiş, əsaslandırılmış və eksperimental tədqiqatlar və onların əsasında əldə edilmiş nəticələr istifadəni optimallaşdırmağa, həmçinin təchiz edilmiş istilik elektrik stansiyalarının istismarının etibarlılığını artırmağa imkan vermişdir [4].

Elektrik enerjisinin qiymətinin formalaşması elektrik enerjisi təchizatı üçün ən ucuz təkliflərin seçilməsi üçün rəqabət mexanizmi əsasında baş verir. Ticarət sektorlarından biri də gün öncəsi bazarıdır. Elektrik enerjisi bazarında ticarət sisteminin inzibatçısı sifarişləri qiymət miqyasında ən ucuzdan ən bahasına qədər sıralayır. Tender təklifləri istehsal edən şirkətlərin müəyyən bir müddət ərzində müəyyən qiymətə tədarük edəcəyi elektrik enerjisinin həcmini əks etdirir. Aydındır ki, qiymət təklifində yanacaq komponenti istilik elektrik stansiyaları (İES) avadanlığının optimal seçilməsi və yüklənməsi şərtindən müəyyən edilməlidir. Təqdim edilmiş müraciətlərin müqayisəsi nəticəsində sistem operatorunun operativ dispetçer nəzarəti həyata keçirilir. Ümumilikdə elmi yenilik istilik elektrik stansiyalarının avadanlıqlarının həm tərkibinin, həm də iş rejimlərinin birgə optimallaşdırılması, istilik və elektrik yüklərinin avadanlıqlar arasında bölüşdürülməsi metodologiyasının yaradılmasındadır. Bu texnika ilk dəfə olaraq bütün mümkün birləşmələrdən avadanlığın tərkibinin və iş rejimlərinin ən yaxşı birləşməsini tez bir zamanda seçməyə imkan verir, avadanlığın tərkibinin təyin olunduğu bir çox mövcud metodlardan fərqli olaraq, yalnız istilik və istilik paylanması. avadanlıqlar arasında elektrik yükləri optimallaşdırmaya məruz qalır. Proqram paketinin effektivliyini qiymətləndirmək üçün avadanlığının tərkibinin və iş rejimlərinin özbaşına təyin edilməsi üçün modul optimallaşdırma seçiminin nəticələrini və hər hansı digər icazə verilən rejimi müqayisə etməyə imkan verir. Eyni zamanda, optimallaşdırma modulunda və ixtiyari tapşırığın modulunda İES-lərin istilik sxemlərini, turbinlər üçün buxar sərfini və qazanlar üçün yanacağın hesablanması üçün proqrama daxil edilmiş eyni alqoritmlər və enerji xüsusiyyətləri istifadə olunur. Elektrik enerjisi bazarında elektrik stansiyasının rəqabət qabiliyyətini artırmaq, çünki optimallaşdırma nəticəsində stansiyanın elektrik enerjisi ilə təchizatı üçün müraciətində yanacaq komponenti minimal olacaqdır. İES-lərdə istilik və elektrik yüklərinin iqtisadi paylanmasının müəyyən edilməsi problemi üçün indi müxtəlif dəqiqlik dərəcələri ilə verilmiş kompozisiyalar və avadanlıqların iş rejimləri üçün yüklərin optimal paylanmasını tapmağa imkan verən nəzəri və praktik həllər hazırlanmışdır [3]. Turbin sexi avadanlığının kombinasiyaları arasında istilik və elektrik yüklərinin optimal paylanması modulu aşağıdakı prosedurları yerinə yetirir:

1. Hər bir kombinasiya üçün canlı buxar kollektorundan öz istehlak funksiyası (axın xarakteristikası) formalaşır.

2. İstehlak xarakteristikasına görə, bərabərlik və məhdudiyyətlər kimi məhdudiyyətlərlə şərti optimal axtararaq, istilik və elektrik (İES-in işinin elektrik cədvəlini təyin edərkən) yüklərin hər bir avadanlığın "daxili" paylanmasının optimallaşdırılması həyata keçiriləcək və optimallaşdırılacaqdır.

Qazan seçim modulundan alınan bütün kombinasiyalarda minimum yanacaq sərfiyyatı meyarına uyğun olaraq hər kombinasiyaya daxil olan qazanlar arasında buxar sərfinin optimal paylanması üçün axtarış aparılır. Qazanların birləşmələri İES-lərin minimum yanacaq sərfiyyatı üçün optimallaşdırma meyarına uyğun olaraq sıralanır. Minimum kriteriyaya malik kombinasiya seçilir. Optimallaşdırma məlumatları istilik, buxar, yanacaq sərfiyyatının balansını yoxlamaq üçün qurğuya göndərilir. Proqram paketinin hesablanmasının nəticələri göstərilir. Həm optimallaşdırma modulundan istifadə edərək, həm də ixtiyari tapşırıq modulundan istifadə edərək proqram paketində aparılan avadanlığın iş rejimlərinin hesablamaları istilik və elektrik enerjisi istehsalının real proseslərini olduqca dəqiq əks etdirir (istismar hesabatlarına və onlarda yanacaq sərfiyyatına görə), istilik elektrik stansiyalarının istilik sxemlərinin və buxar-su və elektrik balanslarının məlumatlarının hesablanması üçün riyazi modelin kifayət qədər dəqiqliyini göstərir [5].

[1] *И.А. Лабунец, Т.В. Плотникова, П.В.Сокур.* Обеспечение надежности работы асинхронизированных турбогенераторов. Вестник УГТУ-УПИ №5 (25). Электромеханические и электромагнитные преобразователи энергии и управляемые электромеханические системы. Сборник докладов международной конференции. Часть I Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТПУ-УПИ, 2003, с.33-36.

[2] *П.В. Сокур.* Математическая модель электростанции с синхронными и асинхронизированными турбогенераторами. II научно-техническая конференция молодых специалистов электроэнергетики. Москва, 15-19 сентября 2003 г. Сборник докладов. М: «НЦ Энас», 2003, с. 79-84.

[3] *Д.В. Тарасов, А.В. Сорокин, Г.Б. Лазарев.* Экономические и экологические аспекты внедрения регулируемого привода на теплоснабжающих предприятиях города. Электрические станции, 2006.

[4] *Д.В. Беляев, А.М. Вейнгер, Д.В. Тарасов.* Нестационарные процессы в регулируемом электроприводе с высоковольтным преобразователем частоты сетевого насоса станции теплоснабжения. Электротехника, 2007, № 10.

[5] *Н.С. Иванов, В.И. Беспалов, Н.С. Лопатин.* Программный комплекс для оптимизации режимов работы тепловых электростанций и эффективность его применения// Известия Томского политехнического университета. 2008.-Т. 313.-№4.-С. 40-44.

U.I. Ashurova

TRANSFER CHARACTERISTICS OF PUMP-FAN UNITS OF SYNCHRONOUS AND ASYNCHRONOUS TURBOGENERATORS OF THERMAL POWER PLANTS

Many power systems are faced with the challenge of reducing high levels of voltage in the power grid. The increase in the voltage level is due to a number of reasons: an uneven load schedule during the day and season, the presence of lightly loaded high-voltage power lines, and an insufficient degree of reactive power compensation in electrical networks. Under these conditions, it is necessary to optimize the operation of the existing energy complex for its maximum efficiency. Based on the fact that in the structure of the energy system of thermal power plants there are both objects that release the largest type of loads with different parameters, and objects on which these loads change frequently (several times a day), further optimization of short-term temporary modes of their operation is the most important part of the integrated optimization of the electric power system and one of the complex stages

У.И. Ашурова

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАСОСНО-ВЕНТИЛЯТОРНЫХ АГРЕГАТОВ СИНХРОННЫХ И АСИНХРОННЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Многие энергосистемы сталкиваются с проблемой необходимости снижения высоких уровней напряжения в электросетях. Повышение уровня напряжения обусловлено рядом причин: неравномерным графиком нагрузки в течение суток и сезона, наличием малонагруженных высоковольтных линий электропередач, недостаточной степенью компенсации реактивной мощности в электрических сетях. В этих условиях необходимо оптимизировать работу существующего энергетического комплекса для его максимальной эффективности. Исходя из того, что в структуре энергосистемы тепловых электростанций имеются как объекты, высвобождающие наибольший вид нагрузок с разными параметрами, так и объекты, на которых эти нагрузки меняются часто (несколько раз в сутки), дальнейшая оптимизация кратковременных временные режимы их работы – важнейшая часть комплексной оптимизации электроэнергетической системы и один из комплексных этапов.

HERBİG Ae/Be ULDUZLARININ ÜMUMİ XARAKTERİSTİKALARI

F.S. HÜSEYNOVA
Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi
Batabat Astrofizika Rəsədxanası
faidahuseynova@gmail.com

Məqalədə HAEBE tipli cavan ulduzların fotometrik və spektroskopik xüsusiyyətləri haqqında geniş məlumat verilmişdir. Herbig Ae/Be tip ulduzları A-B spektral sinfinə aid olan cavan ulduzlardır. HAeBe ulduzlarında İQ diapazonda güclü şüalanma xətləri müşahidə olunur ki, bu da ulduzətrafı örtüyün və infraqırmızı artıqlığın olduğunu sübut edir. Xətti polyarlaşmanın vaxt dəyişmələri HAeBe ulduzlarında geniş yayılmışdır. İQ artıqlığı və akkresiya axınları üçün xarakterik olan bəzi xətt profillərini izah etmək məqsədilə HAeBe ulduzları üçün maqnitosferik akkresiya modelləri təklif edilmişdir. Lakin, bu modellər çox ehtimal ki, yalnız HAe və daha soyuq HBe ulduzları üçün istifadə oluna bilər. Daha isti HBe ulduzların aktivlik mexanizmi hələ aydınlaşdırılmamışdır.

Açar sözlər: HAeBe ulduzlar, şüalanma xətləri, infraqırmızı artıqlıq, rentgen şüalanma.

Herbig Ae/Be ulduzları H-R diaqramında Baş Ardıcıllıqdan sağda və yuxarıda yerləşən cavan ulduzlar sinfinə aiddir. Onların adı Hes (Herbig emission-line stars) və ya HAEBE (Herbig Ae/Be stars) kimi qısaldılmışdır. Həmçinin, Herbig (1960) tərəfindən bəzi xüsusiyyətləri aşağıdakı kimi müəyyənləşdirilmişdir [12]:

1. Spekrtal sinifləri A və ya B tip olur.
2. Bu ulduzlar qaranlıq dumanlıqlar içərisində yerləşir.
3. Bu tip HAEBE ulduzları yaxınlığındakı dumanlığı kifayət qədər parlaq işıqlandırır.

Bundan başqa, eyni spekrtal sinifdə yerləşən Hes-i Be klassik tip ulduzlarından bu xüsusiyyətlər ayırır. Daha sonra, Strom və b. tərəfindən bu tip ulduzların aşağıdakı digər xarakteristikalarıda əlavə edildi [23]:

a) İnfraqırmızı artıqlıq – bir çox Hes-də nəzərə çarpacaq dərəcədə İQ artıqlıq müşahidə edildi ki, bu da ulduzun ətrafında qaz-toz diskinin mövcüdluğunu göstərir.
b) Vaxt dəyişikliyi – ümumiyyətlə, Hes tip ulduzların parlaqlıq və spektral xüsusiyyətlərində qeyri-müntəzəm dəyişikliklər mövcüddur.
c) Xətti polyarlaşma– HAEBE tip ulduzlarda şüalanmanın xətti polyarlaşma dərəcəsi, Be tip adi ulduzlardakı kimi 1% qədər ola bilər. Baxmayaraq ki, bir neçə Hes tip ulduzlarda polyarlaşma dərəcəsi hətta 7-8% qədər yüksələ bilir və bu ulduzun Be tip ulduzlardan fərqli mənşəli olduğunun göstəricisidir.
d) Ulduzəmələgəlmə regionları – bu tipli ulduzlar ən çox xüsusi ulduz əmələgəlmə regionları (molekulyar buludlar, cavan ulduz topaları və ulduz assosiyasiyaları) ilə əlaqəlidir. Bəzi ulduzlar molekulyar və optik bipolyar axınlarla müşayiət olunur.

Bütün bu xüsusiyyətlər məqalədə geniş izah olunur. Yuxarıda sadaladığımız ulduzun bütün xarakteristikaları göstərir ki, HAEBE ulduzları Baş Ardıcıllıqdan yuxarıda, T Tauri və O-B tip ulduzlar arasında yerləşən orta kütləli ulduzlardır.

1960-cı ildə ilk olaraq Herbig tərəfindən birinci üç xüsusiyyəti özündə cəmləşdirən 26 ulduz siyahısı seçildi [12], daha sonra eyni xüsusiyyətlərdən istifadə edərək Finkenzeller və Mundt [7] tərəfindən bu siyahı 57 ulduz sayına qədər artırıldı. İnfraqırmızı diapazonda müşahidələr genişləndikcə şüalanma xəttinə malik ulduzların sayı getdikcə artdı və The və b.[25] kataloqunda 108 Hes ulduzu qeyd olundu. Bundan başqa, Malfait və b. [16] tərəfindən bu tipli ulduzlar üçün ən vacib kriteriyanın–geniş infraqırmızı artıqlığın mövcüd olması kimi izah edildi və Hes ulduzlarının sayı 287-ə çatdı.

Digər tərəfdən, Hernandez və b. [13] işində Whiple Rəsədxanasında 1.5 m-lik teleskopdan istifadə edərək 6 Å yüksək ayırdetmə ilə alınmış spekrtlərdə şüalanma xətti olan 75 cavan ulduz tipi müşahidə edilmişdir. Fe I, He I, G zolağı və Balmer xətləri daxil olmaqla effektiv temperatura həssas spektral xüsusiyyətlərə əsaslanaraq, onlar 2.5 spektral alt tipdən ən az xəta ilə 39 Hes-i təsnif edildi. Bu sinifdən olan digər tip ulduzlar şüalanma ulduzları kimi bilindi, hansi ki, 7 ulduzda güclü Hα şüalanma xətti mövcüddur və udulma xüsusiyyətlərinə rast gəlinmir. Bəzi ulduzlar qeyri-müəyyən ulduz təkamül prossesinə malik ulduzlar kimi müəyyənləşdirildi [14].

Spektral xüsusiyyətləri

Herbig Ae/Be tip ulduzların optik spektrində gözə çarpan şüalanma xətləri müşahidə olunur. Başqa sözlə, bu tip ulduz spektrləri T Tauri (TTS) və Be tipli ulduzlarla oxşardır. HAEBE-lər Be tip adi ulduzlarla oxşarlığı Balmer seriyası şüalanma xətləri və bəzi ionlaşmış metal xətlərinin olması ilə (Fe II, Ti II, Mg II) ortaya çıxır. TTS ulduzları ilə oxşarlığı isə Ca II, Na I, K I və Fe I kimi aşağı həyəcanlana enerjili xətlərin mövcudluğunu göstərir.

Ümumilikdə, Hα xəttinin güclü şüalanmada dəyişən profilləri müşahidə olunur. Bu tip profillərə cüt pikli (50%), tək pikli (25%) və P Cyg formalı (20%) profilləri aiddir. Mötərizədə göstərilən faiz bu cür profilli ulduzların baş vermə statistikasını bildirir. Qalan 5% tərs P Cyg profilləri də daxil olmaqla daha mürəkkəb profillər nümayiş etdirir. Hα və Na I D xətlərinin profillərinin bəzi nümunələri cədvəl 1-də göstərilmişdir. Hes-də xətt profilləri çox vaxt dəyişkən olur.

HAEBE tipli ulduzlarda Na I D xəttinin profili şüalanmada, udulmada və hətta bəzi müxtəlif ulduzlarda mürəkkəb xətt profilində ola bilir. Həmçinin, qadağan olunmuş xətlər bir çox Herbig Ae/Be ulduzunda da

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

müşahidə olunur. Bohm və Katala [3] tərəfindən yüksək ayırdetməli spektroskopik müşahidəyə əsasən, 33 Hes-dən 17-də [O I] λ 6300.31 Å xətti aşkar edilmişdir [2]. Bunların arasında səkkiz ulduzda aşkar edilə bilən [O I] λ 6363.79 Å xətti göstərdi ki, bu da şüalanmanın həyəcanlanma sürəti ilə təxmin edildiyi kimi λ6300.31 Å -dən 3 dəfə zəifdir.

Cədvəl 1.

HAEBE ulduzlarının seçilmiş siyahısı.

Ulduzun adı	Kataloq adı	V(mag)	Sp. Tipi	İR artıqlıq	Hα
AB Aur	HD31293	(6.9-8.4)	B9/A0e	I	P
UX Ori	HD 293762	9.2-12.3	A2/3IIIe	I	C
HK Ori	-	11.63	B8/A4ep	I	D
T Ori	BD-5°1329	(8.7-12.6)	A3/5eα	I	İnv P
V380 ORİ	BD-6°1253	(9.97-10.82)	B8/A1e	I	S
BF Ori	BD-6°1259	(9.60-13.5)	A1/F6e	I	D
ω Ori	HD 37490	(4.41-4.59)	B3III-Ive	III	D
R Mon	BD+8°1427	10.37-11.89	B0e	II	-
GU Cma	HD52721	(6.50-6.72)	B2Vne	III	S
HR 5999	HD144668	(6.73-8.47)	A7III-IVe	-	D
R CrA	CPD-37° 8452	10.74-11.50	A5IIe/F0	II	-
MWG1080	-	(11.58-11.67)	B0eq	I	P
V633 Cas	Lk Hα 198	14.29	B/Ae	II	-

Bu qadağan olunmuş xətlərin varlığı Hα şüalanma profili ilə bağlıdır. Belə ki, tək pikli Hα şüalanma profili olan ulduzlarda qadağan olunmuş xətlər ya yoxdur, ya da aşkaretmə həddindən (≈40 mÅ) daha azdır. Cüt pikli və ya P Cyg-ni profili olan ulduzlarda isə [OI] λ 6300.31 Å şüalanmada görünür. Güclü qadağan olunmuş xətt profili cüt pikli Hα şüalanma olan ulduzlarda aşkar olunur. [OI] xətləri elektron temperaturunun 1000 K-ə yaxın ola biləcəyi, ulduz örtüyünün H II bölgəsindən kənarda, aşağı sıxlıqlı H I bölgəsində formalaşmalıdır.

Tək pikli Hα şüalanmasına malik ulduzlarda nəzərə çarpacaq dərəcədə qadağan edilmiş xətlərin olmasının izahı olaraq, [2] işində bu ulduzların heç bir ulduz küləyi və ya kifayət qədər kütlə itkisi dərəcəsinin olmadığını da irəli sürülmüşdür.

İnfraqırmızı artıqlıq

Hes tip ulduzların əksəriyyətində infraqırmızı artıqlıq müşahidə olunur. Hillenbrand və b. [14] tərəfindən 47 HAEBE ulduzlarının spektral enerji paylanmalarına (SEP) görə SEP əyriləri 3 qrupa ayırdı və həmin qrupların aşağıdakı xassələrini izah etdi:

I qrup- böyük İQ artıqlığa malik 30 obyektdən ibarətdir. λ>2.2μm olan infraqırmızı SEP əyriləri, ulduzətrafı optik qalın diskdə akkreasiya baş verdiyini fərz etməklə yaxşı uyğunlaşdırıla bilər. Bu qrupdakı ulduzların spektral sinfi O9-dan F2-yə qədərdir.

II qrup- hamar və ya yüksələn infraqırmızı spektrləri göstərən böyük İQ artıqlığı olan 11 ulduzdan ibarətdir. SEP əyriləri, disklə məhdudlaşmayan qaz və toz materialı ilə əhatə olunmuş bir dairəvi diskin olduğunu göstərir. SEP əyrilərindən görünür ki, bu obyektlər I qrup obyektlərdən daha cavan ola bilər. Ulduzların spektral sinfi B0-dan F8-ə qədərdir və kütlələri I qrup ulduzların kütlələrində daha aşağıdır.

III qrup- B0-B3 daha isti spektral sinfə malik 6 ulduzdan ibarətdir və bu ulduzların İQ artıqlığı I və II qrup ulduzların infraqırmızı artıqlığın miqdarından xeyli kiçikdir. Spektral enerji paylanmaları klassik Be ulduzlarının SEP əyriləri ilə oxşardır, çünki bu ulduzların qaz örtüyündə sərbəst şüalanmadan çox kiçik infraqırmızı artıqlıq yaranır. Onlarda optik qalın disklər olmasa da, tutqun dumanlıq və ulduz əmələ gətirən molekulyar buludlarla əlaqələndirilir. Beləliklə, III qrup obyektləri cavan, orta kütləli, zəif diskli və ya disksiz T Buğa ulduzlarının oxşar olan, HAEBE ulduzlarıdır.

Malfait və b. [16] tərəfindən seçilmiş 45 Hes nümunə ulduzlarından 33-də geniş infraqırmızı artıqlığın mövcüd olduğu təsdiqlənmişdir. Həmçinin, müəlliflər Hes-in əksəriyyətində infraqırmızı SEP əyrilərini iki isti və soyuq komponentə ayırdılar və ulduzların ətrafında daxili və xarici örtüyün ikiqat strukturunun mövcudluğunu təklif etdilər.

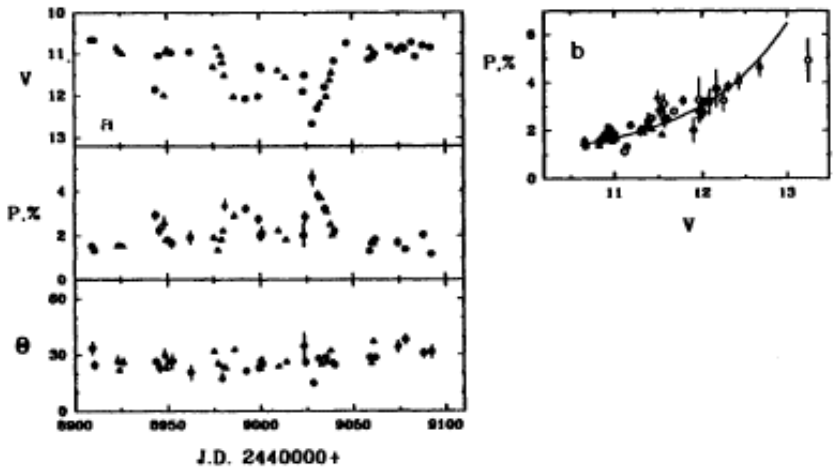
İQ diapazonda çoxlu şüalanma xətləri müşahidə edilir. [11] işində dalğa uzunluğu 6500-9078 Å aralığında olan 32 HAEBE tip ulduzlarda aparılan spektroskopik müşahidələrdə normal və qadağan olumuş emissiya xətləri aşkarlanmışdır. Hidrogen xətləri ilə yanaşı, K I, Ca II, Mg I, O I, Fe I və.s kimi normal şüalanma xətləri olan neytral və ionlaşmış atomlardır. HAEBE ulduzlarda normal xəttlər həmişə P Cyg-ni profilində görünür. Qadağan olunmuş xətlərdə isə fərqli olaraq tək pikli və bənövşəyi tərəfə sürüşən profillər müşahidə olunur, bu isə xətlərin ulduz örtüyünün yuxarı qatlarında formalaşdığını sübut edir.

Xətti polyarlaşma

Optik diapazonda Herbig Ae/Be tipli ulduzlarının əksəriyyətində xətti polyarlaşma müşahidə olunur və

polyarlaşma 0.1-7% aralığında yayılır. Klassik Be ulduzlarından fərqli olaraq, polyarlaşma ulduz işığının, əsasən toz hissəciklərinin səpilməsi nəticəsində yarandığı güman edilirdi. Bu, dalğa uzunluğundan asılılıq faktına əsaslanaraq hidrogen atomlarının sərbəst udulması adətən görülmür və Hα şüalanma üçün de-polyarlaşma müşahidə olunmur. Bu xüsusiyyətlərin hər ikisi Be tip ulduzlarda da nəzərə çarpır. Lakın son zamanlar Hes-də polyarlaşma dərəcəsinin əvvəllər güman ediləndən daha mürəkkəb olduğu aşkar edilmişdir.

Ulduzun örtüyündə kontinuum polyarlaşması toz hissəcikləri tərəfindən yaranırsa və ya ulduzlar əks etdirilən dumanlıqlarda yerləşmişlərsə bu zaman polyarlaşmanın dəyişmələrinin xarakterik vaxtı ulduzun yaxınlığında qaz-toz örtüyünün formalaşması ilə bağlı ola bilər. [10] işində dəyişən ulduzətrafı ekranlanmaya əsasən güman edilir ki, əgər ulduz qeyri-şəffaf toz diski tərəfindən ekranlaşdırılırsa, ulduz zəif olacaq və xətti polyarlaşma artacaq. Şəkil 1(a)-də Herbig Ae RR Tau ulduzu üçün V zolağında müşahidə olunan dəyişmələr, polyarlaşma P (%) və mövqe bucağı verilmişdir. Şəkil 1(b)-də isə V-P(%) asıllıq diaqramı verilmişdir.



Şəkil 1. V zolağında müşahidə olunan polyarlaşma və meyl bucağı [10].

[21] işində Herbig Ae AB Aur ulduzunda əvvəllər polyarlaşmanın azalması effekti kimi təxmin edilən Hα xəttinə aid polyarlaşma mənbəyə kimi aşkar edildi. Spektropolyarmetrik müşahidələr əsasında Vink və b. [26] göstərmişlər ki, Hα xətt profilinin polyarlaşma dərəcəsində böyük dəyişikliklər var. Polyarlaşma dərəcəsi üç tip üzrə təsnif etmək olar: polyarlaşma azalması (de-polyarlaşma), xətti polyarlaşma və fərqsiz polyarlaşma tipləri [26].

De-polyarlaşma əsasən B tip ulduzlarda mövcüddur. Bu ulduzlar üçün xətti polyarlaşma Be tip ulduzlardakı kimi, ulduz diskində elektron səpilməsindən yaranır. Xətt polyarlaşma təsiri B sinfinin sonu, F sinfinin əvvəllərində görülür və kompakt Hα şüalanma regionuna aiddir ki, polyarlaşma maqnit sahəsi daxilində baş verir. Çünki, de-polyarlaşma effekti B tip ulduzlarda, xətti polyarlaşma effekti isə A və B tip ulduzlarda baş verir. H-R diaqramında A-B sinifləri arasında maqnit akkresiyasından disk akkresiyasına keçid mövcüddur. Bundan başqa müşahidələrdən görünür ki, Hα şüalanma profilinin polyarlaşma ilə əlaqəsi yoxdur. Xətti polyarlaşmanın vaxt dəyişmələri Hes-də geniş yayılmışdır. Bu hallar üçün vaxt dəyişmələri bir saatdan və bir neçə ilədək zaman intervalında baş verir. Cədvəl 2-də bəzi ulduzlar üçün Hα xətt profili və polyarlaşma dərəcəsi göstərilmişdir.

Cədvəl 2.

Bəzi Hes tip ulduzlarda Ha polyarlaşma dərəcəsi

Ulduzun adı	Spe. tip	Hα	EW(Hα)	Polyarlaşma
MWC 1080	B0	P	-101Å	D
MWC 361	B2	D	-63 Å	D
HD 58647	B9	D(shell)	-8.9 Å	L
AB Aur	A0	P	-40 Å	L
MWC 480	A2	D (V≪ *R*)	-21 Å	L
HD 35929	A5	S	-3.2 Å	N

Rentgen şüalanma

Zinnercker və Preibisch [27] tərəfindən 21 Hes ulduzundan 11-də rentgen şüalanma mənbəyi aşkar edildi və həmin xüsusiyyətlər aşağıdakı kimidir:

a) Rentgen şüalanma parlaqlığı ilə ulduzun bolometrik parlaqlığı arasında yaxşı korreliyasiya var və ümumiyyətlə rentgen şüalanmanın miqdarı Be tipli adi ulduzlara nisbətən Hes-də daha güclüdür.

b) Bütün yaxın qoşa sistemlər rentgen şüalanma mənbəyi kimi aşkarlanmışdır.

c) Ulduzlətrafı toz örtüyü olan ulduzlarda heç bir rentgen şüalanma mənbəyi aşkar edilmir. Bu belə izah

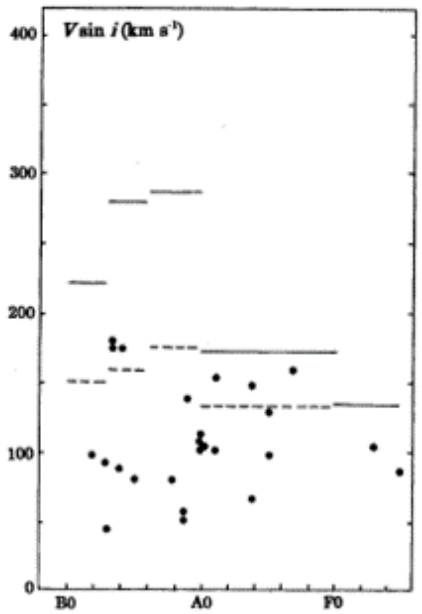
olunur ki, ulduzun örtüyündə güclü rentgen şüalarının sönməsi baş verir.

d) Rentgen şüalanmanın parlaqlığı ulduzun fırlanma sürətindən (vsin i) və spektral tipindən yox, kütlə itkisi tempindən asılıdır.

Yuxarıda göstərilən xüsusiyyətlər göstərir ki, rentgen şüalarının yayılması mexanizmində bəzi məhdudiyyətlər var. Elektron temperaturu 10000 K ətrafında olan isti küləklər rentgen şüaları buraxa bilmədiyi üçün əlavə istilik mexanizmi lazımdır. Ehtimallardan biri, OB ulduzlarında olduğu kimi zərbə dalğaları yaradan güclü ulduz küləyində dinamik qeyri-sabitliyin olmasıdır. Başqa bir ehtimal, sürətli küləyin (v_o=100-500 km/s) Hes-in qalıq ətraf materialı ilə toqquşmasıdır, çünki ulduz küləkləri daha yüksək ulduz parlaqlığı olan ulduzlarda daha güclü olmalıdır.

Fırlanma sürəti

Hes tip ulduzlarda fırlanma sürəti He 4471 Å və Mg II 4481 Å udulma xətlərinin fotometrik profilləri ilə müəyyən edilir. Bəzi Hes ulduzlarının [6, 3] işində təqribən 20-30 km/s dəqiqliklə fırlanma sürətləri ölçülmüşdür. Şəkil 2-də klassik Be/Ae və normal B/A ulduzlarının uyğun spektral diapazonları üçün orta qiymətləri ilə birlikdə verilmişdir. Be/Ae və B/A ulduzlarının orta qiymətləri [7] işindən götürülmüşdür. Klassik Be/Ae ulduzları və ya hətta normal B/A ulduzları ilə müqayisədə Hes-in ümumiyyətlə çox yavaş fırlanan ulduzlar olduğunu görmək mümkündür. Bu o deməkdir ki, ulduzların fırlanmasının şüalanma xətlərinin əmələ gəlməsinə təsiri kifayət qədər məhdud ola bilər.



Şəkil 2. Hes-in spektral diapazonları üçün orta qiymət ləri.

Qoşalıq tezliyi

Herbig Ae/Be ulduzlarının qoşalıq tezliyi bir çox müşahidəçi tərəfindən təxmin edilmişdir. The və b. [24] və Martin və b. [18] kataloqunda 108 Hes ulduz nümunəsindən 19-u qoşa və çoxqat sistem ulduzları aşkar etmişdir. Bundan başqa, [15, 17, 23] işlərində xətti ayrılma diapazonu 2500-9000 AU olan 1.3"-10" yüksək ayırdetmə ilə 16 Hes ulduz nümunəsindən 9-da qoşa sistem tapılmışdır.

Tutulan qoşa sistemlər ulduz və orbital parametrlər haqqında məlumat verir. Misal üçün TY CrA (Be9) ulduzu orbital periodu P=2.888777 gün olan cüt xətli tutulan qoşa ulduzdur. Baxmayaraq ki, Hα şüalanma xətti zəifdir, bu Baş Ardıcıllıqdan yuxarıda yerləşən ulduzlarda olduğu kimi ulduzətrafı örtüyün və infraqırmızı artıqlığın olduğunu sübüt edir. [5] işində TY CrA ulduzunda spektroskopik müşahidələr aparılmış və qoşa ulduzun bəzi parametrləri təyin edilmişdir.

Ulduzun parlaqlığı və rəng dəyişmələri

Bir çox Hes tipli ulduzların parlaqlıq və rəngində adətən adi səviyyələrdə yüngül dəyişiklik müşahidə olunur. [1] işində Strömgren fotometrik sistemində (U, B) 23 Hes ulduzu üçün 2-8 il müddətində monitorinq müşahidələri aparılmışdır. Bu müşahidələrin nəticəsində 16 ulduzda müxtəlif amplitud dəyişmələri aşkar edilmişdir. Müəlliflər bu ulduzları amplitud dəyişmələrinə görə üç sinfə ayırmışdır:

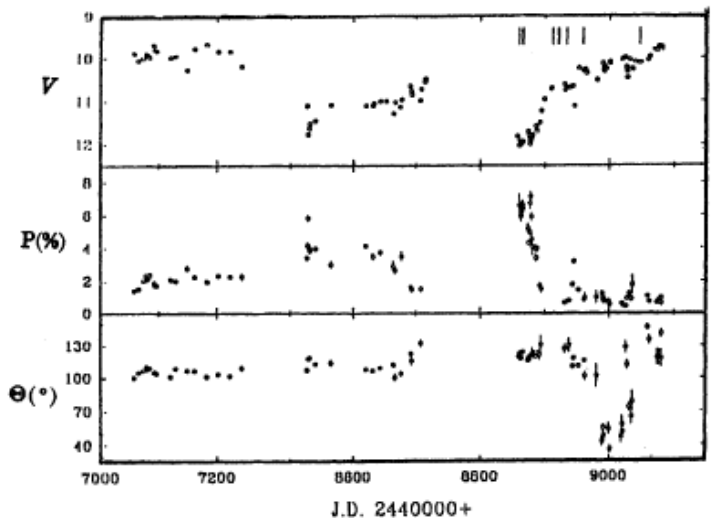
1) I sinif- red (R), əgər ulduz daha zəifdirsə, ulduzun rəngi qırmızımtıl olur. Dəyişmə amplitudu (U-B)=0.4 -1.6 mag arasındadır. Bu sinif T Ori (Ae), HR 5999 (A7III-IVe) və HD 250550 ulduzları da daxil olmaq 8 ulduzdan ibarətdir.

2) II sinif- CR(color reversal), ulduzun parlaqlığı zəiflədikcə onun rəngi ilk olaraq qırmızımtıl rəngə çalır, sonra onun parlaqlığı daha da azalır və ulduzun rəng göstəricisi bənövşəyi tərəfə sürüşür. Parlaqlığın amplitud dəyişməsi (U-B)=1^m. 6-3^m. 0 aralığındadır.

3) III sinif- RD (red-blue), viziual parlaqlığda rəng göstəricisi dəyişmədən asılı deyil və amplitiud dəyişməsi ümumiyyətlə kiçikdir (0^m. 11-0^m.18).

Hes-in qeyri-requlyar və bəzən də sürətli dəyişkənliyi, ümumiyyətlə, ulduzətrafı diskin yuxarı qatlarında böyük optik dərinliklərə və orbitə malik olan toz buludlarının tutulma təsirindən qaynaqlandığı güman edilir. The və b. (1994) maviləşmə effektinin mənşəyinin kənar diskin mövcudluğu ilə bağlı olduğunu irəli sürdü. Minimum işıqda mərkəzi ulduzun arxa tərəfində yerləşən kiçik toz hissəcikləri ilə səpələnmiş mavi işığı görünür. Maksimum işığa yaxın, ulduzun güclü işığı səbəbindən belə səpələnmiş işıq görünmür. İşıq dəyişməsinin xətti polyarlaşma ilə sıx bağlı olduğunu artıq yuxarıda izah etmişik [23].

RR Tau ulduzuna oxşar olaraq şəkil 3 -də parlaqlıq və polyarlaşma arasında aydın korreliyasiya görünür. Ulduzun dərinliyi azaldıqda polyarlaşma kifayət qədər artır. Müsbət korreliyasiya yenidən göstərir ki, Hes tipli ulduzlar tam olaraq toz diski ilə əhatələnir. Alqol qoşa sistem ulduzlarına oxşar olaraq, Hes-də böyük amplitud qiymətində işıq azalması müşahidə olunur və T Orionis dəyişməsi adlanır. Ümumiyyətlə T Ori tip ulduzlar Hα şüalanmadadır və ulduzun işıqlığı azalan zaman Hα xəttinin intensivliyinin artdığı müşahidə olunur.



Şəkil 3. V zolağında işıq əyriləri və xətti polyarlaşma.

Hα örtüyünün strukturu

Finkenzeller və Mundt [7] tərəfindən aparılan müşahidələrdən Hα şüalanma profilində olan 47 ulduzun siyahısı hazırlanmışdır. Bu profillər üçün klassik Be ulduzlarının sxemini tətbiq etsək, Hα örtüyünün müstəviləşdiyini və sürətlə fırlandığını təxmin edə bilərik [6]. Yəni, cüt pikli profil maili fırlanan diskəbənzər örtükdə, tək pikli profil isə ya qütbə yaxın diskdə, və ya kifayət qədər inkişaf etmiş əyri örtükdə formalaşır. Be örtük tipində mərkəzi örtüyün udulması ulduz diskinin qarşısında optik qalın örtüyün mövcüdluğunu göstərir. P Cyg və tərs P Cyg tipli profillər Hα örtüyünün qlobal genişlənməsi, və ya daralmasının mövcudluğunu göstərir. Bu halda örtüyün strukturu, onların sferik simmetrik, və ya diskəbənzər olması hələ də qeyri-müəyyən olaraq qalır.

Ulduz küləyi.

Hes-də ulduz küləyi üçün ümumiləşdirilmiş məlumatlar aşağıdakı kimidir:

1. P Cyg profilləri- Hes tip ulduzlarda təqribən 20% yaxın ulduzlarda Hα xəttində P Cyg-nə profili aşkar olunur. P Cyg profili adətən H Balmer seriyası xətlərində, Ca II, Mg II və UV udulma oblastında bənövşəyi qanadda daha çox rast gəlinir və bu tip ulduzlarda ulduz küləyinin mövcüd olduğunun göstəricisidir.
2. Rentgen şüalanma- Rentgen şüalanmasının bəzi qeyri-bərabər küləklərdən, məsələn, sürətli küləyin (v_0=100-500 km/s) qalıq ulduzətrafı materialla toqquşması nəticəsində yarandığı güman edilir.
3. Qadağan olunmuş xətt profilləri [OI]- [OI] λ 6300, 6364 Å qadağan olunmuş xətləri 30 və 100 km/s arasındakı sürətlərə uyğun genişlənməni göstərir. Böhm və Katala [2] işində bu genişlənmə ulduz küləyinin termal sürəti kimi göstərilib, hansi ki, ulduzun yuxarı qatlarında aşağı həyəcanlanmış qadağan olunmuş xətlər yaranır.

Akkresiya axını və akkresiya diski.

[8] işində Hes-lər üçün disk akkresiyası mövcüd olduğuna dair bir sıra mümkun sübutlar sadalanmışdır:

-Optik qalın akkresiya diskində mənşəyə uyğun İQ şüalanma artıqlığının SEP əyriləri;

-İstər klassik, istərsə də maqnitosfer səth qatında yaranan optik və UV kontunuum şüalanma artıqlığı və İQ şüalanma artıqlığından əldə edilən akkresiya işıqlığı ilə parlaqlıq arasında mütanasiblik;

-Qadağan olunmuş şüalanma xətti həm İQ artıqlıq, həm də optik ultrabənövşəyi şüalanma ilə düz mütənasibdir;

-Balmer seriyasındakı və digər güclü rezonans xətlərindəki, ən əsası tərs P Cygni profillərində akkresiyanın kinematik əlamətləri;

Perez və The [19] tərəfindən akkresiya prossesi üçün bəzi əlavə məlumatlar verildi, belə ki, parlaqlığın azalması və xətti polyarlaşmanın artması arasında güclü korreliyasiya var.

Xromosfer aktivliyi

Ulduz atmosferində birbaşa He I şüalanma xətləri əmələ gəlir. Bohm və Katala [3] tərəfindən 29 Hes ulduzdan 13-də He I λ5876 Å xətti aşkar edildi. Aşkar edilmiş ulduzlar arasında 10 ulduz B7-dən daha soyuq spektral tiplidir, bunun üçün ulduz şüalanması He I xətlərini həyəcanlandırmaq üçün kifayət etmir. He I λ 5876 Å xəttinin ekvivalent eni 25-230 mÅ diapazonundadır və Hα xəttinin ekvivalent eni ilə xüsusi korrelyasiyası yoxdur. Teff≈10000K olan ulduzlarda güclü He I şüalanma xəttinin kəskin çoxluğu nəzərə çarpır. Bu göstərir ki, He I şüalanma xətti xromosferdə formalaşır və A0 sinif ulduzlarla əlaqəlidir [3].

AB Aur-un He I xətti profilinin təhlilinə əsaslanaraq, Katala [4] ildə M~$M_{\odot}^{-8}$ bir ulduz küləyinin yarı empirik modelini və küləyin bazasında yerləşən, temperaturu 17.000 K olan genişlənmiş xromosferi əldə etdi. Bu ulduzlar He I emissiyasında bənövşəyi tərəfə sürüşmələr göstərir, xromsferlərin ümumiyyətlə genişləndiyi də güman edilir.

Maqnitosfer modelləri

Sorille (1996), Muzerolle (2004) işində İQ artıqlığı və akkresiya axınları üçün xarakterik olan bəzi xətt profillərini izah etmək üçün Hes-in maqnitosferik modelləri təklif edilmişdir [18, 21]. Əgər yuxarı Baş Ardıcıllığa doğru ulduzun ikiqütblü maqnitosferi varsa, akkresiya diskinin daxili hissəsi məhv olur və maddə akkresiya diskinin bazasında yüksək sıxlığa malik isti bölgələr yaradan maqnit sahəsi xətləri boyunca ulduz səthinə düşür. Bununla da, maqnitosferlər Balmer xətləri və Na D kimi optik xətlər meydana gətirəcək, soyuq akkresiya diskləri isə infraqırmızı emissiya yaradacaq. Hes-in akkresiya diski ulduz şüalanması səbəbindən müəyyən radiusda toz məhv edən divarla ayrılmış daxili qaz diskinə və xarici toz diskinə bölünə bilər. Maqnitosfer modelinin əsas parametrləri maddənin akkresiya tempi, ulduzun parlaqlığı və ulduzun fırlanma sürətidir.

---

[1] *E.A. Bibo and P.S. The*. Type of variability of Herbig Ae/Be stars. Astron. &Astrophys. Suppl. 1991, 89, 319-334.

[2] *T. Bohm and C. Catala*. Forbidden lines in Herbig Ae/Be stars: the [01] (IF) 6300.31and 6363.79 A. Astron. &Astrophys. 1994, 290,167-175.

[3] *T. Bohm and C. Catala*. Rotation, winds and active phenomena in Herbig Ae/Be stars. Astron. &Astrophys. 1995, 301, 155-169.

[4] *C. Catala*. Line formation in the winds of Herbig Ae/Be stars. The CIV resonance lines. Astron. &Astrophys. 1988,193, 222-228.

[5] *P. Corporon, A.M. Lagrange and J. Bouvier*. Direct determination of stellar and orbital parameters of the spectroscopic binary TY CrA. Astron. &Astrophys., 1994, 284, L21-L24.

[6] *U. Finkenzeller*. Rotational velocities, spectral types, and forbidden lines of Herbig Ae/Be stars. Astron. &Astrophys., 1985,151, 340-348.

[7] *U. Finkenzeller, R. Mundt*. The Herbig Ae/Be Stars associated with nebulosity. Astron&Astrophys.Suppl., ESO-Munchen:– 1984. –55, –p. 109-14l.

[8] *I. Fukuda and A. Uesugi*. 1982, Revised Catalogue of stellar rotational velocities. Department of Astronomy, Kyoto University.

[9] *L. Ghandour, S.E. Strom, S. Edwards and L.A. Hillenbrand*. Spectroscopic diagnostics of disk accretion in Herbig Ae/Be stars. The Nature and Evolutionary Status of Herbig Ae/Be Stars. P. S. The, M. R. Perez, and E. J. van den Heuvel (eds.). 1994, ASP Conf. Ser. Vol. 62, San Francisco, CA, pp. 223-226.

[10] *V.P. Grinin*. Polarimetirc activities of Herbig Ae/Be stars. The Nature and Evolutionary Status of Herbig Ae/Be Stars. P. S. The, M. R. Perez, and E. J. van den Heuvel (eds.). ASP Conf. Sere Vol. 62, San Francisco, CA, 1994, pp. 63-7l.

[11] *F. Hamann and S. E. Persson*. Emission-line studies of young stars. II. The Herbig Ae/Be stars. Ap. J. Suppl., 1992, 82, 285-309.

[12] *G.H. Herbig*. The properties and problems of T Tauri stars and related objects. Adv.Aston. & Astrophys., ESO-Munchen: 1962, 1, p. 47-103.

[13] *J. Hernandez, N. Calvet, C. Briceno, L. Hartmann and P. Berlind*. Spectral analysis and classification of Herbig Ae/Be stars. Ap.J., 2004, 127, 1682-1701.

[14] *L.A. Hillenbrand, S.Strom, F. J.Vrba and J.Keene*. Herbig Ae/Be stars: Intemediate-mass stars surrounded by massive circumstellar disks. Ap. J., 1992, 397, 613643.

[15] *W.Li, H.J. Evans, P.M.Harvey and C.Colome*. Near-infrared (J. H. K) imaging of Herbig Ae/Be stars. Ap. J., 1994, 433, 199-215.

[16] *K. Malfait, E. Bogaert and C. Waelkens*. An ultraviolet, optical and infrared study of Herbig Ae/Be stars. Astron. &Astrophys., 1998, 331, 211-223.

[17] *E.L. Martin, R. Rebolo, A. Magazzu and Va.V.Pavlenko*. Pre-main sequence lithium burning. I. Weak T Tauri stars. Astron. &Astrophys., 1994, 282, 503-517.

[18] *J.Muzerolle, P.D'Alesso, N.Calvet and L.Hartmann*. Magnetospheres and disk accretion in Herbig Ae/Be stars. Ap. J., 2004, 617, 406-417.

[19] *M. Perez and P.S. The*. The clumpy accretion in Herbig Ae/Be stars. Rev. Mex. Astron. &Astrophys., 1994, 29, 54-58.

[20] *M. Pontefract, J.E. Drew, T.J. Harris and R.D.Oudmaijer*. Hα spectropolarimetry of the Herbig Ae star AB Aurigae. M. N. R. A. S., 2000, 319, L19-L23.

[21] *C.Sorelli, V.P. Grinin and A. Natta*. lnfall in Herbig Ae/Be stars: what Na D lines tells us. Astron. &Astrophys., 1996, 309, 155-162.

[22] *S.E. Strom, K.M. Strom, J. Yost, L. Carrasco, G.Grasdalen*. The nature of the Herbig Ae and Be-type stars associated with nebulosity. Astrophys.J. Washington: –1972. –173, –p. 353-366.

[23] *P. S. The*. Evidence for circumstellar disks around variable Herbig Ae/Be stars from long-term photometry. The Impact of Long-Term Monitoring on Variable Star Research, C. Sterken and M. de Groot (eds.), Kluwer, Dordrecht, 1994, pp. 31-40.

[24] *P.S. The, D. de Winter and M.R. Perez*. A new catalogue of members and candidate members of the Herbig Ae/Be (HAEBE) stellar group. Astron. &Astrophys. Suppl.. 1994, 104, 315-339.

[25] *J.S. Vink, J.E. Drew, T.J. Harris and R.D.Oudmaijer*. Probing the circumstellar structure of Herbig Ae/Be stars. M. N. R. A. S. 2002, 337, 356-368.

[26] *H. Zinnecker and Preibisch*. The (1994), X-ray emission from Herbig Ae/Be stars: a ROSAT survey. Astron. &Astrophys., 292, 152-164.

Faida Huseynova

GENERAL CHARACTERISTICS OF HERBIG Ae/ Be STARS

The article provides extensive information about the photometric and spectroscopic properties of young stars of the HAEBE type. Herbig Ae/Be type stars are young stars belonging to the A-B spectral class. HAeBe stars have strong emission lines in the IR range, suggesting the presence of a peristellar shroud and an infrared excess. Time variations of linear polarization are widespread in HAeBe stars. Magnetospheric accretion models for HAeBe stars have been proposed to explain some of the line profiles characteristic of IR excess and accretion flows. However, these models are likely only applicable to HAe and cooler HBe stars. The mechanism of activity of hotter HBe stars has not yet been elucidated.

Фаида Гусейнова

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕЗД ХЕРБИГА Ae/Be

В статье представлена обширная информация о фотометрических и спектроскопических свойствах молодых звезд типа HAEBE. Звезды типа Ae/Be Хербига — молодые звезды, принадлежащие к спектральному классу AB. Звезды HAeBe имеют сильные эмиссионные линии в ИК-диапазоне, что указывает на наличие перизвездной пелены и избытка инфракрасного излучения. Временные вариации линейной поляризации широко распространены у звезд HAeBe. Модели магнитосферной аккреции для звезд HAeBe были предложены для объяснения некоторых профилей линий, характерных для ИК-избытка и аккреционных потоков. Однако эти модели, вероятно, применимы только к звездам HAe и более холодным звездам HBe. Механизм активности более горячих звезд HBe еще не выяснен.

$Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ KRİSTALININ AŞAĞI TEMPERATURLARDA İSTİLİK TUTUMU

A.M. ABDULLAYEV, M.C. NƏCƏFZADƏ, A.İ. ƏHMƏDOV, İ.N. İBRAHİMOV
Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu
H. Cavid pr. 131, AZ-1143 Bakı, Azərbaycan
E-mail: aqaadil@gmail.com
Tel: 050-353-99-19

İndiki işdə $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ kristalının 2–306K temperatur intervalında ölçülən aşağı temperaturlarda istilik tutumunun tədqiqatının nəticələri təqdim edilmişdir. $\frac{C_p}{T}(T^2)$ asılılığından istilik tutumunun elektron əlavəsinin γ xarakteristikası hesablanmışdır $\left(\gamma \approx 0.0041\ \frac{J}{mol \cdot K^2}\right)$. İstilik tutumunun təhlili nəticəsində xarakteristik Debay temperaturu təyin olunmuşdur ($\theta_D \approx 230K$). θ_D parametri istilik tutumunun eksperimental asılılığının ən yaxşı təsviri şərti ilə seçilir. Göstərilmişdir ki, fonon halının izotrop sıxlığına əsaslanan bir xarakterik θ_D temperaturuna malik Debay modelinin tətbiqi müəyyən məhdudiyyətə malikdir. $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün xarakterik temperaturun $\theta_D(T)$ asılılığı hesablanmışdır.Kristal qəfəsin istilik tutumunu təsvir etmək üçün istifadə olunan müxtəlif nəzəri yanaşmaların təhlili aparılmışdır. İstilik tutumunun müxtəlif əlavələrini aşkar etməkdən ötrü $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün $\frac{C_p(T)}{T^3}$ ifadəsinin T^2-dan asılılığı qurulmuşdur. Aşağı temperaturda maksimumun olması $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ maddəsinin istilik tutumuna Eynşteyn əlavəsini (C_E) göstərir. İki Debay əlavəsinin (C_{D1}, C_{D2}) nəzərə alınması $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ kristal qəfəsinin mürəkkəbliyi ilə əlaqədardır. Beləliklə, $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ maddəsinin istilik tutumunun temperaturdan asılılığının qənaətbəxş təsviri $\theta_{D1}, \theta_{D2}, \theta_E$ xarakterik temperaturların fərqli qiymətlərində Debay və Eynşteyn əlavələrinin müxtəlif birləşmələrinin köməyi ilə əldə edilə bilər. Entropiyanın temperatur dəyişməsi hesablanmışdır.

Açar sözlər: İstilik tutumu; $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$; Debay temperaturu; Entropiya
PACS: 65.40.Ba, 65.40.Gr

Giriş

$LaFeAsO_{1-x}F_x$ maddəsində ifratkeçiriciliyin kəşfi [1] dəmir əsaslı yüksək temperaturlu ifratkeçiricilərə (Fe-HTS) əhəmiyyətli marağı stimullaşdırmışdır. İndiyə qədər bir neçə Fe-HTS aşkar edilmişdir. Onları iki sinfə ayırmaq olar. Birinci sinif dəmir pniktid materiallarıdır [1-3]. Digər sinif FeCh (Ch = FeCh-11 tipli xalkogenlər) binar dəmir xalkogenidləridir [4-6]. Əslində, dəmir pniktidlərində ifratkeçiriciliyin kəşfi tezliklə FeSe dəmir xalkogeniddə də aşkar olundu və bu da, nisbi "kimyəvi" sadəliyinə görə bu sistemə böyük maraq doğurdu, baxmayaraq ki, onun ifratkeçirici xüsusiyyətləri (normal şəraitdə) kifayət qədər adidir ($T_c \sim 8$ K). Dəmir xalkogenidləri ilə bağlı ümumi vəziyyət, $30-40$ K temperatura qədər yüksəlmiş T_c qiymətləri olan FeSe əsaslı interkaliasiya sistemlərinin meydana gəlməsi ilə kəskin şəkildə dəyişdi. Bu tip ilk sistem $T_c \sim 30$ K olan $A_xFe_{2-y}Se_2$ (A = K, Rb, Cs) birləşmələri idi [7-11]. Dəmir tərkibli xalkogenid ifratkeçiricilərin ən diqqətəlayiq xüsusiyyətləri kimyəvi qeyri-bircinsliyi və maqnit qarşılıqlı təsirlərə və ifratkeçiriciliyə əhəmiyyətli təsir göstərən ideal stexiometriyadan kənaraçıxmasıdır.

(Tl, K, Rb)Fe_xSe_2 sistemində Fe vakansiya super qəfəsinin olması antiferromaqnit blokların yaranmasına səbəb olur [11]. Bu yaxınlarda müəyyən edilmişdir ki, $K_xFe_{2-y}S_2$ və $KFe_{1.05}Ag_{0.88}Te_2$ birləşmələri spin şüşələrinə xas xüsusiyyətlər nümayiş etdirir, $KFe_{0.85}Ag_{1.15}Te_2$ birləşməsi isə uzaq maqnit nizamlılığına malikdir [12-14]. Xüsusilə sonuncu materialda sərbəst K və ya Fe-Ag vakansiyaları yoxdur və onun maqnit və keçiricilik xassələri olduqca maraqlıdır. Ag atomları Fe qəfəsini elə doldurur ki, kristal strukturun Fe-Ag düyünlərində vakansiyalar olmasın. Beləliklə, Fe^{2+} ionlarının maqnit halları, tərkibində sərbəst Fe vakansiyaları olmayan *I4/mmm* fəza qrupuna aid olan materiallarda tədqiq edilə bilər, bu $A_xFe_{2-y}Se_2$ ifratkeçirici birləşmələrin fəza qrupu ilə eynidir [15-17].

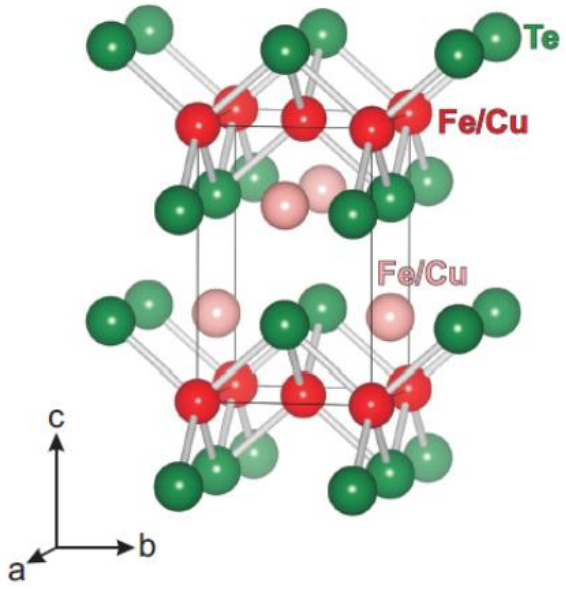
Bu işdə kristalların qəfəs istilik tutumunu və mümkün faza keçidlərinin termodinamik xüsusiyyətlərini təsvir etmək üçün istifadə olunan müxtəlif nəzəri yanaşmaları təhlil etmək məqsədi ilə $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ birləşməsinin istilik tutumu öyrənilmişdir. $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ maddəsinin istilik tutumu 2 - 306 K intervalında Quantum Design PPMS (Physical Property Measurement System) sisteminin kommersiya cihazında ölçülmüşdür [14].

Nəticə və müzakirələr

$CuFeTe_2$ monokristalları ilk dəfə Vaipolin və b. tərəfindən sintez edilmişdir [18, 19, 20]. Yetişdirilmiş kristalların rentgen analizi göstərdi ki, birləşmə elementar özəyin parametrləri $a = 3.934 \pm 0.004$ Å və $c = 6.078 \pm 0.004$ Å olan tetraqonal simmetriyaya (fəza qrupu *P4/nmm*) malikdir ki, bu da ifratkeçirici "1111" Fe-Pn birləşmələrin fəza qrupu ilə eynidir [1] . Kristal strukturu PbO strukturu ilə eyni olan, lakin Cu/Fe-Te tetrahedra arasında əlavə düyünləri olan Cu_2Sb tipli defekt struktura malik olduğu bildirildi (şəkil 1). Cu və Fe atomları (qırmızı rənglə işarələnmiş) $2a(0\ 0\ 0)$ düyünlərində yer tutur, bu atomların hər biri üçün təxminən 50% doldurulma ilə, Te atomları isə (yaşıl rənglə işarələnmiş) $2c\left(0\ \frac{1}{2}\ z\right)$ düyünlərində yer tutur. $\left[2c' - \left(0\ \frac{1}{2}\ z'\right)\right]$ əlavə düyünləri (çəhrayı rənglə

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

ilə işarələnmiş) qismən 15%-dən az doldurulma ilə Cu və Fe atomları doldurur [20].



Şəkil 1. $CuFeTe_2$ maddəsini kristal quruluşu.

Əvvəlki işdə [20], elementlərin stexiometrik nisbəti ilə hazırlanmış $CuFeTe_2$ nümunələrinin birfazalı olmadığı aşkar edilmişdir. Bu səbəbdən nominal tərkibli $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ monokristalları yetişdirildi (sadəlik üçün nümunələri "$CuFeTe_2$" və ya CFT kimi işarə edirik).

$Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ polikristalları 10^{-4} mm c. süt. qalıq təzyiqdə vakuumda komponentlərin birbaşa qarşılıqlı təsiri ilə ampula texnologiyası ilə sintez edilmişdir. Ampulanın divarları ilə qarşılıqlı təsirin qarşısını almaq üçün daxili divarlar pirolitik karbonla örtülmüşdür. Ərintilər soyuma zamanı müsbət istilik genişlənmə əmsalına malikdir və oksidləşmənin qarşısını almaq üçün ikiqat ampula istifadə edilmişdir. Sintez üçün əsas maddənin ən azı 99,999% saflığı olan Cu, Fe, Te elementlərindən istifadə edilmişdir. Maddə ilə dolu ampula 4-5K/dəq sürətlə 1170 K temperatura kimi qızdırılır, bu temperaturda 2 saat saxlanılır və soba söndürülərək soyudulur. Kütləsi 30 q olan $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ monokristalları ikiqat ampulalardan istifadə edilərək istiqamətlənmiş kristallaşma yolu ilə yetişdirilmişdir. Ampulanın hərəkət sürəti 1,5 mm/saat olmuşdur. Bizim tərəfimizdən alınmış $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ monokristallarının rentgen difraksiya təhlili (rentgenostruktur analizi) göstərdi ki, birləşmə elementar özəyin $a = 3.97$ Å $c = 6.11$ Å parametrləri ilə tetraqonal quruluşa malikdir (sp. gr. *P4/nmm*), bu da öz növbəsində ədəbiyyat məlumatları ilə yaxşı uyğunlaşır [20].

$Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ monokristalının sabit təzyiqdə $C_p(T)$ istilik tutumunun tədqiqinin nəticələri şəkil 2-də göstərilmişdir. Şəkil 2-dən göründüyü kimi, $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün $C_p(T)$ asılılığında maqnit faza keçidləri üçün xarakterik olan aşkar anomaliyalar yoxdur.

Alınan məlumatlar $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ maddəsinin aşağı temperaturlarda yüksək istilik tutumuna malik olduğunu göstərir. Artıq 160K temperaturda $C_p(T)$ klassik qiymətə çatır $C_p = 12R = 100\ \frac{\text{C}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$. Bu onu göstərir ki, $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ maddəsində temperaturun artması ilə atomlar arasındakı kimyəvi əlaqə nəzərəçarpacaq dərəcədə zəifləyir və əlavə olaraq, strukturun defektliliyinin istilik tutumuna əlavəsi nəzərə alınmalıdır.

Hamarlanmış $C_p(T)$ asılılığın mütləq sıfıra yaxınlaşması $C_p(T) \cong C_V(T) = \gamma T + \alpha T^3$ ifadəsi ilə həyata keçirilmişdir, burada birinci hədd $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün sərbəst elektronların istilik tutumuna əlavəsi, ikinci hədd isə qəfəs əlavəsidir. α və γ əmsallarını $\frac{C_p}{T}$ ifadəsinin T^2-dan asılılığının $\left(\frac{C_p}{T} = f(T^2)\right)$ qrafikindən tapmaq olar. γ kəmiyyəti $\frac{C_p}{T}(T^2)$ qrafikinin yaxınlaşmasını verən düz xəttin ordinat oxu ilə kəsişməsinin koordinatı ilə təyin edilir.

Elektron istilik tutumunun γ əmsalı elektron altsisteminin mühüm parametrini – Fermi səviyyəsində halın sıxlığını təyin etməyə imkan verir:

$$\gamma = \frac{2}{3}\pi^2 k_{\text{B}}^2 \left(\frac{dn}{dE}\right)_{E=E_F},$$

k_{B}– Bolsman sabitidir. α əmsalı absis oxuna nəzərən düz hissənin meyl bucağının tangensinə bərabərdir.

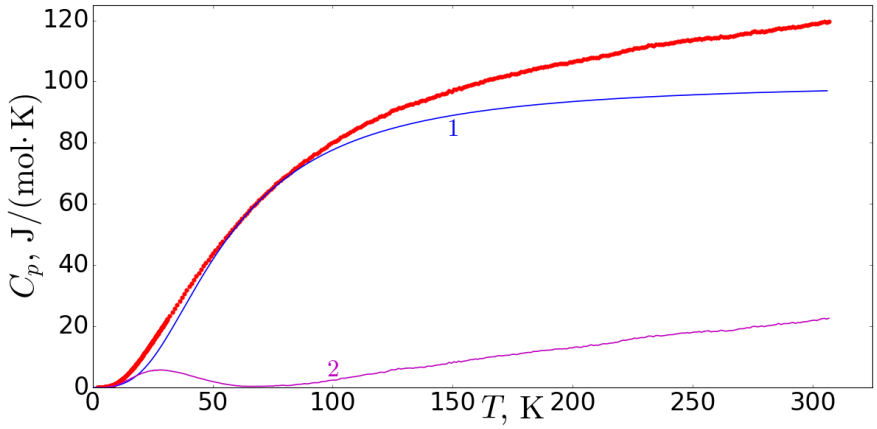
Bir çox birləşmələr üçün, məlum olduğu kimi [21, 22], $C_p(T) \sim \alpha T^3$, yəni $T = \frac{\theta_D}{50}$-dən aşağı temperaturlarda, qəfəsin istilik tutumuna əlavəsi Debay yaxınlaşması ilə qənaətbəxş şəkildə təsvir edilir, burada θ_D xarakterik Debay temperaturudur. Bu halda $C_p(T)/T$ ifadəsinin T^2 asılılığından $\left(\frac{C_p}{T} = f(T^2)\right)$ xətti hissəni ayırmaq olar, onun sıfıra ekstrapolyasiyası maddənin istilik tutumunun qəfəs komponentini təyin etməyə imkan verir. Lakin $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün $C_p(T)/T$ ifadəsinin T^2 asılılığında xətti hissə çox qısadır. Bu, $C_p(T) \sim \alpha T^3$ qanunundan kənara çıxmasını və nəticədə qəfəs rəqslərinin Debay xarakterinə malik olmadığını göstərir. Beləliklə, $\frac{C_p}{T}(T^2)$ asılılığının qrafikinin sıfıra ekstrapolyasiyası bizə yalnız elektron əlavəsinin $\gamma\left(\gamma \approx 0.0041\ \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}^2}\right)$ xarakteristikasını təyin etməyə imkan verir.

$Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ maddəsinin tam istilik tutumu temperaturdan mürəkkəb şəkildə asılı olan müxtəlif əlavələrin cəmindən ibarətdir. Tədqiq olunan temperatur diapazonunun aşağı hissəsində istilik tutumu aşağıdakı kimi göstərilə bilər: $C_p(T) = \Delta C_p + C_D$. Burada birinci hədd müxtəlif tərkib hissələrin $\Delta C_p(T)$ istilik tutumuna əlavəsi, ikincisi isə istilik tutumunun C_D qəfəs (Debay) komponentidir.

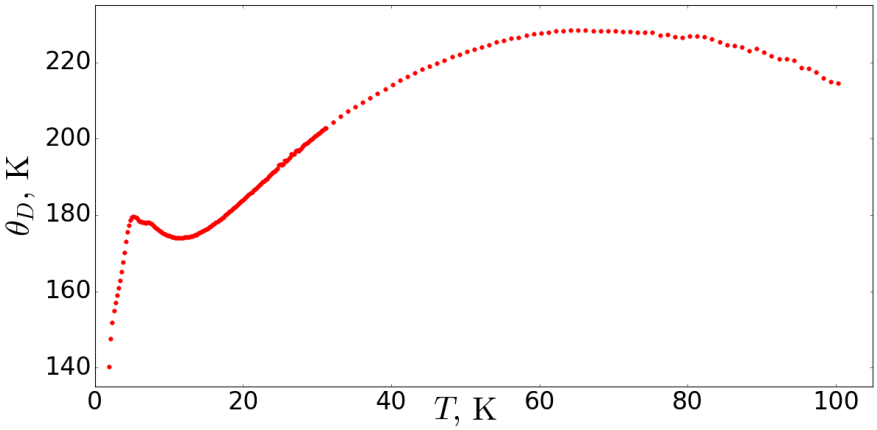
Şəkil 2-də 1 xətti Debay modelində $C_D = 3nRF_D(T/\theta_D)$ istilik tutumunu göstərir, burada n formul vahidinə düşən atomların sayıdır ($Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ halı üçün $n = 4$), R– universal qaz sabiti və xarakterik $\theta_D \approx 230$K Debay temperaturu üçün hesablanmış $F_D(T/\theta_D)$– Debay funksiyasıdır [21, 22]

$$F_D(T/\theta_D) = 3(T/\theta_D)^3 \int_0^{\theta_D/T} \frac{x^4 dx}{(e^x - 1)^2}.$$

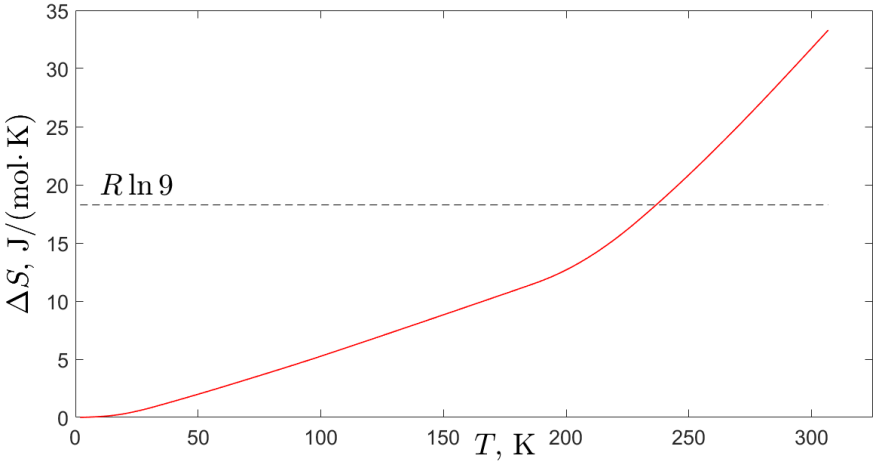
θ_D parametrin qiyməti istilik tutumunun eksperimental asılılığının ən yaxşı təsviri şərtindən seçilmişdir. $T < 50K$ və $T > 90K$ temperaturlarında eksperimental qiymətlər Debay modeli əyrisindən yuxarıda yerləşir, bu $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ kristalının anizotropiyası ilə əlaqədardır. Debay modelinin bir xarakterik θ_D temperaturu ilə məhdudlaşdırılması, ilk növbədə, fonon hallarının izotrop sıxlığından istifadə etməklə yaranır [23].



Şəkil 2. $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün izobar molar istilik tutumunun $C_p(T)$ temperaturdan asılılığı: nöqtələr – eksperimental qiymətlər, 1 – Debay modeli, 2 – istilik tutumunun $\Delta C_p(T)$ əlavəsi.



Şəkil 3. $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün $\theta_D(T)$ asılılığı.



Şəkil 4. $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün $\Delta S(T)$ artıq entropiyanın dəyişməsi.

Şəkil 3- də $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün xarakterik θ_D temperaturun $\theta_D(T)$ asılılığı göstərilmişdir.

$Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ kristalının $C_p(T)$ ümumi istilik tutumundan $C_D(T)$ Debay əlavəsini çıxmaqla, istilik tutumunun əlavə tərkib hissəsinin temperaturdan asılılığını alırq: $\Delta C_p(T) = C_p(T) - C_D(T)$ (şəkil .2–də 2 əyrisi).

$\Delta C_p(T)$ hissəsinə uyğun gələn entropiya,

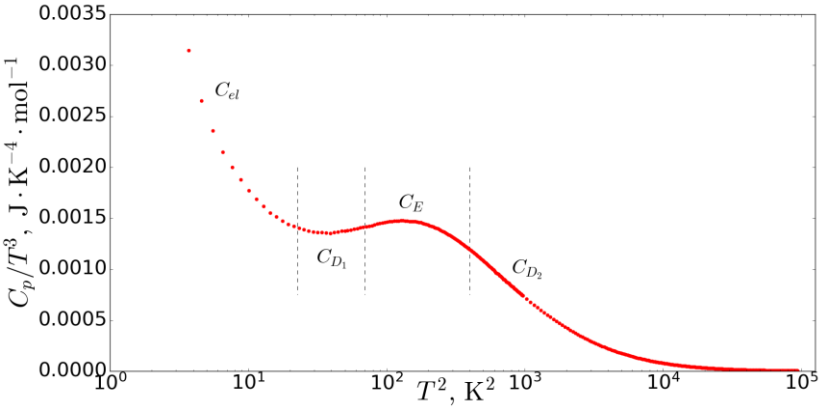
$$\Delta S = \int_0^T \frac{\Delta C_p}{T} dT$$

temperaturun artması ilə artır və $T = 306.77$ K temperaturda $\Delta S \approx 33.3\ \mathrm{J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}}$ qiymətinə çatır (şəkil 4). Bu, maqnit nizamı pozulduqda entropiyanın dəyişməsinin $\Delta S_{m.max}$ maksimum qiymətindən nəzərəçarpacaq dərəcədə böyükdür: $\Delta S_{m.max} = R\ln(2J+1) = R\ln 9 \approx 18.27$ Дж · моль$^{-1}$ · K^{-1}). Burada R qaz sabiti, $J = 4$ isə Fe^{2+} ionu üçün elektronların tam momentinə uyğun kvant ədədidir [24, 25, 26].

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün aşağı temperaturlarda istilik tutumunun temperaturdan asılılığının $C_p(T) \cong C_V(T) = \gamma T + \alpha T^3$ ifadəsi ilə approksimasiyası qənaətbəxş deyil. Ola bilsin ki, bu $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün istilik tutumuna Eynşteyn əlavəsinin olması ilə əlaqədardır. Bu əlavəni aşkar etmək üçün $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün $\frac{C_p(T)}{T^3}$ ifadəsinin T^2 – dan asılılığını qururuq (şəkil 5).

Aşağı temperatur maksimumunun olması $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün istilik tutumuna Eynşteyn əlavəsini (C_E) göstərir. Əlavələrin hər birinin üstünlük təşkil etdiyi temperatur intervalları aydın görünür (şəkil 5) [27, 28]. $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün iki Debay əlavəsinin (C_{D1}, C_{D2}) nəzərə alınması kristal qəfəsin mürəkkəbliyi ilə bağlıdır (burada C_{el}– istilik tutumuna elektron əlavəsidir).

[28]-də qeyd edildiyi kimi, maddənin istilik tutumunun temperaturdan asılılığının qənaətbəxş təsviri θ_{D1}, θ_{D2}, θ_E xarakterik temperaturların müxtəlif dəstləri ilə Debay və Eynşteyn qatqılarının müxtəlif kombinasiyalarından istifadə etməklə əldə edilə bilər. Tədqiqatçının ixtiyarında, məsələn, spektroskopiyadan əldə edilən müxtəlif moda tezliklərinin qiymətləri olduqda yaxşıdır. Bu halda, Eynşteyn və Debay əlavələrinin mövcud birləşmə dəstindən xarakterik tezliklərin eksperimental məlumatlara daha yaxın olanı seçilir. Tədqiq olunan $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün spektroskopik məlumatlar yoxdur, bu o deməkdir ki, biz ümumi istilik tutumuna müvafiq əlavələrin təsir dərəcəsinin xarakterini müqayisə edə bilmərik.



Şəkil 5. $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün $\frac{C_p(T)}{T^3}$ ifadəsinin T^2 – dan asılılığı.

Yekun

İlk dəfə olaraq Quantum Design PPMS (Physical Property Measurement System) kommersiya cihazında 2– 306 K intervalında $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ kristalının istilik tutumu ölçülmüşdür. İstilik tutumunun təhlili nəticəsində xarakterik Debay temperaturu ($\theta_D \approx 230$K) müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, Debay modelinin bir θ_D xarakterik temperatur ilə məhdudlaşdırılması, ilk növbədə, fonon hallarının izotrop sıxlığından istifadə etməklə yaranır. $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ üçün θ_D xarakterik temperaturun $\theta_D(T)$ asılılığı hesablanmışdır. Kristalların qəfəs istilik tutumunu təsvir etmək üçün istifadə edilən müxtəlif nəzəri yanaşmaların təhlili aparılmışdır. ΔS entropiyasının temperatura görə dəyişməsi hesablanmışdır.

Müəlliflər aşağı temperaturlarda istilik tutumunun ölçülməsində göstərdiyi köməyə görə Z. Y. Seyidova dərin minnətdarlıqlarını bildirirlər.

[1] *Y. Kamihara, T. Watanabe, M. Hirano and H. Hosono*. Iron-Based Layered Superconductor $La[O_{1-x}F_x]FeAs$ (x = 0.05−0.12) with T_c = 26 K, J. Am. Chem. Soc. 2008, 130, 3296. (https://doi.org/10.1021/ja800073m)

[2] *M. Rotter, M. Tegel and D. Johrendt.* Superconductivity at 38 K in the Iron Arsenide $(Ba_{1-x}K_x)Fe_2As_2$, Phys.Rev.Lett. 2008, 101, 107006. (https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.101.107006)

[3] *X.C. Wang, Q.Q. Liu, Y.Y. Lv, W.B. Gao, L.X. Yang, R.C. Yu, F.Y. Li and C.Q. Jin.* The

superconductivity at 18 K in LiFeAs system, Solid State Commun. 2008, 148, 538. (https://doi.org/10.1016/j.ssc.2008.09.057)

[4] *F.C. Hsu, J.Y. Luo, K.W. Yeh, T.K. Chen, T.W. Huang, P.M. Wu, Y.C. Lee, Y.L. Huang, Y.Y. Chu, D.C. Yan, and M.K. Wu.* Superconductivity in the PbO-type structure α-FeSe, Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2008, 105, 14262. (DOI:10.1073/pnas.0807325105) (https://doi.org/10.1073/pnas.0807325105)

[5] *K.W. eh, T.W. Huang, Y.L. Huang, T.K. Chen, F.C. Hsu, P.M. Wu, Y.C. Lee, Y.Y. Chu, C.L.Chen, J.Y. Luo, D.C. Yan and M.K. Wu.* Tellurium substitution effect on superconductivity of the α-phase iron selenide, Europhys. Lett. 2008, 84, 37002. (DOI: 10.1209/0295-5075/84/37002)

[6] *Y.Mizuguchi, F.Tomioka, S.Tsuda, T.Yamaguchi and Y. Takano.* Superconductivity in S-substituted FeTe, Appl. Phys. Lett. 2009, 94, 012503. https://doi.org/10.1063/1.3058720)

[7] *J.Guo, S.Jin, G.Wang, S.Wang, K.Zhu, T. Zhou, M. He and X. Chen.* Superconductivity in the iron selenide $K_xFe_2Se_2$ ($0 \leq x \leq 1.0$), Phys. Rev. B. 2010, 82, 180520. (https://doi.org/10.1103/PhysRevB.82.180520)

[8] *Y.J. Yan, M. Zhang, A.F. Wang, J.J.Ying, Z.Y.Li, W. Qin, X.G. Luo, J.Q. Li, J.P. Hu and X.H.Chen.* Electronic and magnetic phase diagram in $K_xFe_{2y}Se_2$ superconductors, Sci. Rep. 2012, 2, 212 (doi: 10.1038/srep00212).

[9] *C.H. Li, B. Shen, F. Han, X.Y. Zhu and H.H.Wen.* Phys. Rev. B. 2011, 83, 184521. (DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevB.83.184521)

[10] *A.Krzton-Maziopa, Z.Shermadini, E.Pomjakushina, V.Pomjakushin, M.Bendele, A.Amato, R.Khasanov, H. Luetkens and K. Conder.* J. Phys. Condens. Matter. 2011, 23, 052203. (DOI: 10.1088/0953-8984/23/5/052203)

[11] *M.H. Fang, H.D. Wang, C.H. Dong, Z.J. Li, C.M. Feng, J. Chen and H. Q. Yuan.* Fe-based superconductivity with T_c=31 K bordering an antiferromagnetic insulator in (Tl,K) Fe_xSe_2, EPL. 2011, 94, 27009. (DOI: 10.1209/0295-5075/94/27009)

[12] *H.C. Lei, M. Abeykoon, E.S. Bozin and C. Petrovic.* Phys. Rev. B. 2011, 83, 180503(R). (DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevB.83.180503)

[13] *H. Ryu, H. Lei, B. Klobes, J.B. Warren, R.P.Hermann and C. Petrovic.* PHYSICAL REVIEW B. 2015, 91, 174517. (DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevB.91.174517)

[14] *H. Lei, E.S. Bozin, K. Wang and C. Petrovic.* Antiferromagnetism in semiconducting $KFe_{0.85}Ag_{1.15}Te_2$ single crystals, Phys. Rev. B. 2011, 84, 060506(R). (DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevB.84.060506)

[15] *X. Ding, D. Fang, Z. Wang, H. Yang, J. Liu, Q. Deng, G. Ma, C. Meng, Y. Hu and H.H. Wen.* Influence of microstructure on superconductivity in $K_xFe_{2-y}Se_2$ and evidence for a new parent phase $K_2Fe_7Se_8$, Nat. Commun. 2013, 4, 1897. DOI: https://doi.org/10.1038/ncomms2913

[16] *Y. Texier, J. Deisenhofer, V. Tsurkan, A. Loidl, D.S. Inosov, G. Friemel and J. Bobroff.* Phys. Rev. Lett. 2012, 108, 237002. (DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.237002)

[17] *N. Lazarevic, M. Abeykoon, P.W. Stephens, H. Lei, E.S. Bozin, C. Petrovic and Z.V. Popovic.* Phys. Rev. B. 2012, 86, 054503. (DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevB.86.054503)

[18] *A.A. Vaipolin, V.D. Prochukhan, Rud V .Yu and V.E. Skoriukin.* Semiconducting properties of $CuFeTe_2$, Izv. Akad. Nauk SSSR, Inorganic Materials 1984, 20, 496-499.

[19] *A.A. Vaipolin, S.A. Kijaev, L.V. Kradinova, A.M. Polubetko, V.V. Popov, V.D. Prochukhan, Rud V .Yu and V.E. Skoriukin.* Investigation of the gapless state in $CuFeTe_2$, J. Phys.: Condens. Mater. 1992, 4, 8035. (DOI: 10.1088/0953-8984/4/40/016)

[20] *A.M. Lamarche, J.C. Woolley, G. Lamarche, İ.P. Swainson and T.M. Holden.* J. Magn. Magn. Mater. 1998, 186, 121. (DOI: 10.1016/S0304-8853(97)01110-4)

[21] *Ч. Киттель.* Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978, 791 с.

[22] *Н. Ашкрофт, Н. Мермин.* Физика твердого тела (в двух томах). М., Книга по требованию, 2013, том 2, 486 с.

[23] *Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.* Теоретическая физика, т. V. Статистическая физика, ч. 1. М., Наука, 1976, 583 с.

[24] *К.П. Белов.* Магнитотепловые явления в редкоземельных магнетиках. М.: Наука, 1990. 95 с.

[25] *К.П. Белов.* Магнитные превращения, М.: ФМЛ, 1959. 260 с.

[26] *Б.А. Струков, А.П. Леванюк.* Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах. М.,Наука, 1983, 240 с.

[27] *V.V.Novikov, A.V.Morozov, A.V.Matovnikov, N.V. Mitroshenkov, D.V. Avdashchenko, S.V.Kuznetsov, B.I. Kornev, O.A. Marakhina, V.V.Novikova, E.O. Bordacheva.* Journal of Alloys and Compounds. 2013, vol. 581, p. 431. (DOI: 10.1016/j.jallcom.2013.07.074)

[28] *A.P. Ramirez, G.R. Kowach.* Large Low Temperature Specific Heat in the Negative Thermal Expansion Compound ZrW_2O_8. Phys. Rev. Lett. 1998, vol. 80, p. 4903. (DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.80.4903)

A.M. Abdullayev, M.J. Najafzade, A.I. Ahmedov, I.N. Ibrahimov

LOW-TEMPERATURE HEAT CAPACITY IN CRYSTALS $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$

This paper presents the results of studies of the heat capacity $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ measured in the temperature interval 2 - 306K. From the dependence $\frac{C_p}{T}(T^2)$ is calculated characteristic of the electronic contribution to heat capacity $\gamma\left(\gamma \approx 0.0041\ \frac{J}{mol \cdot K^2}\right)$. As a result of the heat capacity analysis, the Debye characteristic temperature was determined ($\theta_D \approx 230K$). The parameter θ_D is selected from the condition of the best description of the experimental dependence of the heat capacity. It is shown that the boundedness of the Debye model with one characteristic temperature θ_D is primarily caused by the use of the isotropic density of phonon states. The dependence of the characteristic temperature $\theta_D(T)$ is calculated for $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$. The analysis of various theoretical approaches used to describe the lattice heat capacity of crystals has been carried out. To detect different contributions to the heat capacity, the dependence $\frac{C_p(T)}{T^3}$ on T^2 for $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ was constructed. The presence of a low-temperature maximum indicates the Einstein contribution (C_E) to the heat capacity of $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$. The introduction into consideration of two Debye contributions (C_{D1}, C_{D2}) is due to the complexity of the $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ crystal lattice. Thus, a satisfactory description of the temperature dependence of the heat capacity of $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ can be achieved using various combinations of Debye and Einstein contributions with different sets of characteristic temperatures $\theta_{D1}, \theta_{D2}, \theta_E$. Calculated temperature changes of entropy.

$CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ KRİSTALLARININ MAQNİTLƏNMƏSİ, MAQNİT HƏSSASLIĞI VƏ HİSTEREZİSİ

A.M. ABDULLAYEV, İ.N. İBRAHİMOV, R.Ə. ƏLİZADƏ, M.C. NƏCƏFZADƏ, A.İ. ƏHMƏDOV

Azərbaycan Elm və Təhsil nazirliyi, Fizika İnstitutu

H. Cavid pr. 131, AZ-1143 Bakı

E-mail: aqaadil@gmail.com

5-400 K intervalında alınan maqnitlənmə $M(T)$ və molyar maqnit qavrayıcılığının χ(T) temperaturdan asılılığı $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ maddəsinin ~210K Küri temperaturu olan ferrimaqnit olduğunu müəyyən etməyə imkan verir. 10 K temperaturda doyma maqnitlənmənin M_s kəmiyyəti ilə $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ molekulu üçün n_B Bor maqnitonlarının sayı arasındakı əlaqə aşağıdakı kimi verilir: $n_B = \frac{M_s}{N_A \mu_B}$, burada N_A– Avoqadro sabiti, μ_B– Bor maqnitonudur. Sonra effektiv maqnit momenti üçün aşağıdakı qiymətini alırıq: $\mu_{eff.} = n_B \mu_B \approx 2.95 \mu_B$.

Maqnitlənmənin sahədən $M(H)$ asılılığının ölçülməsi nəticəsində $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ nümunəsində güclü ferrimaqnetizmin mövcudluğunu göstərən maqnit histerezisi aşkar edilmişdir.

Açar sözlər: Maqnitlənmə, $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$, Qavrayıcılıq, Küri temperaturu.
PACS: 75.50.Bb, 75.50.Dd, 75.60.Ej

GİRİŞ

Məlumdur ki, $CoFe_2O_4$ kobalt ferriti fəza qrupu $Fd\bar{3}m$ olan ters çevrilmiş şpinel quruluşuna malikdir [1]. Birinci yaxınlaşmada, $CoFe_2O_4$ strukturunda Fe^{3+} ionları bütün tetraedral və oktaedral mövqelərin yarısını, Co^{2+} isə oktaedral mövqelərin qalan yarısını tutur [1, 2], lakin kobalt atomları çox vaxt hər iki alt qəfəs üzərində paylanır [3, 4, 5]. $CoFe_2O_4$ biləşməsi keçid temperaturu təxminən 800 K ($T_c \approx 800$ K) olan ferrimaqnitdir [1]. 0 K temperaturda dəmirin maqnit momenti (Fe^{3+}) ($5\mu_B$), kobaltınki isə $3\mu_B$ (Co^{2+}) təşkil edir. Müvafiq olaraq, $CoFe_2O_4$ düstur vahidi üçün təxminən $3\mu_B$ olur [1]. Təcrübi məlumatlara görə, aşağı temperaturlarda $CoFe_2O_4$ birləşməsinin doyma maqnitlənməsinin qiyməti $3.7\mu_B$ təşkil edir [1]. Kobalt ferriti otaq temperaturunda sərt maqnit ferritləri arasında kifayət qədər yüksək doyma maqnitlənməsinə malikdir [1]. Otaq temperaturunda bu materialın təkdomenli hissəciklərinin koersitiv qüvvəsi 9 kOe [6-11], nazik təbəqələrinki isə 11 kOe qiymətindən çox ola bilər.

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

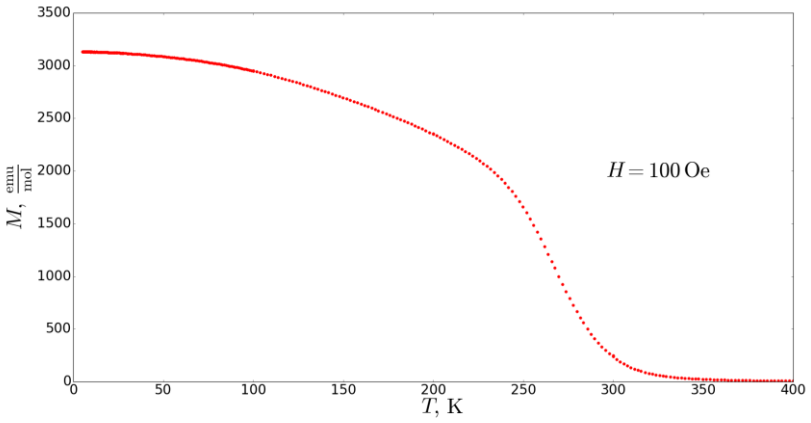
Bu yazıda ters çevrilmiş spinel strukturlu $(Fd\bar{3}m)$ $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ polikristal birləşməsinin maqnit tədqiqatlarının (maqnitlənmənin, maqnit həssaslığının temperaturdan asılılığının və maqnitlənmənin sahədən asılılığının ölçülməsi) nəticələri təqdim olunur.

Bu işin məqsədi 4.2-400K geniş temperatur intervalında $CoGa_{1.1}Fe_{0,9}O_4$ maddəsinin maqnit xassələrini öyrənməkdir.

Yuxarıdakı birləşmənin χ maqnit həssaslığı və M maqnitlənməsi 4.2-400 K temperatur intervalında H maqnit sahəsinin qiyməti 50 kOe-ə qədər olan SQUID–maqnitometrində (SQUID MPMS5 magnetometer from Quantum Design) ölçülmüşdür.

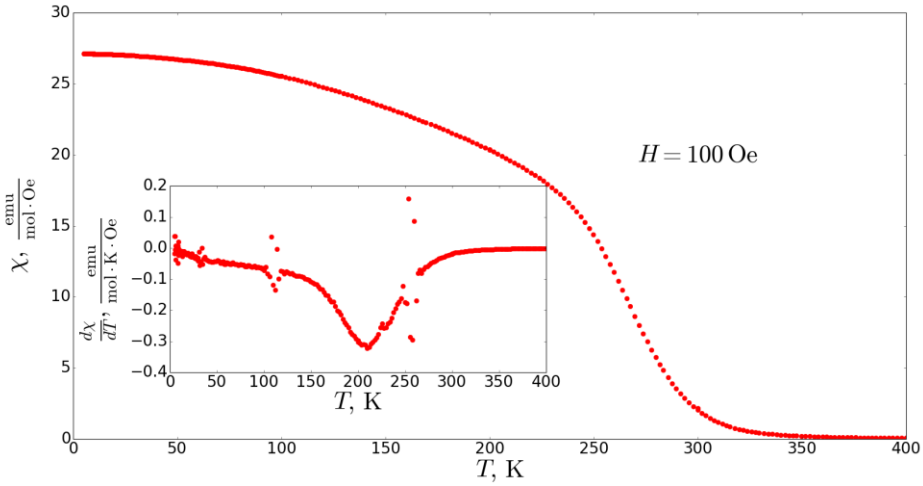
Şəkil 1-də H=100 Oe maqnit sahəsində $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ üçün $M(T)$ molyar maqnitləmənin temperaturdan asılılığı göstərilmişdir.

$CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ üçün χ(T) maqnit qavrayıcılığının və onun $\frac{d\chi}{dT}(T)$ törəməsinin temperaturdan asılılığı şəkil 2-də göstərilmişdir.

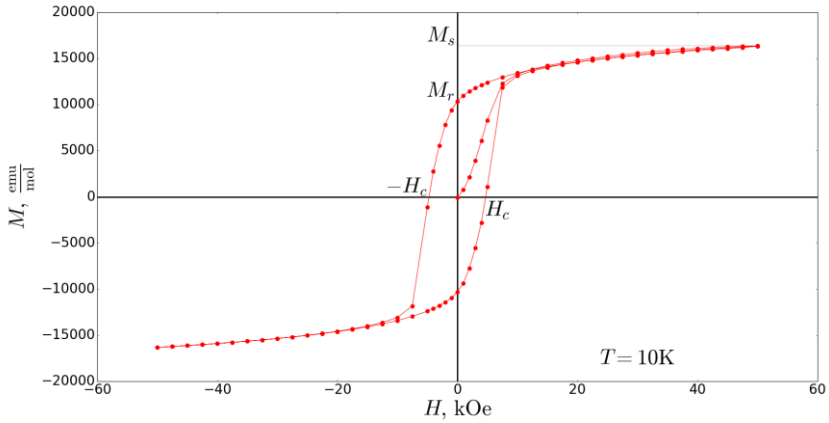


Şəkil 1. $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ maddəsinin $H = 100$ Oe maqnit sahəsində $M(T)$ molyar maqnitlənməsinin temperaturdan asılılığı $\left(m = 28.6 \cdot 10^{-6}\text{kg}, M_{mol} = 249.890 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}\right)$.

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com



Şəkil 2. $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ materialının $H = 100$ Oe maqnit sahəsində $\chi(T)$ maqnit qavrayıcılığının və onun $\frac{d\chi}{dT}(T)$ törəməsinin temperaturdan asılılığı $\left(m = 28.6 \cdot 10^{-6}\text{kg}, M_{\text{mol}} = 249.890 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\right)$.



Şəkil 3. $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ maddəsinin $T = 10$ K temperaturda $M(H)$ molyar maqnitlənməsinin sahədən asılılığı $\left(m = 28.6 \cdot 10^{-6}\text{kg}, M_{\text{mol}} = 249.890 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\right)$.

$CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ maddəsinin ferrimaqnit Küri temperaturu (T_C) qavrayıcılığın $\frac{d\chi}{dT}(T)$ törəməsinin temperatur asılılığından müəyyən edilmişdir ($T_C \approx 210$K) (Şəkil 2) [6, 7].

Ferritlər geniş histerezis halqası və yüksək koersitiv qüvvəsi olan maqnit cəhətdən sərt maqnit birləşmələri sinfinə aiddir. Histerezis halqasının forması və onun parametrləri ferromaqnitin tərkibindən, onun strukturundan və temperaturundan, nümunədə defektlərin paylanmasından, yəni onun istehsal texnologiyasından və sonrakı fiziki emalından (termal, mexaniki, maqnit və s.) asılıdır. Maqnitlənmə histeresisi halqasına uyğun olaraq maqnit materialının maksimum maqnitlənmə (M_s), qalıq maqnitlənmə (M_r), koersitiv qüvvəsi (H_c) kimi parametrləri müəyyən edilir. Şəkil 3-də $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ birləşməsi üçün histerezis halqası göstərilmişdir. Maqnit histerezis halqasının parametrləri və forması ferritlər üçün xarakterikdir. Verilən nümunə aşağıdakı maqnit xüsusiyyətlərinə malikdir: $M_s = 1.65 \cdot 10^4$ emu/mol; $M_r = 1.05 \cdot 10^4$ emu/mol; $H_c = 2700$Oe.

10 K temperaturda ölçülən maqnitlənmənin sahədən asılılıq əyrisindən $H = 40$ kOe qiymətindən yuxarıda maqnitlənmənin doymağa meylli olduğunu görmək olar (şəkil 3). 10 K temperaturda doyma maqnitlənmənin M_s kəmiyyəti ilə $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ molekulu üçün n_B Bor maqnitonlarının sayı arasındakı əlaqə aşağıdakı kimi verilir:

$$n_B = \frac{M_s}{N_A \mu_B},$$

burada N_A– Avoqadro sabiti, μ_B– Bor maqnitonudur. Sonra da effektiv maqnit momenti üçün aşağıdakı qiyməti alırıq:

$$\mu_{\text{eff.}} = n_B \mu_B \approx 2.95 \mu_B$$

Çevrilmiş şpinel ferritlər üçün yaranan maqnit momenti ikivalentli metal ionunun maqnit momentinə bərabərdir. Məlumdur ki, qeyri-maqnit ionlarının oktaedral yerlərdə yerləşən ionlarla əvəz edilməsi, eləcə də tetraedral yerlərdə ionların əvəz edilməsi Küri temperaturunun azalmasına səbəb olur və effektiv maqnit momentini azaldır. Bizim halda bu qiymət ($\mu_{\text{eff.}} \approx 2.95\mu_B$) $CoFe_2O_4$ maddəsi üçün effektiv momentdən azdır. Qeyd edək ki, bəzi hallarda qəfəsin kristalloqrafik simmetriyası spinlərin dəqiq antiparalel yönəlməsinin qadağan edilməsinə gətirib çıxarır. Nəticədə, onlar bir-birinə kiçik bucaq altında yönəlir. Bu, hər bir atom üçün

$0.01\mu_B$ tərtibində maqnit momenti olan zəif ferromaqnetizmin meydana gəlməsinə səbəb olur [1, 14–16].

Kobalt ferritinin digər metalların ionları ilə aşqar edilməsi, bir qayda olaraq, materialın maqnit sərtliyini artırmaq üçün o qədər də təsirli deyil. [17, 18] işlərində göstərilmişdir ki, kobalt ferritinin strukturuna qalliumun daxil edilməsi doyma maqnitlənməsinin artmasına və materialın koersitiv qüvvəsinin azalmasına səbəb olur.

NƏTİCƏ

Molyar maqnit həssaslığının temperaturdan asılılığının təhlili göstərdi ki, $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ Küri temperaturu 210 K olan ferrimaqnitdir. 10 K temperaturda doyma maqnitlənmənin M_s kəmiyyəti ilə $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ molekulu üçün n_B Bor maqnitonlarının sayı arasındakı əlaqə aşağıdakı kimi verilir: $n_B = \frac{M_s}{N_A \mu_B}$, burada N_A– Avoqadro sabiti, μ_B– Bor maqnitonudur. Sonra effektiv maqnit momenti üçün aşağıdakı qiymətini alırıq: $\mu_{eff.} = n_B \mu_B \approx 2.95\mu_B$.

$CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ maddəsinin T=10K temperaturda $M(H)$ molyar maqnitlənməsinin sahədən asılılığında histerezis halqası aşkar edilmişdir. Maqnit histerezis halqasının parametrləri və forması ferritlər üçün xarakterikdir. Verilmiş nümunə aşağıdakı maqnit xassələrinə malikdir:
$M_s = 1.65 \cdot 10^4$ emu/mol; $M_r = 1.05 \cdot 10^4$ emu/mol; $H_c = 2700$Oe.

[1] *J. Smit, H.P.J.Wijn.* Ferrites. Eindhoven: Philips Technical Library, 1959. 136–175 p.

[2] *C. Schmitz-Antoniak et al.* Electric in-plane polarization in multiferroic $CoFe_2O_4/BaTiO_3$ nanocomposite tuned by magnetic fields. Nat. Commun. Nature Publishing Group, 2013, vol. 4, № May, p. 1–8.

[3] *H. Sharifi Dehsari, K. Asadi*. J. Phys. Chem. C. 2018, vol. 122, № 51, p. 29106–29121.

[4] *E. Fantechi et al.* J. Phys. Chem. C. 2012, vol. 116, № 14, p. 8261–8270.

[5] *G. Muscas et al*. Evolution of the magnetic structure with chemical composition in spinel iron 138 oxide nanoparticles. Nanoscale. Royal Society of Chemistry, 2015, vol. 7, №32, p.13576– 13585.

[6] *M.V. Limaye et al.* J. Phys. Chem. B. 2009, vol. 113, № 27, p. 9070–9076.

[7] *M Hamedoun, R Masrour, O Mounkachi, H El Moussaoui, A Benyoussef and E K Hlil*. Physica Scripta, Volume 88, Number 1, 2013, 015704 (10pp).

[8] *J. Chand, S. Verma, P. Kumar, M. Singh*. Structural, Electric and Dielectric Properties of $MgFe_2O_4$ Ferrite Processed by Solid State Reaction Technique. Inter. J. of theor. Appl. Sci. 2011; 3(2): 8-9.

[9] *K.C. Patil, M.S. Hegde, T. Rattan, S.T. Aruna.* Chemistry of Nanocrystalline Oxide Materials: Combustion Synthesis, Properties and Applications. World Scientific Publishing. 2008; 1-364.

[10] *S.K. Kulkarni.* Nanotechnology: principles and practices. Capital publishing company. 2009.

[11] *Xiaohui Wang, Xiansong Liu, Xucai Kan, Shuangjiu Feng, Qingrong Lv & Yujie Yang.* Characterization of microstructure and magnetic properties for Fe ion-doped $CoGa_2O_4$. Journal of Materials Science: Materials in Electronics volume 32, pages 24726–24735, 2021.

[12] *К.П. Белов*. Магнитные превращения, Москва, ФМЛ, 1959, – 260 с.

[13] *К.П. Белов.* Магнитотепловые явления в редкоземельных магнетиках, Москва, Наука, 1990. – 96 с.

[14] *Дж. Смарт*. Эффективное поле в теории магнетизма, Издательство «Мир» Москва 1968, 271с.

[15] *С. Крупичка* . Физика ферритов и родственных им магнитных окислов , том1, Издательство «Мир» Москва 1978, 353с.

[16] *Z.S.Teweldemedhin,R.L.Fuller and M.Greenblatt*. Magnetic Susceptibility Measurements of Solid Manganese Compounds with Evan's Balance, Journal of Chemical Education, v.73, p.906, 1996.

[17] *M.B. Mohamed, M. Yehia.* Cation distribution and magnetic properties of nanocrystalline gallium substituted cobalt ferrite. J. Alloys Compd. 2014. Vol. 615. P. 181–187. 195.

[18] *M. Sumalatha et al.* Raman and in-field 57Fe Mössbauer study of cation distribution in Ga substituted cobalt ferrite ($CoFe_{2-x}Ga_xO_4$). J. Alloys Compd. 2020. Vol. 837. P. 155478.

НАМАГНИЧЕННОСТЬ, МАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ И ГИСТЕРЕЗИС КРИСТАЛЛОВ $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$

Полученные в интервале 5—400 К температурные зависимости намагниченности $J(T)$ и молярной магнитной восприимчивости $\chi(T)$ позволили установить, что $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ является ферримагнетиком, температура Кюри которого равна ~ 210К. Связь между величиной насыщения намагниченности M_s при 10К и числом магнетонов Бора n_B на одну молекулу $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ дается выражением $n_B = \frac{M_s}{N_A \mu_B}$, где N_A– число Авогадро, μ_B– магнетон Бора. Тогда получим следующее выражение для эффективного магнитного момента $\mu_{eff.} = n_B \mu_B \approx 2.95\mu_B$.

Измерения полевых зависимостей намагниченности выявили магнитного гистерезиса, что указывает на наличие в образце $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$сильного ферримагнетизма.

MAGNETIZATION, MAGNETIC SUSCEPTIBILITY AND HYSTERESIS OF $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ CRYSTALS

The temperature dependences of magnetization $M(T)$ and molar magnetic susceptibility $\chi(T)$ obtained in the range 5–400 K made it possible to establish that $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ is a ferrimagnet with a Curie temperature of ~210 K. The relationship between the saturation value of the magnetization M_s at 10 K and the number of Bohr magnetons n_B per $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ molecule is given by $n_B = \frac{M_s}{N_A \mu_B}$, where N_A is the Avogadro number and μ_B is the Bohr magneton. Then we get the following expression for the effective magnetic moment $\mu_{eff.} = n_B \mu_B \approx 2.95 \mu_B$.

Measurements of the field dependences of the magnetization revealed a magnetic hysteresis, which indicates the presence of strong ferrimagnetism in the $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ sample.

AQAROZA-SU SİSTEMİNDƏ GELƏMƏLƏGƏLMƏ PROSESİNƏ MÜXTƏLİF QEYRİ-ÜZVİ DUZLARIN TƏSİRİNİN OPTİK METODLA ÖYRƏNİLMƏSİ

E.Ə. MƏSİMOV, A.R. İMAMƏLİYEV, A.H. ƏSƏDOVA
Bakı Dövlət Universiteti
Azərbaycan, Bakı 1148, Z. Xəlilov küç. 23

Optik metodla bir sıra qələvi duzların (NaCl, KCl, $CaCl_2$ və KBr) aqarozanın geləmələgəlmə proseslərinə təsiri öyrənilmişdir. Ölçmələr göstərir ki, fərqli anionların gelə təsiri də fərqlidir. Anionun sabit qaldığı duzlardan geləmələgəlmə və ərimə temperaturuna ən az təsir edən KCl, kationun sabit qaldığı duzlar arasında isə ən az təsir edən duz KBr-dur. Bu təsirlər qeyd olunan duzların gelin yarandığı mühitin – suyun srtukturunda yaratdığı dəyişikliklərlə bağlıdır. Qeyri-üzvi duzların suyun strukturuna təsiri ionun suyu polyarizə etmə qabiliyyətindən, bu isə ionun ölçüsündən, yükündən və yükünün səthi sıxlığından asılı olması ilə izah olunur.

Açar sözlər: aqaroza, qələvi duzlar, geləmələgəlmə temperaturu, ərimə temperaturu, histerezis
PACS: 77.22.Ej, 64.75 Bc, 31.70. Dk, 61.70 Og

Giriş

Aqaroza qırmızı dəniz yosunlarından alınan aqarın tərkib hissələrindən biridir və suda məhlulları nisbətən kiçik konsentrasiyalarda belə biotexnologiyada və tibbdə geniş tətbiq olunan güclü gel əmələ gətirir [1]. Bu baxımdan onun öyrənilməsi və lazım olan xassələrin idarə oluna bilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Dünyanın bir sıra aparıcı elm mərkəzlərində gellərin, xüsusi ilə də elektroneytral olan aqarozanın öyrənilməsi istiqamətində vacib işlər görülmüşdür. Aqarozanın suda məhlulunda geləmələgəlmə kompleks proses olub, temperatur və onun spesifik quruluşu ilə müəyyən olunur. Aqarozanın geləmələgəlmə mexanizmi üçün geniş yayılmış və qəbul olunmuş modellərdən biri də Tako və Nakamura tərəfindən təklif edilmişdir [2-4]. Polisaxarid hidrogellərinin polisaxarid məhlullarında geləmələgəlməsi klassik geləmələgəlmə mexanizmi kimi götürülə bilər [5-7]. Gellərdə baş verən geləmələgəlmə və gelin ərimə prosesləri üst-üstdə düşmür, yəni güclü termal histerezis müşahidə olunur [8,9]. Bu proseslər müxtəlif metodlarla, UV-vis spektroskopiyası, DSK (differensial skanedici kalorimetri) və s. metodlarla öyrənilir. Məsələn [9] işində aqaroza-su sistemində geləmələgəlmə UV-vis spektroskopiyası metodu ilə, [10] işində isə bu proses aqaroza və karreginan geli üçün DSK metodu vasitəsi ilə həyata keçirilmişdir. [10-12] işlərində eyni zamanda geləmələgəlmə proseslərinə bir sıra duzların təsiri də öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, duzlar aqarozanın zol-gel keçidinə təsir edir və gelin möhkəmliyi və ya zəifləməsi duzun anionundan asılıdır.

Bu işlərin təhlili onu göstərir ki, gelin fiziki xassələrinin müxtəlif əlavələr vasitəsi ilə idarə olunması mümkündür və bu olduqca aktualdır. Bu işdə də müxtəlif təbiətli duzların və onların dissosiasiyası zamanı alınan ionların geləmələgəlmə və gelin ərimə temperaturuna təsiri spektrofotometrik metodla tədqiq edilmişdir.

Eksperiment

İşdə CONDA firmasının istehsalı olan aqarozanın suda məhlulunun əmələ gətirdiyi gelə bir sıra qeyri-üzvi duzların (NaCl, KCl, KBr, $CaCl_2$) təsiri öyrənilmişdir. Əlavə olunan duzların konsentrasiyası 0.5 moldur. Agaroza gelinin hazırlanması aşağıdakı kimi yerinə yetirilmişdir. Aqaroza tozu ADAM PW 124 tərəzisində (dəqiqlik 0,1 mq) çəkilərək bidistillə suyuna əlavə edilir. Qarışıq 1 gün saxlanıldıqdan (şişmə) sonra 95ºC-yə qədər qızdırılır. Alınan bircins və şəffaf məhlul otaq temperturuna qədər soyudulur.

Ölçmələr ikişüalı SPECORD 200 Plus spektrofotometrində 190-1100 nm dalğa uzunluğu intervalında 1nm addımıyla aparılmışdır. Nümunələr üzərində tədqiqat aparmaq üçün xüsusi kvars küvetlərə (10x10x40 mm^3) tökülür, cihazın içərisindəki yuvalara yerləşdirilir, sonra isə işıqburaxma

$$T = \frac{I}{I_0}$$

ölçülür. I_0 – nümunəyə düşən, I – nümunədən keçən işığın intensivliyidir. Alınmış nəticələrə əsasən optik sıxlıq

$$D = -lnT = ln\frac{I_0}{I}$$

hesablanır.

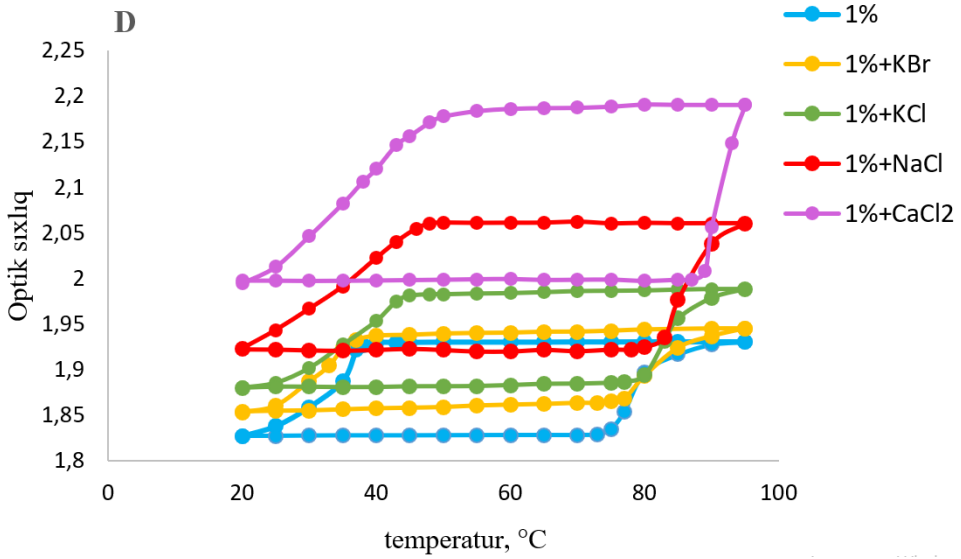
Kvars qabların qoyulduğu yuvalar termostatla (ALPHA LAUDA) təchiz olunmuşdur. Temperatur asılılığını qurarkən gelin çox gec tarazlığa gəldiyini nəzərə alaraq hər temperaturda termodinamik tarazlığın yaranması üçün təxminən 1 saata yaxın gözlənilir. Bu proses həm qızma, həm də soyuma rejimləri üçün aparılır. Gözlənildiyi kimi D(T) asılılığında istilik histerezisləri müşahidə olunur. Seçilmiş duzlar (0,5 mol konsentrasiyada) aqarozanın güclü gel əmələ gətirən halına (1%-li aqaroza duzuna) əlavə olunmuşdur.

Nəticələr və müzakirə

Qeyd edək ki, geldən keçən işığın intensivliyinin azalmasında əsas rolu udulma yox, səpilmə oynayır. Çünki gelin strukturunu təşkil edən hissəciklər və fəza torunun ölçüləri işığın dalğa uzunluğu tərtibindədir (0,1mkm – 1 mkm). Polimer məhlulu zol halından gel halına keçdikdən sonra fəza torunun formalaşması uzun

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

müddət davam edir. Bu özünü gelin işıqburaxmasına (T%) göstərir. Temperaturun artması və azalması ilə aqaroza gelinin işıqburaxmasının dəyişməsi gelin fəza torunun parçalanması və əmələ gəlməsi haqqında müəyyən məlumat daşıyır [11]. Gelin qızdırılması və soyuması zamanı onun işıqburaxmasının temperatur asılılığında müşahidə olunan istilik histerezisləri şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Qələvi duzların aqarozanın güclü geləmələgətirən konsentrasiyasına (1%) təsirini əks etdirən istilik histerezisləri.

Qrafikdən oxunan nəticələr cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1.

Gelin tərkibi	t_g (˚C)	$t_ə$ (˚C)
1%-li gel	36	75
1%-li gel +$CaCl_2$	48	89
1%-li gel +NaCl	46	83
1%-li gel +KCl	43	80
1%-li gel +KBr	37	77

Cədvəldən göründüyü kimi geləmələgəlmə (t_{gl}) və ərimə ($t_ə$) temperaturları duzların təsiri nəticəsində nəzərə çarpacaq dərəcədə artmışdır. Bu təsirlər, bizim fikrimizcə, duzların gelin yarandığı mühitin – suyun srtukturunda yaratdığı dəyişikliklərlə bağlıdır. Qeyri-üzvi duzların suyun strukturuna göstərdiyi fərqli təsirlər ionun suyu polyarizə etmə qabiliyyətindən, bu isə ionun ölçüsündən, yükündən və yükünün səthi sıxlığından asılıdır. Yükünün səthi sıxlığı böyük olan ionlar ion ətrafı suya strukturlaşdırıcı, kiçik səthi sıxlığa malik olan ionlar isə dağıdıcı təsir göstərir. Suyun strukturunun dəyişməsi, polimerin suda məhlulunda gelin əmələgəlməsi üçün zəruri olan müxtəlif növ rabitələrin (dipol-dipol, hidrogen rabitəsi və s) sayının və gücünün dəyişməsinə səbəb olur.

Nəticə

Üzvi duzların aqaroza-su sistemində geləmələgəlmə prosesinə təsiri isə bu duzların hidrofob və hidrofil funksional quruplarının suya təsirlərinin hansının üstün olması ilə əlaqədardır. Hidrofil əlavə ya gel fazada ionşəkilli assosiatların ölçüsünün böyüməsinə, ya da sərbəst su molekullarını öz ətrafına toplayaraq (hidratlar yaradaraq) sistemin özlülüyünün artmasına səbəb olur. Burada ikinci səbəb daha güclü görünür. Özlülüyün artması ilə də gelin möhkəmliyi beləliklə də t_g və $t_ə$ temperaturları yuxarıya doğru sürüşür. Anionu (Cl) eyni olan duzlar içərisində güclü geləmələ gətirən duz $CaCl_2$ olduğu halda, kationu (K) sabit qalan duzlardan güclü gel əmələ gətirəni KCl-dur.

[1] *Elena Varoni, Matilde Tschon, Barbara Palazzo, Paola Nitti, Lucia Martini, Lia Rimondini.* Agarose Gel as Biomaterial or Scaffold for Implantation Surgery: Characterization, Histological and Histomorphometric Study on Soft. Connective Tissue Research, 2012; 53(6): 548–554.

[2] *M. Tako, S. Nakamura.* Gelation mechanism of agarose, Carbohydrate Research, 1988, 180 (2), 277-284

[3] *Arif Selcuk Ogrenci, Onder Pekcan, Selim Kara & Ayse Humeyra Bilge.* Mathematical Characterization of Thermoreversible Phase Transitions of Agarose Gels. Journal of Macromolecular Science, Part B Physics 2018.

[4] *Emılıano Fernandez, Danıel Lopez, Carmen Mıjangos, Mıroslava Duskova-Smrckova, Mıchal Ilavsky, Karel Dusek.* Rheological and Thermal Properties of Agarose Aqueous Solutions and Hydrogels. Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, vol. 46, 322–328, 2008.

[5] *C. Viebke, L.Piculell, S. Nilssont.* On the Mechanism of Gelation of Helix-Forming Biopolymers. Macromolecules 1994, 27, 4160–4166.

[6] *M. Djabourov, J. Leblond, P. Papon.* Gelation of acqueous gelatin solutions. II. Rheology of the sol–gel transition. J. Phys. Fr. 1988, 49, 333–343.
[7] *E.Ə. Məsimov, A.R. İmaməliyev.* Polimer gellərin fiziki xassələri. Bakı-2014.
[8] *A.H. Asadova and E.A. Masimov*. The solution-gel phase transition in aqueous solutions of agarose. Modern Physics Letters B, vol. 35, No. 8 (2021) 2150147 (7 pages).
[9] *P.L. Indovina, E.Tettamanti, M.S. Micciancio Giammarinaro and M.U. Palma.* Thermal hysteresis and reversibility of gel–sol transition in agarose–water systems: The Journal of Chemical Physics 70, 2841, 1979.
[10] *M. Watase, K. Nishinari*. The Effect of Sodium Thiocyanate on Thermal and Rheological Properties of kappa-Carrageenan and Agarose Gels. Carbohydrate Polymers 11, 1989, 55-66, 269-284.
[11] *Struther Arnott, A. Fulmer, W. E. Scott*. The Agarose Double Helix and Its Function in Agarose Gel Structure. J. Mol. Biol., 1974, 90.
[12] *Lennart Picdell and Svante Nilsson*. Anion-Specific Salt Effects in Aqueous Agarose Systems. 1. Effects on the Coil-Helix Transition and Gelation of Agarose. *J.* Phys. Chem. 1989, *93*, 5596-5601.

E.A. Masimov, A.R. Imamaliyev, A.H. Asadova

STUDY OF THE INFLUENCE OF SOME INORGANIC SALTS ON THE GELATION PROCESS IN THE AGAROSE – WATER SYSTEM BY THE OPTICAL METHOD

The influence of a number of alkaline salts (NaCl, KCl, $CaCl_2$ and KBr) on the gelation processes in aqueous agarose solution was studied by spectrophotometric method. The results of the study show that different anions have different effects on the gel. Among the salts where the anion is stable, KCl has the least effect on the gel formation and gel melting temperature, and among the salts where the cation remains stable, KBr has the least effect. The detected patterns are related to the influence of these salts on the structures of water, the medium where the gel is formed. The influence of inorganic salts on the structure of water is explained by the ability of ions to polarize water, which depends on the size, charge and charges surface density of the ion.

Э.А. Масимов, А.Р. Имамалиев, А.Г. Асадова

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЛЕЙ НА ПРОЦЕСС ГЕЛЕОБРАЗОВАНИЯ В СИСТЕМЕ АГАРОЗА-ВОДА ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Влияние ряда щелочных солей (NaCl, KCl, $CaCl_2$ и KBr) на процессы гелеобразоания в водном растворе агарозы изучено спектрофотометрическим методом. Результаты исследования показывают, что разные анионы по-разному влияют на гель. Среди солей, в которых анион остается стабильным, наименьшее влияние на температуру гелеобра-зования и плавления гели оказывает KCl, а среди солей, в которых остается устойчивым катион, наименьшее влияние оказывает KBr. Обнаруженные закономерности связаны с влиянием эти солей на структуры воды – среды, где обра-зуется гель. Влияние неорганических солей на структуру воды объясняется способностью ионов поляризовать воду, которая зависит от размера, заряда и поверхностной плотности заряда иона.

$TlGaSe_2$<Pr> KRİSTALLARININ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ

P.H. İSMAYILOVA, A.İ. HƏSƏNOV, A.A. HACIYEVA, N.Z. HƏSƏNOV, S.S. ABDİNBƏYOV, M.C. NƏCƏFZADƏ

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

e-mail: p.ismayilova@physics.science.az

$TlGaSe_2$<Pr> (0; 0,1; 0,5; 2 mol%) yarımkeçirici kristallar sintez edilmiş və Bricmen-Stokbarger metodu ilə onların monokristalları yetişdirilmişdir. $TlGaSe_2$<Pr>-un difraktoqramlarının öyrənilməsi göstərir ki, monoklinik sinqoniyaya malik $TlGaSe_2$ kristalının qəfəsindəki tallium atomlarını böyük ehtimal ilə praseodimium atomları əvəz edir. Otaq temperaturunda $TlGaSe_2$<Pr> kristalların fotokeçiriciliyinin ölçülməsi aşkar səviyyələrini müəyyən etməyə, onların qadağan zonasının eninin qiymətləndirməyə və onun praseodimium konsentrasiyasından asılılığını izləməyə imkan verdi.

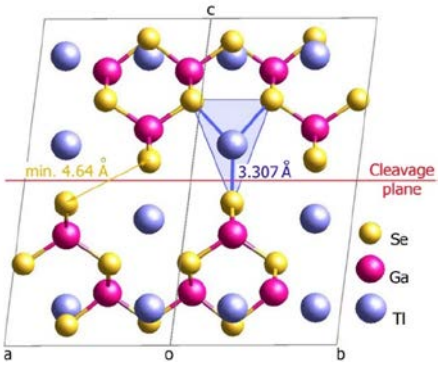
Açar sözlər: yarımkeçirici, prazeodimium, difraktoqramma, fotokeçiricilik, aşqar səviyyə.

Müasir mikro və optoelektronikaya artan tələblər spesifik kristallik quruluşa malik yeni yarımkeçirici materialların tədqiqini stimullaşdırır. Belə materiallara laylı, zencirvari quruluşa malik aşağı ölcülü xalkogenidlər aiddir. Son illər xalkogenidlərin mikroelektronikada geniş tətbiqi onların unikal xüsusiyyətlərinin mövcudluğu ilə bağlıdır. Lakin onların potensial imkanları hələ də tam oyrənilməmişdir. Son illər tədqiqatçıların diqqətini güclü anizotropiyaya malik mürəkkəb quruluşlu laylı kristallar daha çox çəkir. Bu baxımdan $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ qrupuna daxil olan $TlGaSe_2$ kristalları və onların əsasında alınmış bərk məhlullar boyük maraq doğurur. Üçqat laylı quruluşa malik bu birlləşmələrin izomorfizmə meylliyi, struktur faza kecidləri haqda məlumatlar müxtəlif elmi ədəbiyyatlarda fərqlənə bilirlər, bəzən də bir-birilərini təkzib edirlər. Bu halların baş vermə səbəbi bu yarımkeçirici kristallarda müxtəlif modifikasiyalarin mövcudluğu, texnologiya prosesində stexiometriyadan kənara çıxma, müxtəlif defektlərin, aşqarların olması ilə əlaqələndirilir.

Yarımkeçiricilər fizikasının mühüm vəzifələrindən biri məlum olan maddələrə dopinq etməklə, aşqarlar vurmaqla, onların əsasında yaranan bərk məhlulların faydalı fiziki xassələrinin idarə olunmasıdır. Aşqarlar, dislokasiyalar yarımkeçirici kristalların xüsusiyyətlərinə nəzərə çarpacaq dərəcədə təsir göstərir və bəzən yeni fiziki effektlərin yaranmasına səbəb olur. Buna görə də, aşqarların daxil edilməsi yarımkeçiricilərin fiziki xassələrini dəyişmək üçün vacib praktiki üsuldur. Xüsusilə, son zamanlar nadir torpaq elementləri (NTE) ilə $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ qrup kristallarının dopinq edilməsinin perspektivliyi göstərilmişdir [1-5].

Qarşımıza qoyduğumuz əsas məsələ nadir torpaq elementi prazeodimium ilə 0÷2 mol% konsentrasiyada dopinq olunmuş $TlGaSe_2$ kristallarının sintezi, yetisdirilmə texnologiyasının işlənməsi, alınmış $TlGaSe_2$<Pr> -nin fotoelektrik xassələrinin tədqiqidir. $TlGaSe_2$<Pr> birbaşa əritmə metodu ilə sintez olunmuşdur. Alınmış $TlGaSe_2$<Pr> (0÷2 mol%) kristallarının rentgen difraktoqramları cəkilmişdir. Şəkil 1-də $TlGaSe_2$ kristallarının quruluş fraqmenti, qırmızı xətlə isə laylanma müstəvisi (001) göstərilmişdir.

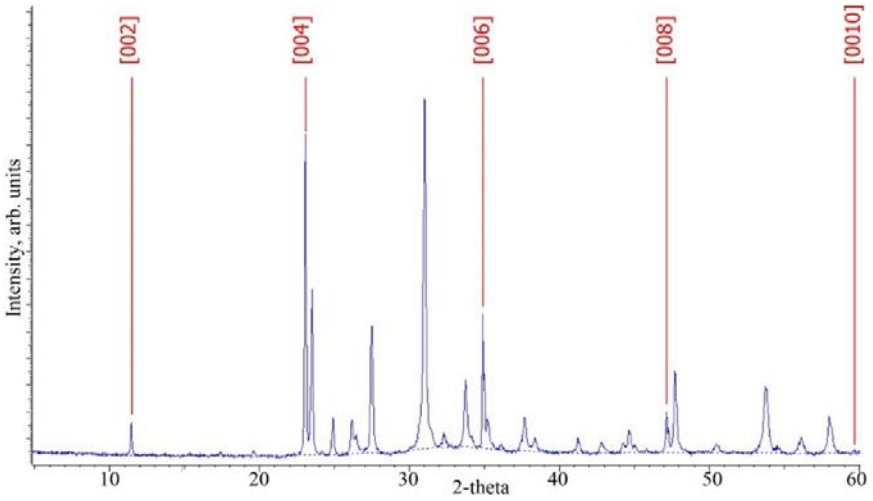
Aldığımız difraktoqramların müqayisəli analizi aşqarlanmanın difraksiya mənzərələrində vizual hiss olunacaq dəyişikliyə səbəb olmadığını qəstərdi. Amma, diqər tərəfdən isə aşqarın miqdarı artdıqca kristalların laylara ayrılma xüsusiyyətinin azaldığını, yəni keyfiyyətli səthlərin əldə olunmasının çətinləşdiyini müşahidə etdik. Kristal-kimyəvi məlumatlar əsasında Pr atomlarının quruluşda Ga atomlarının tetraedrlərində yerləşə bilməyəcəyini biz əvvəlcədən nəzərə almışdıq. Ga atomlarının tetraedrlərinin ölçülərinin Pr atomları üçün çox kiçik olduğunu nəzərə alaraq Ga → Pr əvəzləməsinin mümkün olduğunu hesab etmirik. Doğrudan da bu günə qədər öyrənilmiş kristal quruluşlarında yüngül NTE üçün tetraedrik koordinasiyaya rastlanmayıb. Amma Tl atomlarının triqonal prizmaları isə Pr atomları üçün həm formaca xarakter, həm də ölçülərinə görə çox uyğundurlar (şəkil 1). Belə əvəzləmə həm də kristalların laylanma xüsusiyyətinin zəifləməsinin səbəbini də izah edir. Belə ki, Tl → Pr əvəzlənməsi laylararası əlaqənin güclənməsinə səbəb olmalıdır. Şəkil 2-də $TlGaSe_2$ kristalın difraksiya mənzərəsi göstərilmişdir [6].



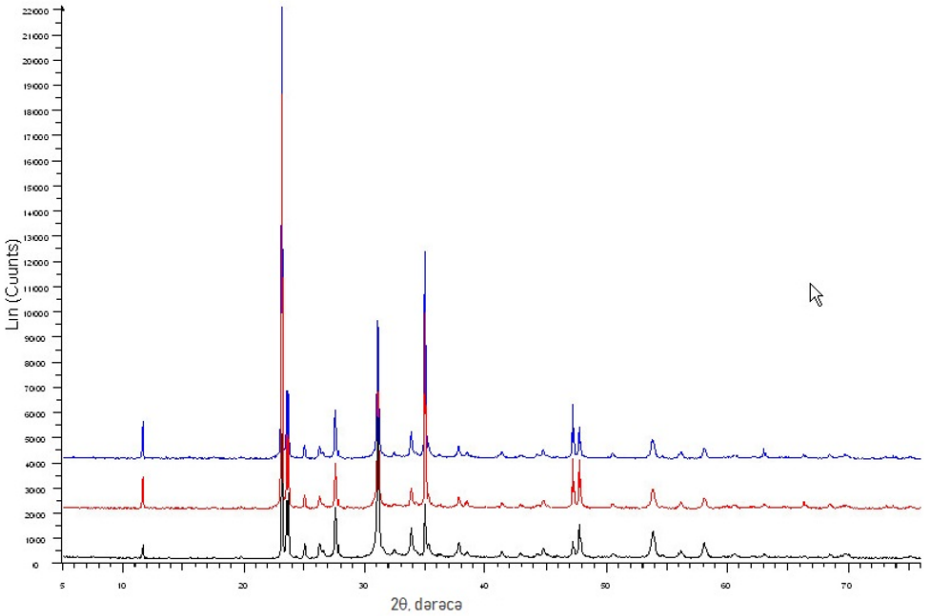
Şəkil 1. $TlGaSe_2$ quruluş fraqmenti [6].

Difraktometr ilə aparılan hesablamalar göstərdi ki, $TlGaSe_2$–nin Pr ilə dopinqi onun kristallik strukturunda nəzərə çarpacaq dəyişiklik əmələ gətirmir. Tərkiblərin birfazalı olduğu və qəfəs parametrlərinin $TlGaSe_2$–dən cox fərqli olmadığı müəyyənləşdirilmişdir. $TlGaSe_2$ əsaslı $TlGaSe_2$<Pr> nümünələri a=10.779A, b=10.776A, c=15.663A, β=99.993C, fəza qrupu C2/c, z=16 olan monoklin sinqonyada kristallaşırlar [7]. $TlGaSe_2$<Pr> (0÷2mol%) nümunələrinin difraktoqramındakı reflekslər $TlGaSe_2$ fazasına uyğundur. Şəkil 3-də $TlGaSe_2$<Pr> kristallarının difraktoqramları göstərilmişdir.

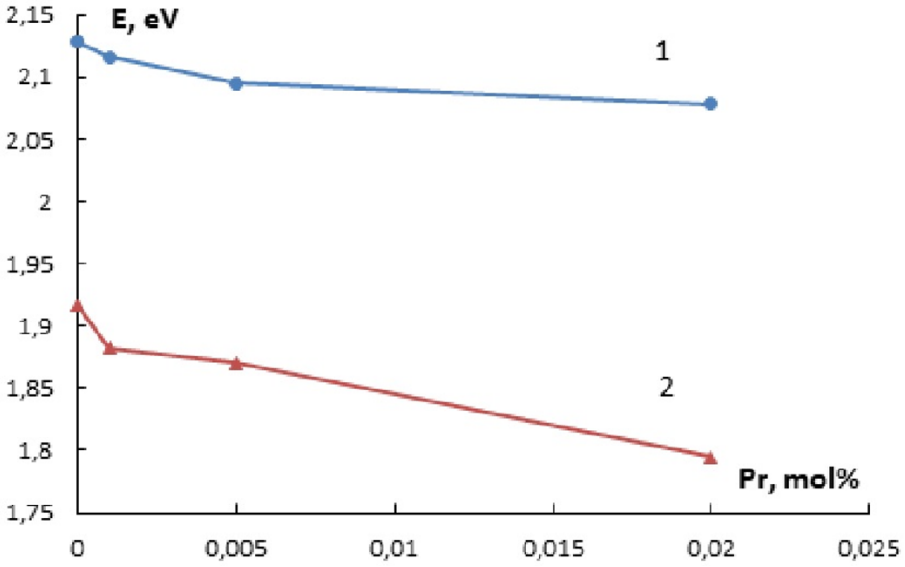
131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com



Şəkil 2. TlGaSe$_2$ kristalının difraktoqramması [6].



Şəkil 3. TlGaSe$_2$<Pr> (0,1; 0,5; 2 mol%) kristallarının difraktoqrammaları.



Şəkil 4. TlGaSe$_2$<Pr> kristalların məxsusi qadağan olunmuş zonasının eninin (1) və aşqar səviyyənin (2) tərkibdən asılılığı.

Fotoelektrik xassələri ölçmək üçün $TlGaSe_2$<Pr> monokristalları Bricmen-Stokbarger metodu ilə yetişdirilmişdir. $TlGaSe_2$<Pr> (0; 0,1; 0,5; 2 mol%) monokristal nümunələri planar şəkildə hazırlanmışdır ki, xarici elektrik sahəsi monokristalların təbii layları üzrə istiqamətlənsin və işığın laylara perpendikulyar istiqamətdə düşməsi təmin edilsin. Kontakt material olaraq gümüş pastasından istifadə edilmişdir. Kontaktlar arasındakı məsafə 2 mm təşkil edir. Tətbiq edilmiş elektrik sahəsinin gərginliyi monokristalın volt-amper xarakteristikasının düz xətt oblastına uyğundur.

Tədqiqatlardan müəyyən edilmişdir ki, $TlGaSe_2$–də oldugu kimi, $TlGaSe_2$<Pr> (0,1; 0,5; 2 mol%) monokristallarında yeni aşqar fotokeçiricilik müşahidə olunur və uyğun olaraq aşqar enerji səviyyələri Pr-un müxtəlif konsentrasiyalarında aldiğı qiymətlər verilmişdir (0,1%-1,882eV; 0,5%-1,87eV; 2% -1,795eV).

Uyğun olaraq $TlGaSe_2$<Pr> üçün eksperimentdən qadağan olunmuş zonanın eni hesablanmışdır. 0,1% üçün E_g=2,116 eV, 0,5% üçün E_g=2,095 eV və 2 mol% üçün E_g=2,078 eV təşkil edir (şəkil 4). Bu nəticələr ədəbiyyatda $TlGaSe_2$–nin qadağan olunmuş zonasının eni üçün (E_g=2,128 eV) hesablanmış rəqəmlərə uyğundur.

$TlGaSe_2$<Pr> (0,1; 0,5; 2 mol%) xalkogenidli birləşmələrin kristallaşmasında tetraedrik boşluqların olması böyük miqdarda məxsusi defektlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

$TlGaSe_2$–də Pr-un konsentrasiyasının artması ilə qadagan olunmuş zonanın eninin azalmasını zona nəzəriyyəsinə əsasən müxtəlif defektlərin (stexiometriyadan kənaracixma hesabına yaranan məxsusi struktur defektləri, xüsusilə xətti defektlər, aşqarların qeyri-bircins paylanması və seqreqasiyası hesabına yaranan defektlər), tələlərin aşqar elementin ionları tərəfindən rekombinasiya edilməsi hesabına baş verməsi ilə izah etmək olar. $TlGaSe_2$<Pr>-un qadağan olunmuş zonasının uzundalğalı oblasta dogru sürüşməsi baş verir və yeni energetik səviyyələrin iştirakı ilə aşqar fotokeçiricilik müşahidə edilmişdir. Belə ki, Pr-un dopinqi qadağan zonada yeni lokal səviyyələr yaranır və bu mərkəzlər hesabına elektronların keçirici zonaya keçməsi üçün daha az enerji tələb olunur. Bu isə öz növbəsində aşqar fotokeçiriciliyin mövcudluğunu təsdiq edir.

Bu nəticələr əsasında demək olar ki, $TlGaSe_2$ kristalına nisbətən $TlGaSe_2$<Pr> (0,1; 0,5; 2 mol%)–nin spektral oblastı əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir və bu imkan verir ki, tədqiqat edilmiş kristallardan praktikada geniş diapazonda optik şüalanma fotoqəbuledicisi kimi istifadə edilsin.

---

[1] *Э.М.Годжаев, Э.А.Аллахяров, В.Д.Рустамов.* Синтез, вы ращивание монокристаллов и исследование акустовольтаического эффекта в $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$ и $TlIn_{1-x}Pr_xTe_2$. Неорган. Материалы. 2004. т. 40. № 9. с. 1054–1059.

[2] *F.M. Seyidov, E.M. Kerimova, N.Z. Gasanov, Sh.D. Alizade.* Interaction of $TlInS_2$ with $TlYbS_2$ and electric, thermal properties of crystals $(TlInS_2)_{1-x}(TlYbS_2)_x$ (x=0÷0,12). 16-th Intern. Conf. on Ternary and Multinary Compounds. 2008. Sept.15-19. Tech. Univ. Berlin. Germany. Book of Abstracts. ID 93.

[3] *Ф.М. Сеидов, Э.М. Керимова, Н.З. Гасанов.* Фазовые равновесия в системе $TlInS_2$-$TlYbS_2$ и электрические свойства кристаллов Tl_2InYbS_4. Неорган. материалы. 2011. т. 47. № 12. с. 1429–1432.

[4] *А.М. Пашаев, С.Н. Мустафаева, Э.М. Керимова, Н.З. Гасанов.* Диэлектрические и оптические свойства легированных редкоземельными элементами монокристаллов $TlInS_2$ и $TlInSe_2$. Ученые записки Национальной Академии Авиации. 2014. т. 16. № 3. с. 2937.

[5] *Э.М. Керимова, Н.З. Гасанов*. Кристаллофизика сложных полупроводников на основе соединений типа $TlB^{III}C_2^{VI}$, включающих редкоземельные элементы и переходные металлы. AMEA Xəbərlər, Fizika və Astronomiya seriyası. 2017. №2. c. 12–26.

[6] *Johnsen, Simon; Liu, Zhifu; Peters, John A., etc.* Thallium Chalcogenide-Based Wide-Band-Gap Semiconductors: $TlGaSe_2$ for Radiation Detectors. Chemistry of Materials. 2011. 23. p. 3120.

[7] *G.E.Delgado, A.J.Mora, F.V.Pérez, J.González.* Growth and crystal structure of the layered compound $TlGaSe_2$. Cryst. Res. Technol. 2007. 2. p. 663–666.

CdS-də KEÇİD CƏRƏYANLARI

N.N. LEBEDEVA, V.İ. ORBUX, Ç.Q. AXUNDOV, Q.M. EYVAZOVA*, İ.M. ƏFƏNDİYEVA

Bakı Dövlət Universiteti, Fizika Problemləri ETİ

** Bakı Dövlət Universiteti, Nano Mərkəz*

afandiyeva@mail.ru

Təqdim olunan məqalədə monokristallik və toz halında olan CdS nümunələrinin tədqiqinin nəticələri göstərilmişdir. Geniş qadağan olunmuş zonaya malik (2,4 eV), kiçik elektrik keçiriciklə səciyyələnən CdS-ə olan maraq onun yaxın UB oblastında yüksək fotohəssaslığı ilə əlaqədardır. Elektrik xassələrinə görə CdS seolitlərə yaxındır. Həcmi lövhədən kəsilmiş monokristallik CdS nümunələrinə elektrik gərginliyi qoşulduqda qısamüddətli keçid cərəyanı müşahidə olunur. Tozvari CdS nümunələri üzərində eyni eksperiment aparıldıqda fərqli nəticə alınır – cərəyan stasionar qiymətə çatmayaraq bir neçə saat ərzində azalır. Qeyd etmək lazımdır ki, toz dənəcikləri çox da xırda deyil və eksperiment zamanı təzyiqə məruz qalmamışdır. Belə halda nümunə həcminin çox hissəsini məsamələr təşkil edir.

Açar sözlər: Kadmium sulfidi, impedans tədiqiqatlar, monokristallik CdS, tozvari CdS
PACS: 73.61.Ga;88.40.jm; 73.50.-h,73.61.-r; 61.72.U-, 81.70.Jb

Giriş

Yarımkeçiricilərdə fotoelektrik hadisələrin öyrənilməsində və inkişafında kadmium sulfidi (CdS) mühüm rol oynamışdır. Bu istiqamətdə aparılan tədqiqatlarda CdS model maddə kimi tanınır. Yarımkeçiricilərin fotoelektrik tədqiqatları optoelektron metodlara aiddir. Bu elmi istiqamət daxili fotoeffekt əsaslı fotokeçiricilik hadisələrini ehtiva edir.

Fotokeçirici layın alınması üçün istifadə olunan metodlardan ən sadəsi altlıq üzərinə müəyyən maddənin tozunun çəkilməsidir. Bu zaman maddənin fotoelektrik xassələrini yaxşılaşdırmaq məqsədilə ona xüsusi əlavələr qatılır. Sonrakı tablama nümunənin sıxlığını artırır, ona fotokeçiricilik kimi aşkarlanan yarımkeçirici üçün xarakterik olan xassələr aşılayır.

Kadmium sulfidi (CdS) ilk dəfə 1958-ci ildə fotoelektrik tədqiqatlar üçün model maddə adlandırılmışdır [1]. Buna səbəb otaq temperaturunda CdS-ə məxsus geniş qadağan olunmuş zonadır (2,4 eV). Bu xüsusiyyət maddənin əsas xassələrinin tədqiqi zamanı xüsusi soyudulmaya ehtiyacın olmamasını təmin edir [2].

Metal və yarımkeçirici nazik təbəqələrin alınması üçün vakuum sublimasiya və katod tozlandırma metodlarından geniş istifadə olunur. 1950-ci illərin axırlarında, ilk dəfə olaraq CdS-in sublimasiya edilmiş fotokeçirici təbəqələri alınmışdı. Bu təbəqələr orta enerjili elektronların detektə edilməsi üçün nəzərdə tutulmuşdu [3]. 1960-cı illərdə Ukraynanın Yarımkeçiricilər Elmi-Tədqiqat İnstitutunun əməkdaşları tərəfindən CdS nazik təbəqələri əsasında fotokeçiricilik hadisələri geniş və hərtərəfli tədqiq edilmişdir [4]. Qeyd etmək lazımdır ki, buxarlanan tozda metal xloridlərinin olması nümunələrin nəmliyə həssaslığını artırırdı.

CdS təbəqələri üçün işıqda müqavimətin dəfələrlə (5 tərtib) dəyişməsi və foto yaddaşın olması səciyyəvidir. 1970-ci illərdə Kiyevdə M.K.Şeykmanın rəhbərliyi altında CdS-in fotoyaddaşı ilə əlaqədar bir sıra elmi iş aparılmış, maraqlı nəticələr alınmışdır [5].

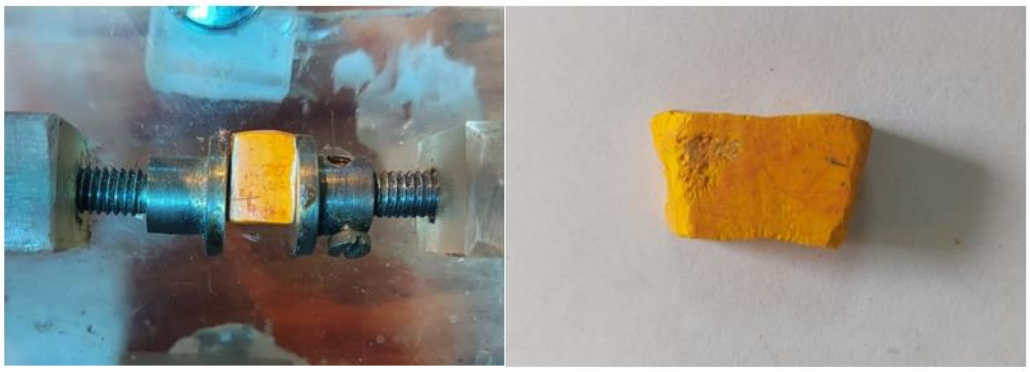
CdS tipli təbəqələrdə də bir sıra fotoelektrik tədqiqatlar aparılmışdır. Bunlar uzununa fotokeçiricilik, fotodielektrik effekt, fotoinduksiya effekti, səthi fototutum effekti ilə əlaqədardır [6]. Bu tədqiqatlar fotodielektrik effektlərin yeni klassifikasiyasını təklif etməyə imkan verdi. Bundan başqa, alınan nəticələr geniş zonalı yarımkeçiricilərin tədqiqində yaranmış və ion fotoeffektinin izahına gətirmiş ziddiyyətin (alternativ dərin səviyyə - kollektiv baryer) aşkarlanması ilə nəticələndi [7]. CdS tipli nazik təbəqələr əsasında fotokeçirici mühitlər yaradılmışdır. Bu mühitlərin geofizikada geoloji qatların modelləşdirilməsində istifadəsi və bunun nəzəri cəhətdən mümkünlüyü əsaslandırılmışdır [8]. Kadmiumun kompensə edilməmiş artıqları ilə əlaqədar orta İQ –oblastda yükdaşıyıcıların plazma-rezonansı tədqiq edilmişdir [9]. Optik tezliklərdəki yüksək keçiricilik sabit cərəyanda aşağı keçiriciliklə uzlaşırdı. İkinci-ion fotoeffekti ilə analogiya otaq temperaturunda orta İQ- oblastlnda işləyən plazma-rezonansı əsaslı fotoqəbuledicinin yaradılması mümkünlüyünü aşkar etmişdir.

Eksperiment

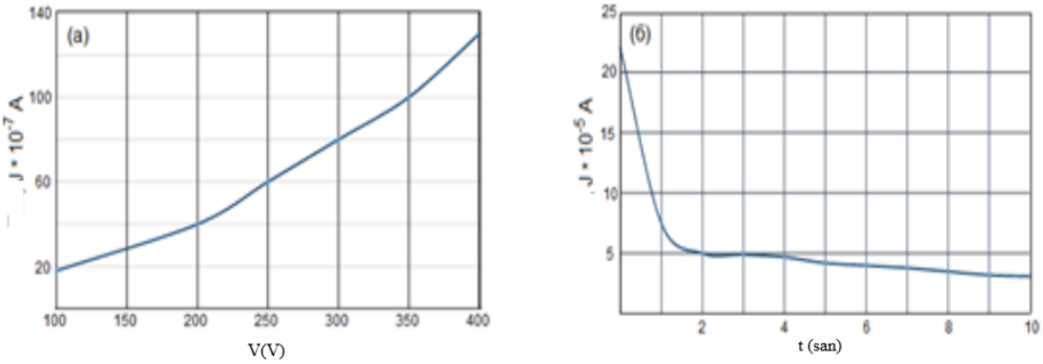
CdS-ə olan maraq onun enli zonalı (2,4eV) yarımkeçiricilər üçün səciyyəvi olan kiçik elektrik keçiricilikə birgə yaxın ultra-bənövşəyi (UB) oblastakı qeyradi fotohəssaslığı ilə əlaqədardır. Elektrik xassələrinə görə CdS tədqiq etdiyimiz seolitlərə yaxındır [10]. Bu isə CdS tozu - seolit qatqısının əsasında fotohəssas kompozitin yaradılmasını maraqlı edir.

Təqdim olunmuş məqalədə monokristallik quruluşlu və tozvari strukturlu CdS nümunələrində keçid cərəyanı tədqiq edilmişdir. Monokristallik nümunələr həcmi CdS lövhəsindən kəsilmişdir. Uzununa fotokeçiriciliyin ölçülməsi üçün hazırlanmış nümunələrin ölçüləri müvafiq olaraq: h,d,l=1,7mm; 5mm; 7,7mm. Lövhənin hxd tərəflərinə gümüş pastasından kontaktlar qoşulmuşdur. Sərbəst səthə (lxd) tətbiq olunmuş elektrik sahəyə perpendikulyar olaraq işıq seli düşürdü. Nümunə kameranın daxilində yerləşdirilmişdir. Buraya işıq açılıb örtülməsi mümkün olan pəncərədən düşürdü. Pəncərə bağlı olduqda qaranlıq cərəyanı ölçülürdü (şəkil 1).

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com



Şəkil1. Monokristallik CdS nümunəsi.



Şəkil 2. Monokristallik CdS nümunəsi üçün VAX (a) və cərəyanın zamandan asılılığı (b).

Şəkil 3. Tozvari CdS nümunəsi üçün yuvacıq.

Sabit gərginlik blokundan nümunəyə (10-1000)V intervalında gərginlik verilirdi. Endim 620.02 tipli gücləndirici ilə qiyməti (10^{-8}-10^{-3}) A intervalında dəyişən cərəyan ölçülmüşdür. Nümunədə gərginlik 200V olduqda qaranlıq cərəyanı ($6*10^{-7}$) A təşkil edirdi. Nümunəyə lampadan işıq düşdükdə cərəyan ($2{,}3*10^{-4}$) A-ə bərabər idi. Beləliklə işıq cərəyanının (I_f) qaranlıq cərəyanına (I_d) nisbəti ~ 400-ə bərabərdir. Monokristalın xüsusi müqaviməti $\rho = 10^4$ Om*mm.

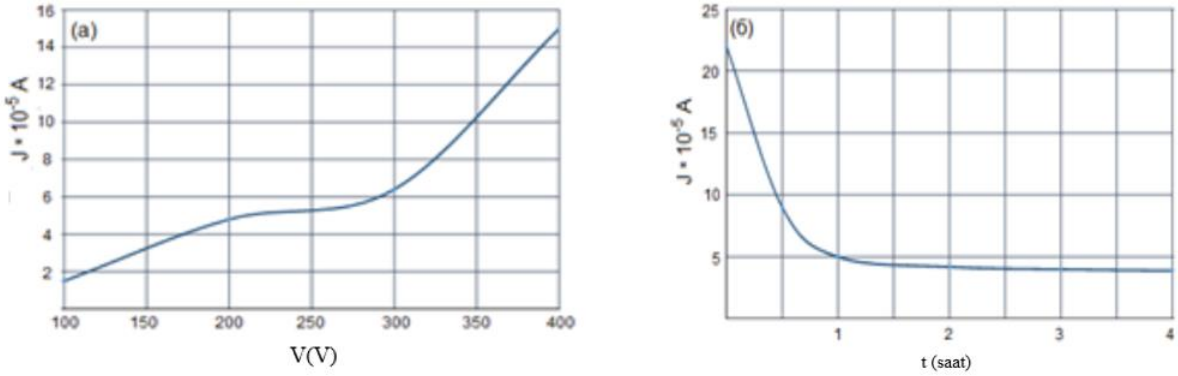
Şəkil 2a-da müxtəlif sabit gərginliklərdə ölçülmüş cərəyanın qiymətləri göstərilir (volt-amper xarakteristikası–VAX). Şəkildən göründüyü kimi cərəyanın gərginlikdən asılılığı praktiki olaraq xəttidir.

Fotohəssaslığın ölçülməsi iki növ CdS nümunələrində həyata keçirilmişdir:

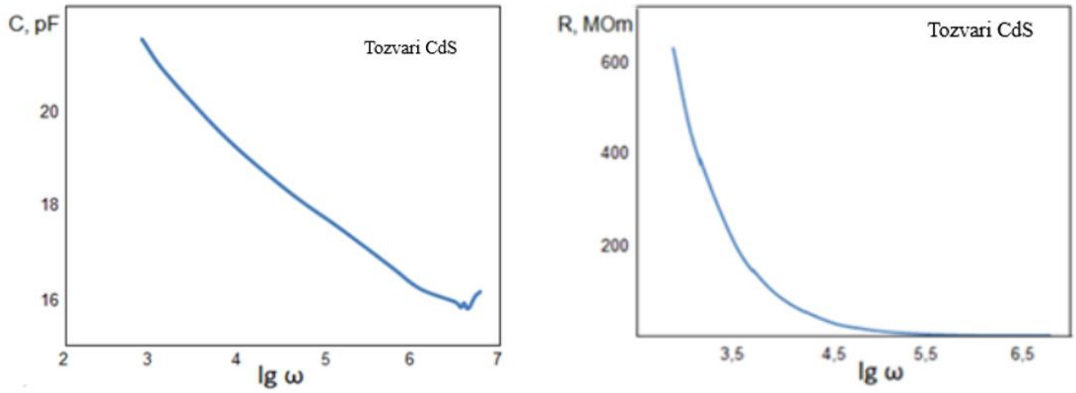
1-ci nümunə - monokristallik CdS. Ölçüləri: uzunluq l=7.7mm, en- d=5 mm, hündürlük h=1.7 mm. Xüsusi müqavimət $5*10^7$ Om*mm. Əvvəlcə qaranlıq cərəyanı ölçülmüşdür. Qurğuda nümunə yuvacıqda yerləşdirilmişdir, yəni pəncərə bağlı idi. Gərginlik mənbəyindən gərginlik 200V olduqda qaranlıq cərəyanının stabil qiyməti $6*10^{-7}$ A olmuşdur. Nümunəyə lampadan işıq salındıqda filtr və fokuslayıcıdan istifadə edilməmişdir. İşıq düşdükdə cərəyan $2.3*10^{-4}$ A qiymətini almışdır (şəkil 2b). Monokristallik CdS üçün cərəyan bu qiymətə təqribən 10 san ərzində çatır. Fotocərəyanın qaranlıq cərəyana nisbəti $\left({I_f}/{I_d} = 400\right)$.

2-ci nümunə – tozvari CdS, monokristallik lövhədən işləmə nəticəsində alınmışdır.

CdS tozu xüsusi hazırlanmış yuvacığın boş həcminə yerləşdirilir. Yuvacığın dibi alt elektrod rolunu oynayır (şəkil 3). Üst elektrod- CdS tozuna sıxılmış mis diskdən ibarətdir. CdS toz dənəcikləri çox da xırda deyil və qurğuda elektrodlar tərəfindən təzyiqə məruz qalmır. Elektrodlara sabit gərginlıik verildikdə nümunədən keçən cərəyan Endim 620.02 gücləndiricisi ilə qeydə alınır.



Şəkil 4. Tozvari CdS nümünəsi üçün VAX (a) və cərəyanın zamandan asılılığı (b).



Şəkil 5. Tozvari CdS nümunəsi üçün tutum (a) və müqavimətin (b) test siqnalının tezliyindən asılılığı.

Tozvari CdS nümunəsində stabil cərəyan uzun müddət ərzində (bir neçə saat) qərarlaşır (şəkil 4b).

Alınan nəcədədən aşkarlanır ki,:

- Sabit gərginlik qoşulduqda monokristallik CdS nümunəsində qısamüddətli keçid cərəyanı müşahidə olunur (şəkil 4a);

- Tozvari CdS nümunəsinə elektrik gərginliyi qoşulduqda cərəyanın zamandan asılılığı fərqli olur. Cərəyan bir neçə saat ərzində azalaraq stasionar qiymətə çatmır.

Tozvari CdS nümunəsi üçün VAX şəkil 4a-da göstərilir.

Cərəyan dəyişməsinin tədqiqinə əlavə olaraq hər iki CdS nümunəsi üçün tutum (C) və keçiriciliyin impedans ölçmələri МНИПИ Е7-20 cihazın köməyi ilə aparılmışdır. Bu ölçmələrdə test siqnalının tezliyi 120Hs-1MHs intervalında dəyişirdi. Alınan ölçmələr əsasında nümunənin müqaviməti (*R*) hesablanmışdır. Monokristallik CdS nümunəsində test siqnalının müxtəlif tezliklərində aparılmış ölçmələr tutum və müqavimətin tezlikdən asılılığını aşkar etməmişdir.

Bundan fərqli olaraq tozvari CdS nümunəsində (CdS hissəciklərinin məsamələr ilə qarışığı) dispersiya müşahidə olunur: tutum və müqavimət test siqnalının tezliyindən asılıdır (şəkil 5). Alınmış nəticə strukturun mürəkkəbliyi ilə əlaqədardır. Strukturu iki komponentli (yəni keçiriciliyi olan CdS hissəcikləri və onların arasında məsamələr) sistem kimi qəbul etdikdə, qeyd etmək lazımdır ki, hər bir komponent üçün ayrılıqda dispersiya müşahidə olunmur (şəkil 5b).

Şəkildən göründüyü kimi, test siqnalı tezliyinin artması nəticəsində tutum və müqavimətin azalması müşahidə olunur. Məlumdur ki, tutum özlüyündə dəyişən gərginliyin tezliyindən asılı deyil. Bu zaman alınmış nəticə əlavə tutumun qoşulmasını bildirir. Sistemin iki fazalı olması nəzərə alınsa, belə fərz etmək olar ki, sistemdə keçirici (R_0 müqaviməti və C_1 tutumlu) və nazik lay- məsamələr (C_2 tutumlu) ardıcıl olaraq qoşulmuşlar. Belə halda ikifazalı sistemə məxsus tutum və müqavimətin tezlikdən asılılığı aşağıdakı ifadələrlə təsvir ediləcək

$$C(\omega) = \frac{C_2 + \omega^2 R_0^2 C_1 C_2 (C_1 + C_2)}{1 + \omega^2 R_0^2 (C_1 + C_2)^2} \qquad (1)$$

$$R(\omega) = R_0 \left(\frac{1}{(\omega R C_2)^2} + \left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right) \right) \qquad (2)$$

Bu model tozvari CdS nümunəsində cərəyanın uzunmüddətli azalmasını izah edir. Elektrik sahənin CdS-ə məxsus keçirici oblastlardan keçirici olmayan (məsamələr) oblastlara keçməsini təmin edən dəyişən cərəyan zaman keçdikcə azalır. Bu da, tam cərəyanın azalması kimi müşahidə olunur (şəkil 4b).

Nəticə

Təqdim olunan işdə CdS nümunələri monokristallik və toz şəklində tədqiq edilmişdir. Müşahidə olunan uzunmüddətli (bir neçə saat ərzində) cərəyan azalması tozvari CdS nümunələrində aşkar edilmişdir.

Buna səbəb strukturun ikifazalı (CdS kristalları və məsamələr) olmasıdır. Tozvari CdS nümunələrin tutum və müqavimətinin test siqnalının tezliyindən asılılığının impedans ölçmələri məsamələrin əlavə tutum rolunu oynamasını bildirir. Strukturun tutum və müqavimətinin tezlikdən asılılığını təsvir edən ifadələr alınmışdır. Stasionar cərəyanın azalması tərkibində kifayət qədər məsamələr olan sistemin ikifazalı olması ilə əlaqədardır.

[1] *K.W. Boeer*. Cadmium Sulfideasa model for Photoelectric Researches, Wissen. Z. Humbolt-Umiv.Math.-Nat. R.Berlin, 1958/1959. Bd.V111.

[2] *А.Н. Георгобиани*. Широкозонные полупроводники $А^{(2)}Б^{(6)}$ и перспективы их применения. УФН. 1974, Т.113, вып.5 . С .129-155.

[3] *А.М. Свердлова, А.Г. Роках*. Влияние облучения электронами средних энергий на проводимость пленок полупроводников. Изв. АНСССР, сер.физ. 1964, т.28, №9, с.1514-1515.

[4] *З.И. Кирьяшкина, В.А. Носова, А.Г. Роках*. О получении фоточувствительных пленок сернистого кадмия с помощью легирования, Укр. физ. журн. 1964, Т.9, вып.6 , С.664в.

[5] *М.К.Шейнкман,И.В.Маркевич,В.А.Хвостов.*, ФТП, 1971, Т.5, вып.10, с. 1904.

[6] *В.Н. Алимпиев, Л.И. Баранов, А.Г. Роках*. Об индуктивных свойствах квазимонополярных полупроводников, Радиотехника и электроника, 1973, т. 8, вып.12, с.2567.

[7] *А.Г. Роках*. Фотоэлектрические явления в полупроводниках и диэлектриках, Саратов, 1984, с.152.

[8] *В.Л. Грищенко, В.П. Малков, М.И. Пронин, А.Г. Роках*. Модели с фотопроводящей средой для решения уравнений эллиптического типа. ЖТФ, 1975, Т.45, вып.2 , С.45.

[9] *А.Г. Роках, Д.И. Виленко, М.И. Шишкин, А.А.Скапцов, С.Б. Вепиг, М.Д. Матасов*. Оптические спектры пленок CdS-PlS и возможность фотоэффекта в среднем инфракрасном диапазоне. ФТП, 2014, т.48, вып.12, с. 1602-1606.

[10] *G.M. Eyvazova, I.M. Afandiyeva, V.I. Orbukh, Ch.Q. Akhundov, N.N. Lebedeva*. Electrıcal parameters of zeolıte wıth dıfferent sılver content, Beyn.Konfr. “Nəzəri və tətbiqi fizikanın inkişafı”, H.Əliyev 100il, AJP FIZIKA 2023 section C: Conference, pp.57-60.

POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLƏRDƏ FAZALARASI QARŞILIQLI TƏSİRİN DİFERENSİAL SKAN KALORİMETRİYA (DSK) VƏ TERMOQRAVİMETRİK ANALİZ (TGA) METODLARI İLƏ TƏDQİQİ

T.D. İBRAHİMOV, Z.A. DADAŞOV, G.X. HÜSEYNOVA, A.F. NURALİYEV, F.F. YƏHYAYEV

Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutu
H.Cavid küçəsi 131. Baku AZ 1143
Email: dadashov.zamir87@gmail.com

İşdə polyar və qeyri-polyar polimer matrisli və müxtəlif strukturlu keramikalardan ibarət kompozitlərdə fazalararası qarşılıqlı təsir diferensial skan kalorimetriya və termoqravimetrik analiz metodları ilə tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, mövcud modifikasiya üsullarından (temperatur, elektrik sahəsi və mexaniki gərginlik) ən effektlisi elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində modifikasiyasıdır. DSK əyrilərində müşahidə olunan maksimumlar yüksək elektrik sahəsinin, temperaturun və elektrik qaz boşalması plazmasının təsirindən polimer fazada və fazalararası sərhəddə strukturun dəyişməsi, fazalararası qarşılıqlı təsir, fazalararası qarşılıqlı təsir artdıqca kristallik dərəcəsi azalır, həmçinin makromolekullar özlərinin sərbəstliyini müəyyən qədər itirirlər,elektrotermopolyarlaşma prosesi pyezohissəciklərin təsiri şəraitində getdiyi üçün ümumiyyətlə kompozitin amorfluğu azalır.

Açar sözlər: polimer, kompozit, matris, şüşələşmə, entalpiya, entropiya, kütlə itkisi, plazma, xüsusi istilik tutumu.
PACS: 83.85; Hf, Np 83.80. T_c

GİRİŞ

Məlumdur ki, seqnetopyezokeramikalar perovskit quruluşa malikdir və kimyəvi tərkibi dəyişməklə fiziki xüsusiyyətləri dəyişir. Kimyəvi tərkibinə görə pyezokeramikalar adətən qurğuşun və barium (Ba) ikivalentli ionlarından, həmçinin titan (Ti) və sirkonium (Zr) dördvalentli ionlarının birləşməsindən ibarət mürəkkəb oksidlərdir. İlkin materialların faiz nisbətini dəyişməklə və müxtəlif əlavələr qatmaqla müəyyən elektrofiziki, pyezoelektrik xassələrə malik pyezokeramik tərkib sintez etmək mümkündür. Seqnetopyezokeramikaların bu göstərilən üstünlükləri ilə yanaşı yüksək dərəcədə kövrəklik xassəsinə malik olması onlardan hazırlanmış nümunələrin deformasiyasının azalmasına səbəb olur. Bu baxımdan elastik xassələrə malik olan material almaq üçün pyezokeramik ovuntunu polimer matrisaya daxil edilərək kompozit nümunə alınmışdır. Son zamanlar polimer matrisli kompozitlərin sənaye, aerokosmik və elektronika sistemlərində geniş istifadə olunur [1, 2]. Həmçinin, göstərilən kompozitlər təmiz polimerlərlə müqayisədə daha yaxşı fiziki və mexaniki xassələrə malik olur. Bundan əlavə, polimer kompozitlərin emalında və tətbiq sahəsinin seçilməsində istilik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi vacib faktordur. Bu məqsədlə, tədqiq olunan nümunələrin (YSPE+PKR1) Diferensial skan kalorimetriya (DSC) və termoqravimetriya (TG) analizi aparılaraq fazalarası sərhəddə baş verən proseslər və termodinamik parametrlər tədqiq olunmuşdur. Son dövrlər yaradılan yeni cihazlar maddədə istilik selinin dəyişmə sürətini (DSC) termoqravimetrik analizlə (TG) kütlənin dəyişməsi, parçalanma və ya korroziya haqqında məlumat verir [3, 4]. Bu metodlarla nümunələrin tədqiqi həmçinin faza çevrilməsini, istilik tutumunu, ərimə və kristallaşma hadisəsini, oksidləşmə stabilliyini və müxtəlif proseslərin kinetikasını dəqiq təyin etməyə imkan verir [5]. Metalların əridilməsi və keramikanın modelləşdirilməsindən sonra, ilk sintetik polimerin sənaye miqyasında istehsalı insan cəmiyyətinin təkamulündə əlamətdar hadisə idi. O, vaxtdan bəri polimerlər daha sürətlə inkişaf edir. Yalnız polimerlərdən və matris kimi, polimerlər və seqnetopyezokeramikalardan ibarət materiallar olaraq kompozitlər daha çox istifadə olunur. Bildiyimiz kimi, kompozit materiallar öz strukturlarına görə ən azı iki komponenetdən ibarətdir. Hazırda kompozitlər yüksək performansa malik materiallar sinifi kimi tanınır [6, 7]. Kompozitlərin istehsalı, tərkibi, həmdə texnologiyası demək olar ki, sonsuzdur. Bu materiallar qabaqcıl texnologiyanın bütün sahələrində geniş istifadə olunur (aerokosmik, robotexnika, maşınqayırma və s.) [7, 8]. Bildiyimiz kimi, TGA- kütlə itkisinin temperatur və ya zaman funksiyası olaraq termik analiz üsuludur. TGA-dan istifadə edərək YSPE əsaslı kompozitlərdə keçid və ya deqradasiya prosesləri ilə bağlı kütlə dəyişikliyini ölçür [9,10]. Termoplastik polimerlər insanların gündəlik həyatında mübahisəsiz varlığa malikdir. Bundan əlavə, qeyd olunan polimer matrisli kompozitlərin daha çox diqqət yetirilmişdir. Polimer matrislərində təbii möhkəmləndirici liflərin istifadəsi həmin materialların yaxşı mexaniki və istilik xüsusiyyətlərinə malik olur. Son bir neçə 10 illikdə polimer matrisli kompozitlər sənaye və akademiya üçün, xüsusilə avtomobil, aerokosmik, elektronika sistemlərində tibbi məhsullar, kimya sənayesi və digər sahələr üçün maraqlı olmuşdur. Düzgün dizayn edildikdə, yeni birləşmiş material ilkin materialdan daha yaxşı xüsusiyyətlər nümayiş etdirir. Kompozit materialları müxtəlif yollarla təsnif etmək olar. Matris kimi, YSPE-nin istifadə olunduğu kompozitlər geniş istifadə olunur. Bu kompozitlər təmiz polimerlə müqayisədə daha yaxşı mexaniki və fiziki xassələrə malikdir.

METODİKA

Tədqiqat obyektləri olaraq müxtəlif strukturlu seqnetopyezokeramikalar (PKR1, PKR8 və PKR26) və polimer matris kimi yüksək sıxlıqlı polietilen (YSPE),

polivinildenftorid (PVDF) seçilmişdir. Pyezoelektrik hissəciklərin diametri 63-100 mkm götürülmüşdür. Polimer matrisli kompozitlərin alınması üçün ovuntu şəklində olan polimer və seqnetopyezokeramikalar xüsusi qabda qarışdırılaraq, xüsusi forma verən qəlibdə paslanmayan presdə preslənmişdir.

Diferensial skan kalorimetriyası (DSK) NETZSCH DSC 204 F1 cihazında (Almaniya) arqon atmosferində aparılmışdır. Araşdırılan kompozit nümunəsi alminium yuvacıqda yerləşdirilir. Etalon nümunə kimi sapfir (Al_2O_3) götürülmüş, qızma sürəti 10 K/dəq, təsirsiz qaz axının sürəti 20 ml/dəq, nümunələrin çəkisi təxminən 40 mq seçilmişdir. Tədqiqatlar -100-600°C temperatur intervalında aparılmışdır.

İşdə DSK spektrində alınan nəticələrdən istifadə etməklə kompozitlərin termodinamik parametrləri aşağıdakı düsturların köməyilə hesablanmışdır:

Entalpiyanın dəyişməsi:

$$\Delta H = S_{sahə} = \int_0^T c_p \, dT \qquad (1)$$

Entropiyanın dəyişməsi:

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T_{keçid}} = \int_0^T \frac{c_p}{T} dT \qquad (2)$$

Kristallıq dərəcəsi:

$$K = \frac{|\Delta H_{ərimə} + \Delta H_{soyuma}|}{\Delta H_{etalon}} \cdot 100\% \qquad (3)$$

Nümunənin T temperaturundakı xüsusi istilik tutumu (c_p):

$$c_p = \frac{m_{standart}}{m_{saple}} \cdot \frac{DSC_{sample} - DSC_{bas}}{DSC_{standart} - DSC_{bas}} \cdot c_{p,standart} \qquad (4)$$

Burada c_p və $c_{p,standart}$ – nümunənin və etalonun T temperaturundakı xüsusi istilik tutumu, $m_{standart}$ və m_{sample} – uyğun olaraq etalonun və nümunənin kütləsi, $DSC_{standart}$ və DSC_{sample} – etalonun və nümunənin T temperaturuna uyğun DSC siqnalının qiymətidir.

Termoqravimetrik (TG) analiz metodu ilə araşdırılan nümunələr NETZSCH STA 449 F1 Yupiter cihazı ilə ölçülmüşdür. Tədqiqatlar 20-850°C temperatur intervalında Al_2O_3 tiqellərində aparılmış, nümunənin qızma sürəti 1K/dəq götürülmüşdür. Ölçmələr sintetik hava mühitində (80% oksigen qazı, 20 % azot qazı və axın sürəti 35 ml/dəq) toz halında olan nümunələr üçün aparılmışdır. Termoqravimetrik (TQ) spektrindən istifadə edərək tədqiq olunan kompozitlərin kinetik parametri olan aktivləşmə enerjisni (E_a) təyin etmək olar [125, s.723], [106, s.16]. Arrenius tənliyinə görə:

$$\ln(k) = \ln(A) - \frac{E_a}{R \cdot T} \qquad (5)$$

Burada k – dəyişmə sabiti, A – eksponensial faktor, E_a – aktivləşmə enerjisi, T – mütləq temperatur, R – universal qaz sabitidir.

Kissinger metoduna görə isə:

$$\ln\left(\frac{\beta}{T_p^2}\right) = \ln\left(\frac{A \cdot R}{E_a}\right) - \frac{E_a}{R \cdot T_p} \qquad (6)$$

Burada T_p – maksimumun temperaturu, β – qızma sürətidir.

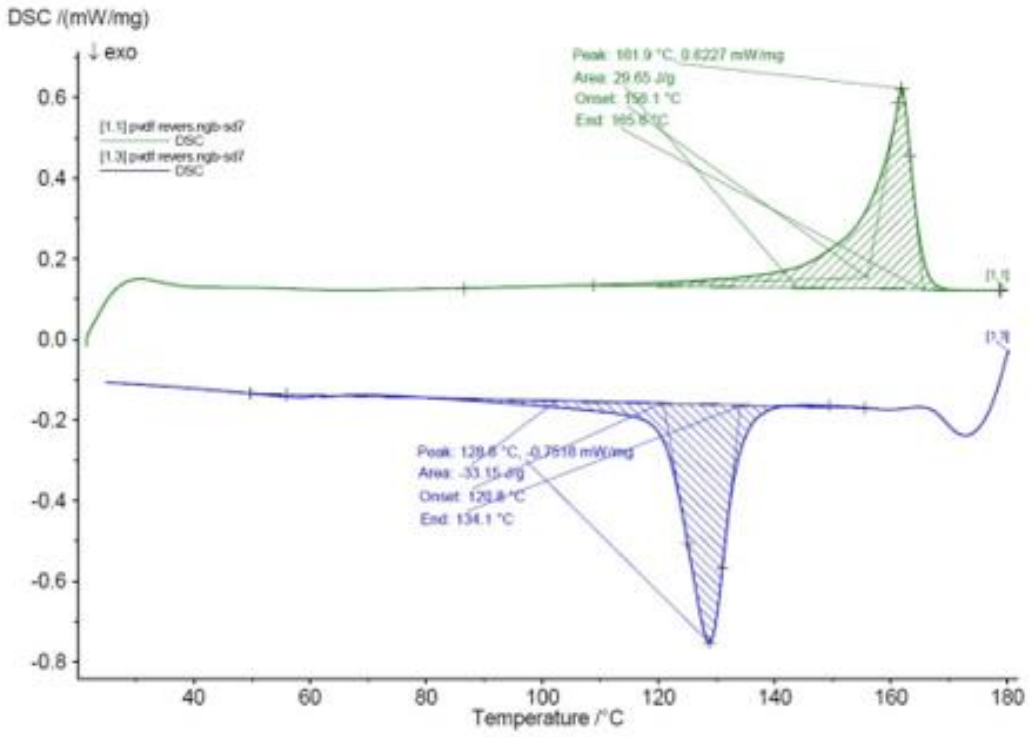
EKSPERİMENTAL NƏTİCƏLƏRİN ANALİZİ

İşdə termiki işləmənin polimerə təsirini öyrənmək üçün diferensial skan kalorimetriya (DSK) əyrilərindən istifadə edilmişdir. Bu məqsədlə şəkil 1- də ilkin YSPE üçün DSK əyriləri verilmişdir. Alınan nəticələr göstərir ki, DSK əyrisi 124°C-də maksimuma malikdir. Əgər YSPE-ni bir tsikl qızma və soyutmaya məruz edərək DSK əyrisini alsaq, tam qrafikdə (yəni soyutma-qızma) yaranan yeni maksimum 111°C-yə uyğundur. Əgər qeyri-polimer matrisanın əvəzinə müəyyən dipol momentinə malik polyar ftor tərkibli polimer polivinildenftorid (PVDF) götürsək, onda DSK əyrisində birinci maksimum 162°C-də, ikinci maksimum 129°C-də müşahidə olunur (şəkil 4, 3, 5b). İlk baxışdan alınan nəticə anomal xarakterlidir: Fikrimizcə, hər iki halda DSK əyrisində maksimumun temperaturunun fərqli olması termoişləmənin təsirindən polimerlərdə oksigenli destruksiya (parçalanma) prosesləri baş verir və bu hal PVDF-də YSPE-nə nəzərən daha yüksək temperaturlarda müşahidə olunur. Eyni zamanda DSK vasitəsilə polimerlərin praktikada tətbiqi üçün mühüm parametr olan şüşələşmə temperaturunu, ərimə temperaturunu, xüsusi istilik tutumunu (c_p), entalpiya, entropiya (ΔS), kristallıq dərəcəsini (K) təyin etmək olar (cədvəl 4, 3, 1). Bildiyimiz kimi, kiçik molekullu birləşmələrdən fərqli olaraq polimerlər iki kristal və amorf faza hallarında ola bilirlər. Amorf polimerlərin isə üç fiziki halı mövcuddur: şüşəvari, yüksəkelastiki və özlü axıcı.

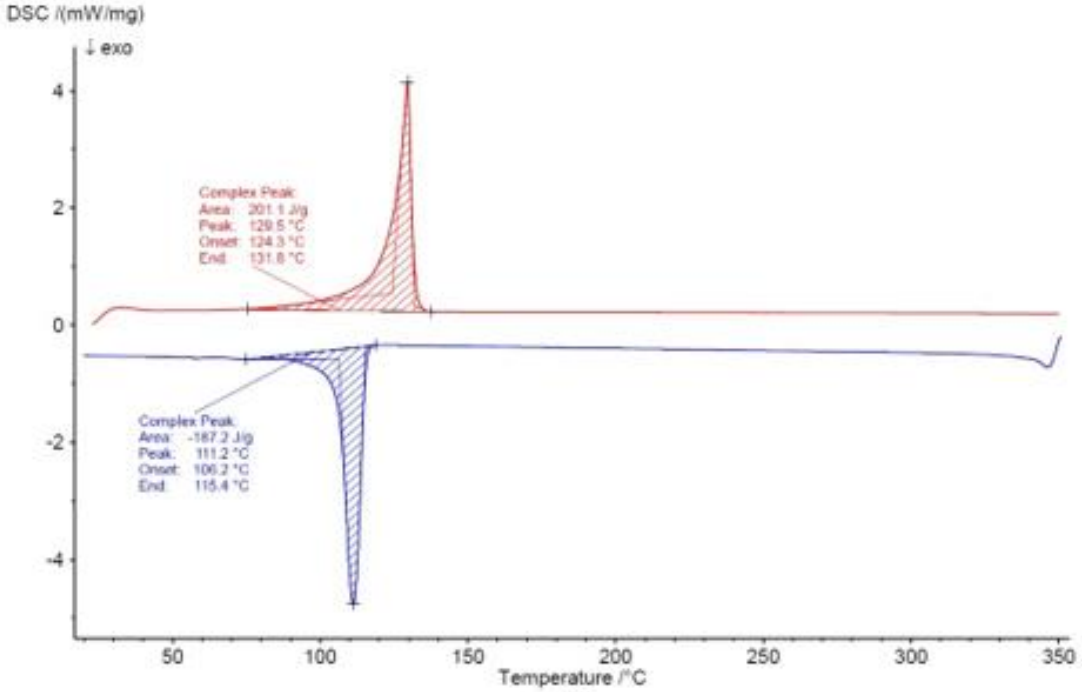
Həmçinin, bu termoqramlar vasitəsilə təmiz polimerlər üçün şüşələşmə temperaturları təyin edilmişdir. Bildiyimiz kimi, şüşələşmə temperaturu hər bir materialın tətbiq sahəsini müəyyənləşdirir. İstifadə etdiyimiz təmiz polimerlərin şüşələşmə temperaturları YSPE (100°C) və PVDF (40°C) üçün ölçülmüşdür (cədvəl 1).

Bundan əlavə, diferensial skan kalorimetriya (DSK) vasitəsilə polimer matrisli seqnetopyezokeramika əsasında kompozitlərdə istiliyin təsirindən gedən struktur dəyişiliklər öyrənilmişdir. Bu məqsədlə verilmiş müxtəlif strukturlu keramikalardan və polimerlərdən (YSPE, PVDF) ibarət kompozitlər üçün DSK termoqramları çəkilmiş və tədqiqatlar -100÷600°C temperatur intervalında aparılmışdır. Şəkil 2-də YSPE+PKR1 və PVDF+PKR1 kompozitlərinin DSK əyriləri verilmişdir. Göstərilən qrafiklərdə temperaturdan asılı olaraq YSPE+PKR1və PVDF+PKR1 kompozitlərində gedən struktur dəyişiliklərinə uyğun maksimumlar (faza keçidləri) çox dəqiq görünür. Qrafikdən görünür ki, YSPE+PKR1 (şəkil 2 a) kompoziti üçün 128^0C temperaturda kiçik ekzotermik pik müşahidə olunur və bu da təxminən polimerin ərimə temperatu-

runa yaxındır. Fikrimizcə, bu ekzotermik pik temperaturun artması ilə YSPE+PKR1 kompozitində olan oksigen tərkibli funksional qrupların (CO, CO_2) parçalanması ilə əlaqədardır. Temperaturun 480°C qiymətindən sonra pikin kəskin düşməsi və endotermik reaksiyanın baş verməsi müşahidə olunur. Endotermik pik 480,4°C temperaturda müşahidə olunur. Yəni, bu artıq polimer ilə seqnetopyezokeramika hissəcikləri arasında əlaqələrini qırmaq üçün çox miqdarda istiliyin udulmasına ehtiyac vardır. Həmçinin, PVDF+PKR1 kompoziti üçün də ekzotermik pik (161,4°C), endotermik pik (470,2°C) müşahidə olunur (şəkil 2 b).



a)



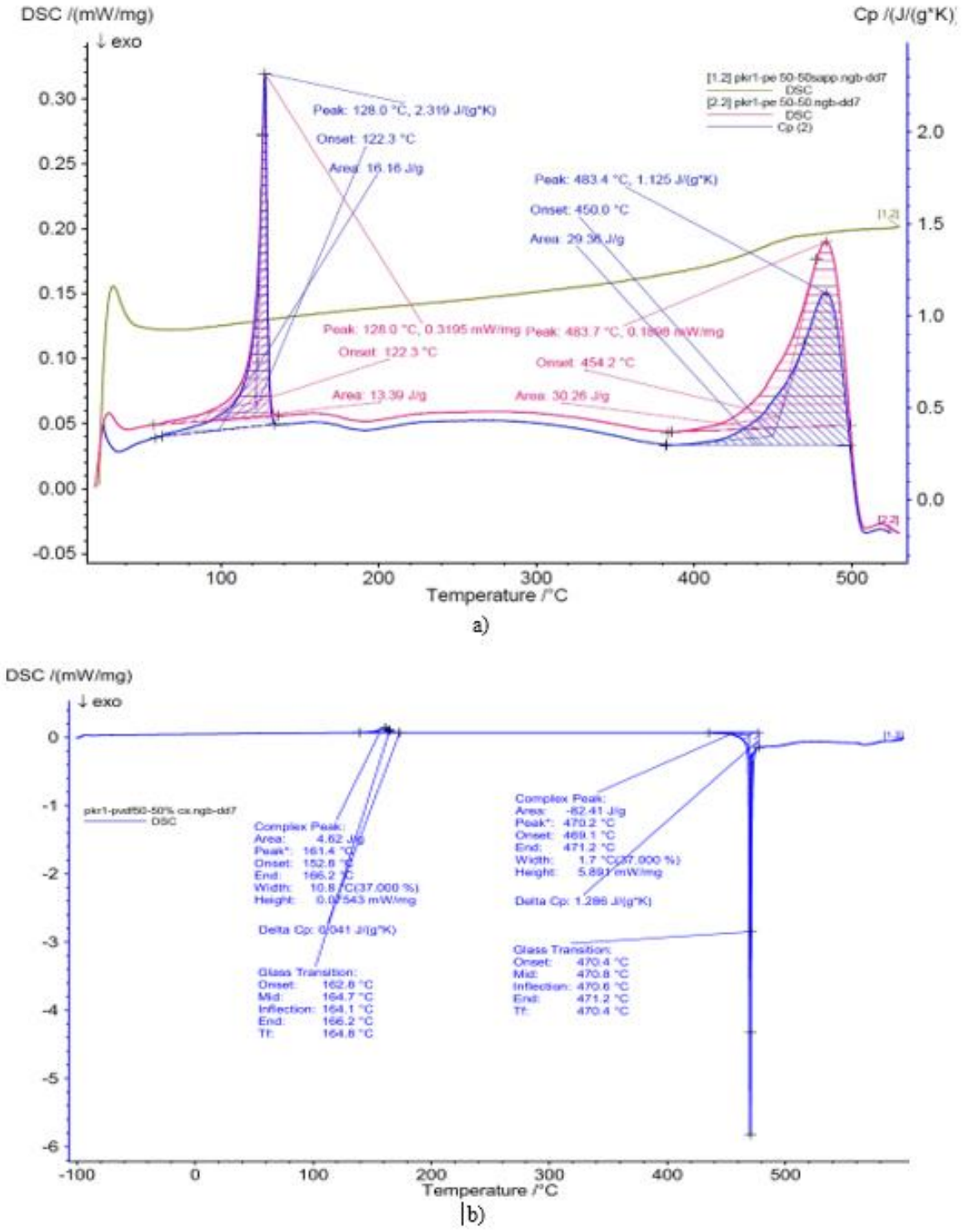
b)

Şəkil 1. a- təmiz PVDF; b- təmiz YSPE polimerlərinin DSK termoqramları

Cədvəl 1.

Təmiz polimerlərin DSK spektrində alınan nəticələri

Polimerlər	Şüşələşmə temperatur ($T_ş$), °C	Ərimə temperatur ($T_ə$), °C	Xüsusi istilik tutumu (c_p),C/q·°C	Entalpiya(ΔH), C/q	Entropiya (ΔS), C/K	Kristallıqdərəcəsi (K), %
YSPE	100	124-131	1,8-2,7	201	2,36	4,75
PVDF	40	156-165	0,96-1,4	105	0,65	3,33



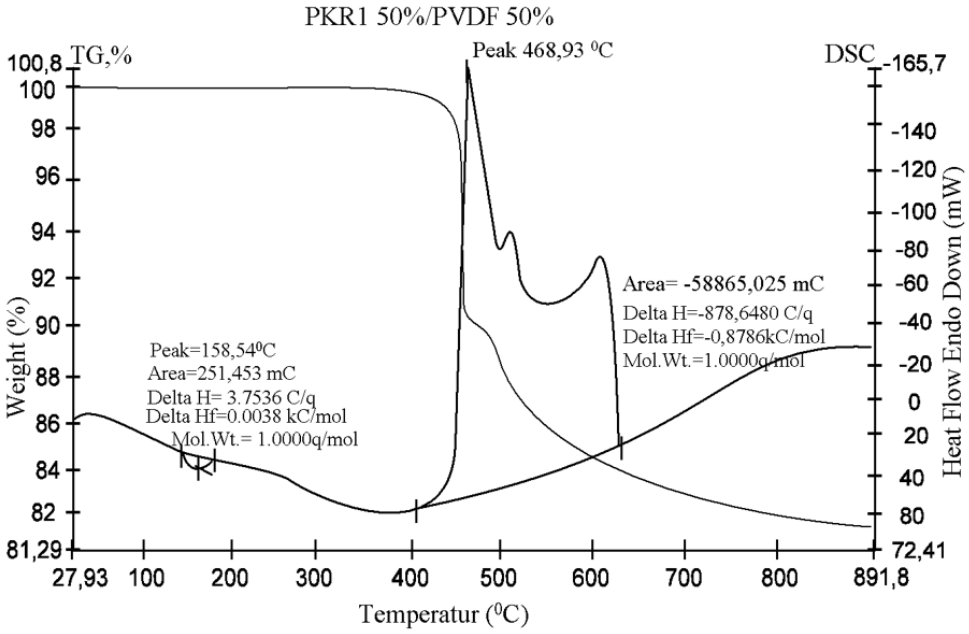
Şəkil 2. a- YSPE+PKR1; b- PVDF+PKR1 kompozitlərinin DSK əyriləri.

Alınan nəticələrə əsasən deyə bilərik ki, PVDF-də YSPE – nə nəzərən spektrlərin öyrənilməsi daha mühümdür, çünki PVDF polyardır, pyezokeramik hissəciklər kristallaşma mərkəzləri rolunu oynaya bilər və son nəticədə polimer matrisada kristallik fazanın miqdarı artdığı üçün DSK əyrisində yaranan birinci

maksimumun formalaşma temperaturu yüksək temperatur istiqamətində sürüşə bilər. Bundan əlavə, polimer matrisanın həcmi payı artdıqca polimer matrisa ilə pyezokeramik fazanın kontakt səthi artacaqdır və struktur dəyişmələrin intensivliyi də yüksələcəkdir. DSK əyrilərində müşahidə olunan maksimumlar yüksək elektrik sahəsinin, temperaturun və elektrik qaz boşalması plazmasının təsirindən polimer fazada və fazalararası sərhəddə gedən proseslərlə əlaqədardır:

- strukturun dəyişməsi;
- fazalararası qarşılıqlı təsir;
- fazalararası qarşılıqlı təsir artdıqca kristallik dərəcəsi azalır, həmçinin makromolekullar özlərinin sərbəstliyini müəyyən qədər itirirlər;
- elektrotermopolyarlaşma prosesi pyezohissəciklərin təsiri şəraitində getdiyi üçün ümumiyyətlə kompozitin amorfluğu azalır.

Həmçinin, polimer matrisli kompozitlərdə fazalarası qarşılıqlı təsiri TQA (termoqravimetrik analiz) metodu ilə öyrənilmişdir. Belə ki, bu metod polimerlərin və onlar əsasında alınan müxtəlif strukturlu pyezokeramikalardan ibarət kompozitlərin istilik dayanıqlığını təyin edən bir metoddur. Bundan əlavə, bu metod istilik və oksidləşmə stabilliyi, yaşama müddəti, parçalanma, nəm və uçucu maddələr haqqında məlumat əldə etmək üçün faydalı bir vasitədir. Şəkil 3-də PVDF+PKR1 kompozitinin termoqram əyrisi verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, termoqram əyrisində müxtəlif temperaturlu (161 ^{0}C, 454 ^{0}C, 503 ^{0}C, 606 ^{0}C) piklər müşahidə olunur. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, 161 ^{0}C – yə uyğun olan kütlə itkisi baş verməyən enli, aydın olmayan endotermik effekt müşahidə olunur. Hesab edirik ki, bu mərhələdə nümunənin kristal quruluşu dəyişir, daha doğrusu temperaturun artması ilə kompozitin polimer fazanın makromolekulları öz sərbəstliyini itirir. Bu temperatur polimerin (PVDF) ərimə temperaturuna yaxın olduğundan polimeri təşkil edən makromolekullar arasında rabitə qırılır. Termoqram əyrisinin ikinci effekti 450 ^{0}C –dən 470 ^{0}C –yə qədər davam edir. Belə ki, 454 ^{0}C temperaturda kütlə itkisi 10% təşkil edir. Fikrimizcə, alınan nəticə termoişləmənin təsirindən polimerdə oksigenli destruksiya prosesləri baş verməsi ilə əlaqədardır. Daha sonra, 503 ^{0}C temperaturda çox kiçik ölçülü pik müşahidə olunur. Hesab edirik ki, həmin temperaturda üçüncü effekt üzvü maddələrin yanması nəticəsində baş verir və bu halda kütlə itkisi təxminən 2% təşkil edir. Nəhayət, temoqram əyrisində dördüncü pik 602 ^{0}C –dən 609^{0}C–yə qədər temperatur intervalında formalaşır. Beləliklə, PVDF+PKR1 kompoziti üçün alınan nəticə göstərir ki, 450 ^{0}C temperatura qədər nümunə davamlıdır. Bundan yuxarı temperaturda isə kompozitdə tədricən destruksiya prosesləri baş verir ki, bu proses bir neçə mərhələdə başa çatır. Analoji təcrübə PVDF+PKR8 kompoziti üçün də aparılmışdır. Alınan nəticə TQ/DSK əyrisi vasitəsilə şəkil 3-də verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, PVDF+PKR8 kompoziti üçün də müxtəlif temperaturlarda (158^{0}C, 448^{0}C, 653^{0}C) piklər müşahidə olunur.



*Şəkil 3.*PKR1+PVDF kompozitinin termoqravimetrik (TG) spektri.

NƏTİCƏ

İlk dəfə yüksək polyarlığa malik polimer matrisli və müxtəlif strukturlu keramikalardan ibarət kompozitlərdə fazalararası qarşılıqlı təsir müasir metodlarla öyrənilmişdir. Həmçinin, polimer kompozitlərdə fazalararası sərhəddə injeksiya olunmuş elektrik yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası ilə kompozitin pyezo- və piroəmsalları (d_{ij}, γ_p) arasında müətansiblik müəyyən edilmişdir.

[1] *P. Noorunnisa Khanam, Mariam Al Ali Al Maadeed.* Processing and characterization of polyethylene-based composites. Adv. Manuf.: Polym. Compos. Sci., 2015, 1, 63-79.

[2] *N.M. Nurazzi, M.R.M. Asyraf, M.Rayung.* Thermogravimetric Analysis Properties of Cellulosic Natural Fiber Polymer Composites: A Review on Influence of Chemical Treatments. Polymers 2021, 13, 2710.

[3] *Beatriz Adriana Salazar-Cruz, María Yolanda Chávez-Cinco, Ana Beatriz Morales-Cepeda*. Evaluation of Thermal Properties of Composites Prepared from Pistachio Shell Particles Treated Chemically and Polypropylene. Molecules 2022, 27, 426. pp1-12.

[4] *Carmen Albano, Gema González, Jordana Palacios, Arquímedes Karam.* Characterization of Poly-lactide/hydroxyapatite composite: chemical, thermal and thermomechanical PROPERTIES. Revista de la Facultad de IngenieríaU.C.V., Vol. 28, № 3, pp. 97-108, 2013.

[5] *Luciano Pisanu, Josiane Barbosa, Ricardo Souza and Marcio Nascimento*. Evaluating the influence of coupling agents in the structural properties of polypropylene coconut fiber composites. Mater. Res. Express 6 (2019) 11532.

[6] *César Leyva-Porras, Pedro Cruz-Alcantar, Vicente Espinosa-Solís.* Application of Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Modulated Differential Scanning Calorimetry (MDSC) in Food and Drug Industries. Polymers 2019, 12, 5.

[7] *Raluca Maria Florea, Ioan Carcea*. Polymer matrix composites – routes and properties. International Journal of Modern Manufacturing Technologies ISSN 2067–3604, Vol. IV, No. 1 / 20

[8] *X.J. Fan, S.W.R. Lee, Q. Han*. Experimental investigations and model study of moisture behaviors in polymeric materials. / Microelectronics Reliability 49 (2009) 861–871

[9] *Carola Esposito Corcione and Mariaenrica Frigione.* Characterization of Nanocomposites by Thermal Analysis. Materials 2012, 5, 2960-2980.

[10] *Hassan Omar, Glen J. Smales, Sven Hennin*. Calorimetric and Dielectric Investigations of Epoxy-Based Nanocomposites with Halloysite Nanotubes as Nanofillers. Polymers 2021, 13.

Türkiyə Cümhuriyyətinin 100 illiyinə həsr olunmuş

AZƏRBAYCAN FİZİKLƏRİNİN TÜRKİYƏ RESPUBLİKASININ ELM VƏ TƏHSİL SAHƏSİNDƏKİ FƏALİYYƏTİ

mövzusunda Beynəlxalq elmi-praktik konfrans

ingilis dilində məqalələr

11-12 Sentyabr 2023-cü il

DETERMINATION OF THE OPTICAL PROPERTIES OF MUSCLE PHANTOM BY KUBELKA-MUNK FUNCTION APPROACH

HÜSEYIN OKAN DURMUŞ[1,2,a)], BAKI KARABÖCE[2] & MIRHASAN Yu. SEYIDOV[1]
[1]Department of Physics, Gebze Technical University, 41400, Kocaeli, Turkey
[2]Medical Metrology Laboratory, TUBITAK National Metrology Institute (TUBITAK UME), 41470, Kocaeli, Turkey
E-mail: hokandurmus@gtu.edu.tr, smirhasan@gtu.edu.tr;
Tel : (262) 605 10 00; Fax: (262) 653 84 90

Tissue-mimicking materials, also known as phantoms, are widely utilized for device development, testing, performance assessment, calibration, and training, particularly in the medical industry. Phantoms are utilized as reference test materials in these investigations. Phantoms must be designed for whatever function they are intended to serve. For example, if they are to be used in the ultrasound field, they must have acoustical characterization, if they are to be used in the optical field, they must have optical characterization, and if they are to be used in the microwave field, they must have characterization of their dielectric properties. They must also be produced in line with the required characteristics of the tissues and organs for which they will be utilized and assessed as true phantoms. Three fundamental metrics, absorption coefficient, reduced scattering coefficient, and anisotropy factor, are regarded differentiating properties in optical characterization and are referred to as microscopic optical qualities in the literature. The macroscopic optical properties of the muscle phantom, such as absorbance, transmittance, reflectance, refractive index, and attenuation coefficient, were investigated using a spectrometer with a broadband white light source and a single integrating sphere in the wavelength range of 200 nm to 1000 nm. Then, using the Kubelka-Munk Function method, microscopic optical features such as absorption coefficient, scattering coefficient, and reduced scattering coefficient were estimated in the wavelength range of 200 nm to 1000 nm based on the data of these macroscopic characteristics. In this study, the findings of the macroscopic and microscopic optical properties of a muscle phantom, which are also compatible with the literature data, will be presented.

Keywords: Muscle Phantom, Microscopic and Macroscopic Optical Properties, Optical Characterization, Spectrometer, Single Integrating Sphere, Broadband White Light Source.

INTRODUCTION

Today, due to its non-invasive nature, optical technologies have started to be used more in the field of diagnosis, treatment and surgery in the medical field. Examples of these are clinical functional optical imaging such as spectroscopy and optical coherence tomography, laser surgery and phototherapy devices. For example, visualization of blood vessels and microcirculation, monitoring of blood oxygenation and tissue metabolism, imaging of skin cancer, drug tracking, and micro-vessel and particle distribution in diagnostic; photodynamic therapy (PDT), low level laser therapy (LLLT) and photothermal therapy (PTT) in therapy; In surgery, tissue laser ablation, coagulation and cutting can be given. However, the effective use of these devices in human tissues depends on a good study of tissue-light interactions. In other words, there is a great need for reliable data on the optical properties of human tissues and the prediction of light-absorbed energy distributions. For this reason, many new methods and techniques are being developed and investigated in the field of biomedical optics for the investigation of the optical properties of human tissues [1].

In the literature, there are many publications on the determination of optical properties of human and animal tissues such as skin and muscle [2], liver [3], lung [4], kidney [5], heart [6], brain [7], breast [8], blood vessel [9], prostate [10], bowel[11], bladder [12], bone [13] and tumor tissue [14].

Biological tissues are basically turbid in terms of optical transparency. Therefore, it is not easy to measure the optical properties of this complex turbid medium. These turbid environments are defined through fundamental optical properties such as scattering and absorption components, and these properties of biological tissues constitute an important research tool in biomedical diagnosis and therapy. So, accurate measurements of the optical properties of the turbid medium are important and typically, the light distribution in a diffuse medium can be modelled based on its intrinsic optical properties, including absorption coefficient ($\mu\alpha$), scattering coefficient (μs), anisotropy factor (g) and reduced scattering coefficient ($\mu s'$) [15-17].

There are generally two types of experimental techniques, direct and indirect, to measure the optical properties of tissues. Direct methods do not require any supporting models for the radiative transfer process and rely solely on experimental results. Whereas, indirect (inverse) methods always use a theoretical light scattering model used with experiment.The basic description underlying these experimental methods requires either measuring the emitted reflection from an irradiated turbid sample or transmittance through it [16]. Thus, to summarize, tissues are characterized in vitro using techniques such as the solution of the radiative transfer equation, integrating sphere spectroscopy, Kubelka-Munk (KM) model, the inverse adding-doubling (IAD) method and the inverse Monte Carlo (IMC) simulation [1, 17- 22].

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

Tissue-mimicking materials (TMMs) or tissue phantoms are widely used in the biomedical research area especially at thermo-acoustical [23-26] and optical research [27-30] as a test model.

The definition of the phantom is made as “any apparatus or material that mimics the operation or physical properties of human systems or tissues”. Although it is possible to use real tissues directly in experiments, this is not a logical method. Instead, working with artificial materials that simulate the physical properties (such as acoustical, optical, mechanical and thermal, etc.) of human tissues provides many benefits. Therefore, phantoms enable systematic testing and controlled optimization of new measurement methodologies before being tested on living things such as animals or humans. The use of phantoms enables simulation for systems at different complexity levels or human tissues. The use of phantoms in initial tests instead of biological materials provides an effective alternative to medical research. Therefore, after the initial results on phantoms are positive, real tissues can be used. After this stage, animal experiments (laboratory mice in general) are usually performed, and then the tests are performed on humans [31].

In the optical field, phantoms are used in various forms such as the development of imaging techniques and image-guided interventions, system validation, optimization, stability assessment, medical device calibration, verification, and clinical training [32-34].

Muscles in the human body have a unique structure and serve a specific purpose. There are around 600 muscles in the human body, accounting for about 40% of the total weight. Thousands or tens of thousands of tiny muscle fibers make up each muscle. A nerve controls each muscle fiber and permits the muscle to contract. In the human body, there are three types of muscles. These are heart muscle, smooth muscle, and skeletal muscle. Only skeletal muscles are voluntary, meaning they can be controlled consciously. Smooth and cardiac muscles are uncontrollably active. Skeletal muscle is a type of muscle that moves bones and other tissues. Skeletal muscles contract and relax, cling to the bones, and react to voluntary nervous system instructions. Internal organs can function thanks to smooth muscle tissue, which is found in organs like the stomach and bladder. The heart muscle contracts to pump blood around the body. Moving, standing, talking, breathing, chewing and digesting food, pumping blood in the heart, perceiving an item, and regulating our body temperature all require the muscular system. As a result, the muscular system is a sophisticated muscle network that is essential to the human body's survival. Eleven major functions are performed by the muscular system. Mobility, Stability, Posture, Circulation, Respiration, Digestion, Urination, Birth, Vision, Organ Protection, and Temperature Adjustment are among the functions stated [35-36].

The Kubelka-Munk model is a widely used theoretical reflectance model in optics. It is assumed in this model that some light traveling through a homogeneous sample is dispersed and absorbed in two directions, weakening the light. A two-flux approach to universal radiation transfer theory is the Kubelka-Munk model. The K - M scattering and absorption coefficients, which are denoted as S and K, respectively, describe the propagation of up and down fluxes. Radiation transfer models have been widely used to define the optical characteristics of light-scattering materials. The Kubelka and Munk model is one of the most successful and straightforward models. The optical characteristics of particulate films under diffused light may be calculated using this model, which uses the material's effective absorption and scattering coefficients. The Kubelka–Munk model has a wide range of applications in materials analysis, including paints, pigmented plastics or polymers, decorative and protective coatings, solar-absorbing pigments and paints, human tissue, leaves, biological systems, crystalline materials, solids, powders, fibrers and wool, papers, thermal insulation, and optical properties. The optical characteristics of the coating are considered to be represented by two constants in this model, the absorption and scattering coefficients [37-40]. The absorption coefficient (μa), scattering coefficient (μs), and scattering anisotropy factor (g) of tissue are the major variables influencing light propagation in the tissue. The degree of these characteristics is influenced by both tissue structure (scattering) and chromophore content (absorption) [41]. Three fundamental parameters are regarded differentiating features in optical characterization: absorption coefficient, reduced scattering coefficient, and anisotropy factor, and these parameters are referred to as microscopic optical properties in the literature [42].

In this study, macroscopic optical properties of muscle phantom such as absorbance, transmittance, reflection, refractive index and attenuation coefficient were investigated using a spectrometer with a single integrated sphere and a broadband white light source in the wavelength range of 200 nm to 1000 nm. Then, using the Kubelka-Munk Function method, microscopic optical properties such as absorption coefficient, scattering coefficient and reduced scattering coefficient were determined based on the data of these macroscopic properties. The fact that the microscopic optical properties determined based on very complex processes are relatively easier to detect using the Kubelka-Munk Function method is an important feature that distinguishes the study from its counterparts.

METHODOLOGY

In this study, the muscle phantom, a compact spectrometer, a broadband stabilized fiber-coupled white light source, a single integrating sphere and Thorlabs OSA software for optical evaluation were used. All experiments were performed under controlled laboratory ambient conditions.

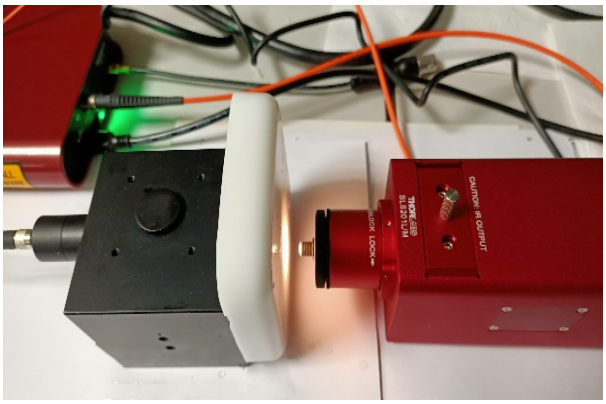
PREPARATION OF MUSCLE PHANTOM

Tissue-Mimicking Material (TMM) is commonly employed as a test object in biomedical research

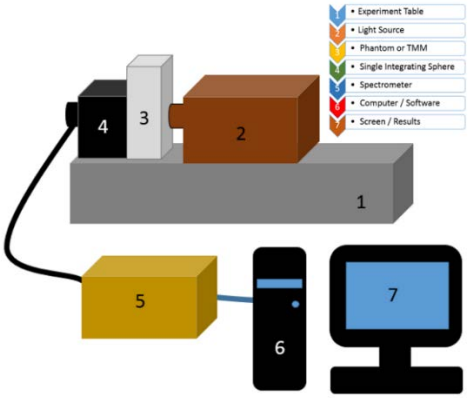
because of its capacity to imitate biological soft tissues. In this study, we used a muscle phantom identical to the one published by Gutierrez et al. [43]. The phantom's muscle-mimicking features were also validated acoustically. The sound speed was measured as 1550.9 48.4 m/s (Ref: 1547 m/s [44]). The phantom was prepared as follows. In a container, 2.3 g of agar and 10.7 g of aluminum oxide are combined with 125 mL of distilled water. With the aid of fish, the magnetic stirrer is progressively raised to 400 revolutions per minute. The temperature of the solution is raised until it reaches 80 degrees Celsius. When it hits 80 °C, the heat is turned off, and the temperature of the solution is anticipated to drop to 60 °C. A syringe is used to add 10 mL of glycerin to the solution at 60 °C. In the meantime, the solution is still being combined with the fish. When the solution reaches 40 degrees Celsius, it is poured into the phantom mold and let to freeze. Thickness of the muscle phantom specimen cut out as a sample was 20 mm.

THE OPTICAL CHARACTERIZATION SETUP

Optical equipment included a compact spectrometer (Thorlabs, CCS200/M) with a wavelength range of 200 nm to 1000 nm, a broadband stabilized fiber-coupled white light source (Thorlabs, SLS201L/M), and a single integrating sphere (Thorlabs IS200 type 2” integrating sphere). Figure 1 shows the experiment set-up, and Figure 2 shows how all the optical measurements and computations were realized using Thorlabs OSA software and MS Excel.



a)



b)

Fig. 1. a) A picture showing the phantom measurement; b) Experiment set-up. 1-experimental table, 2-light source, 3-sample (phantom or TMM), 4-single integrating sphere, 5-compact spectrometer, 6-computer and 7-computer monitor.

ASSESSMENT OF THE OPTICAL DATA

First, the spectrum of the incoming light was obtained during the measurement. The light spectrum was received in the absence of the phantom material in the experimental setup for this. To remove the background noise in the dark environment, the same procedure was applied. The primary signal was then taken by subtracting the dark from the light. The phantom was then placed to the system, and the phantom's spectrum was recorded. The dark, which is background noise, was then eliminated to produce the real phantom signal. The I_o data is represented by the main signal, while the I signal is represented by the real phantom signal. Consequently, the following given formulas were used to extract macroscopic and microscopic optical characteristics from the acquired Main Signal (Light-Dark) and Real Phantom (Phantom-Dark) data.

CALCULATION OF OPTICAL PROPERTIES

Macroscopic optical properties such as absorbance, transmittance, reflectance, the refractive index, and

linear attenuation coefficient were measured and calculated by using the following formulas.

$$R+T+A = 1 \text{ or } \%R+\%T+\%A = \%100 \qquad [45]\ (1)$$

Absorbance,

$$A;\ A=-\log(I/I_0)=-\log(T)=2-\log(\%T) \qquad [46]\ (2)$$

$$\text{Transmittance, } T;\ T = I/I_0 \qquad [46]\ (3)$$

$$\text{Reflectance, } R;\ R=1-(A+T) \qquad [45]\ (4)$$

$$\text{Reflectance, } R = \frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}, \qquad [45]\ (5)$$

where n is the Refractive Index.

$$I = I_0 e^{-\mu x},\ \mu = -\frac{\ln\frac{I}{I_0}}{x} \qquad [47]\ (6)$$

Where μ is the Linear Attenuation Coefficient.

The related microscopic optical formulas used in the calculations for absorption coefficient, scattering coefficient, reduced scattering coefficient, total attenuation coefficient and effective penetration depth are as in the following.

The Kubelka-Munk Function is given by;

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} = \frac{k}{s} \qquad [48]\ (7)$$

where R = Reflectance, k= Absorption Coefficient, s=Scattering Coefficient.

The total attenuation coefficient is described by;

$$\mu = \mu_t = \mu_a + \mu_s \qquad [49]\ (8)$$

Where μ_a is Absorption Coefficient and μ_s is Scattering Coefficient.

That is, k=μ_a and s=μ_s can be matched by using (7) and (8) formulas.

The reduced scattering coefficient (μ_s') is defined by the following equation.

$$\mu_s' = (1-g)\mu_s \qquad [50]\ (9)$$

Where g is the anisotropy factor. The g value of the phantom was used as 0.98 for the muscle phantom.

RESULTS AND DISCUSSION

Measurement results of macroscopic and microscopic optical parameters found in the study have been given below.

MEASUREMENT RESULTS OF MACROSCOPIC OPTICAL PARAMETERS

The typical determined macroscopic optical characteristics of the muscle phantom such as absorbance, transmittance, reflectance, refractive index, and optical linear attenuation coefficient can be seen from Figure 2 to Figure 6.

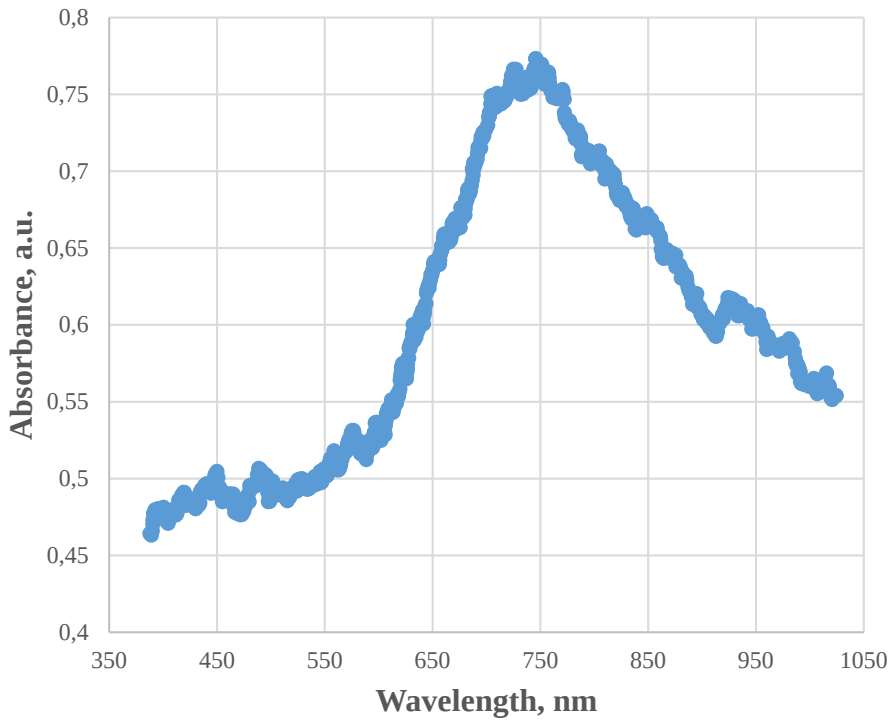


Fig. 2. Absorbance Spectrum of Muscle Phantom.

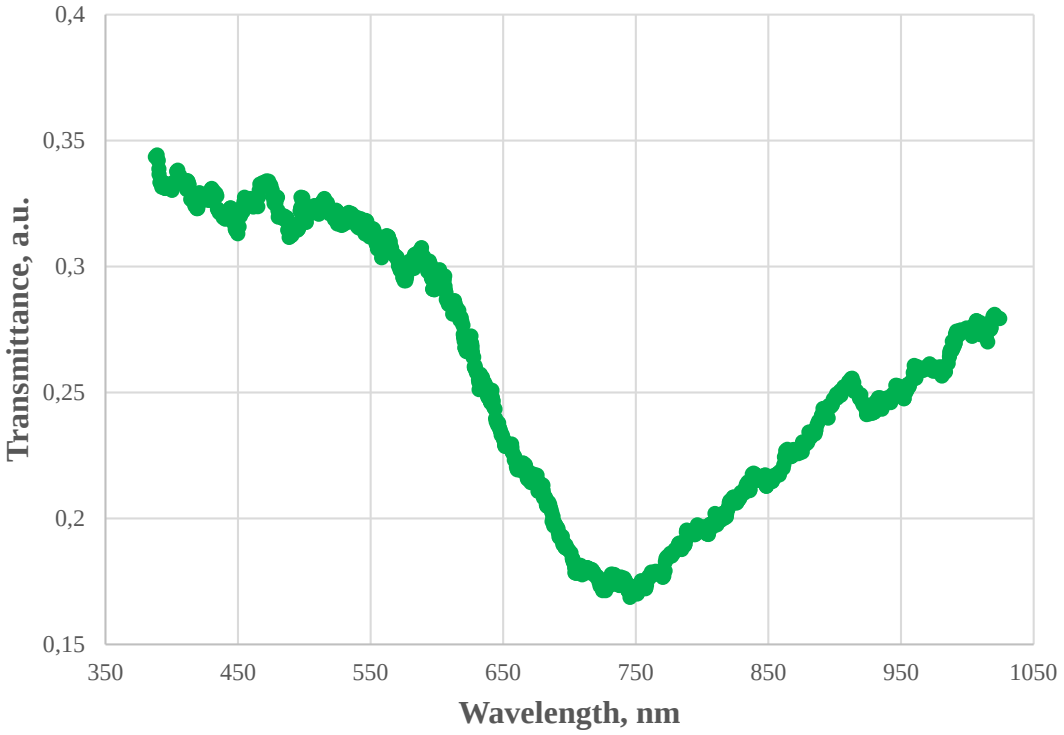


Fig. 3. Transmittance Spectrum of Muscle Phantom.

Fig. 4. Reflectance Spectrum of Muscle Phantom.

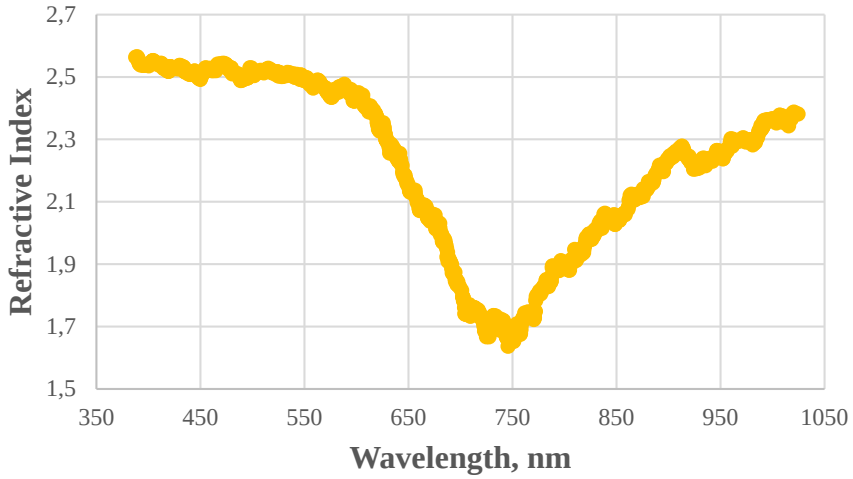


Fig. 5. Refractive Index Spectrum of Muscle Phantom.

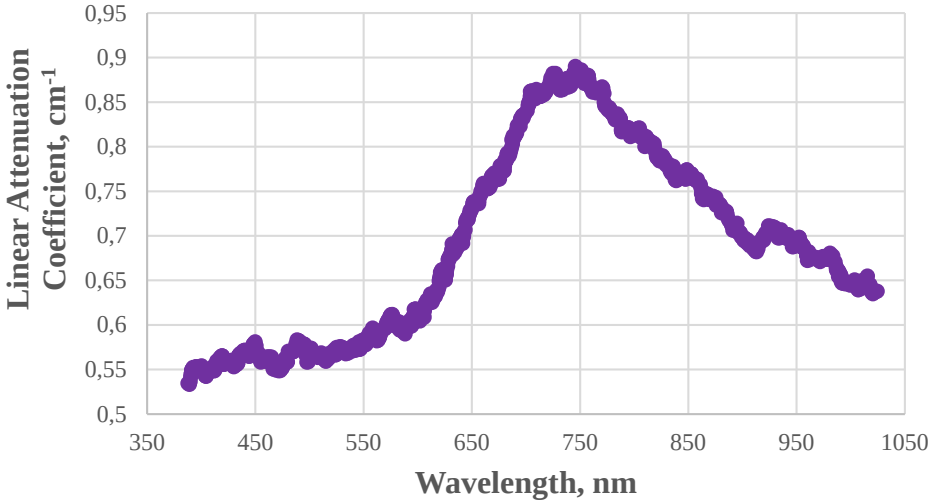


Fig. 6. Linear Attenuation Coefficient Spectrum of Muscle Phantom.

MEASUREMENT RESULTS OF MICROSCOPIC OPTICAL PARAMETERS

Figures 7 to 10 show the muscle phantom' typical determined microscopic optical characteristics such as absorption coefficient, scattering coefficient, and decreased scattering coefficient.

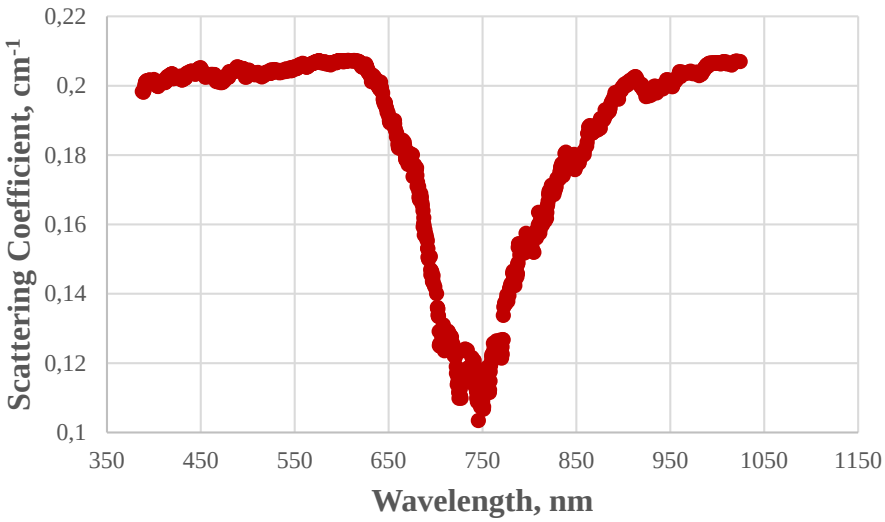


Fig. 7. Scattering Coefficient Spectrum of Muscle Phantom.

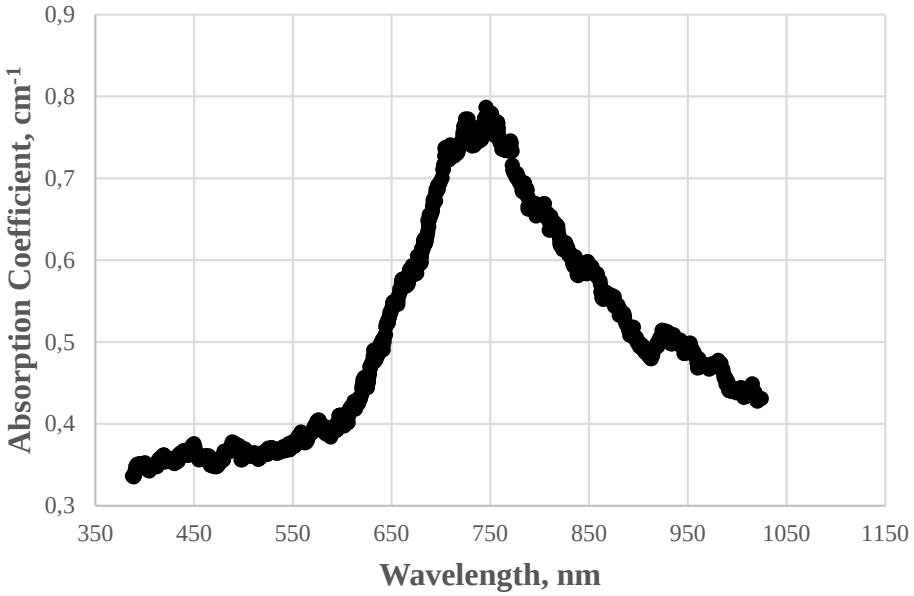


Fig. 8. Absorption Coefficient Spectrum of Muscle Phantom.

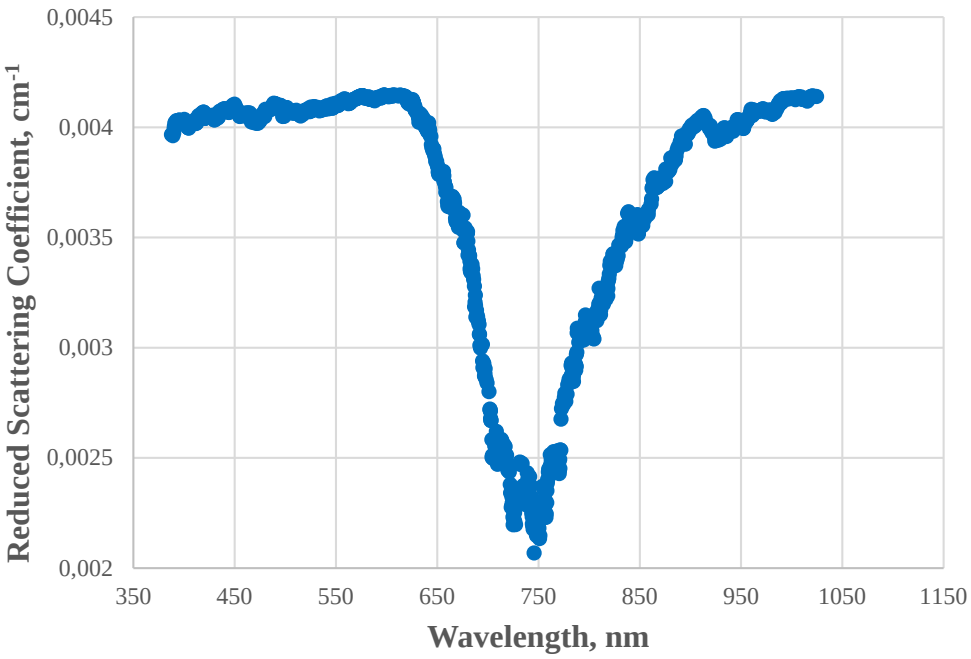


Fig. 9. Reduced Scattering Coefficient Spectrum of Muscle Phantom.

OPTICAL AND ACOUSTICAL PROPERTIES MEASUREMENTS

At least 6 measurements were taken while determining the optical properties of the muscle phantom. Typically, only one measurement is shown in the graphs shown above. Therefore, when we evaluate all the measurements together, the macroscopic optical properties of muscle phantom such as absorbance, transmittance, reflectance, refractive index and attenuation coefficient were calculated as average in the Table I.

Table I.

The measured macroscopic optical properties of the muscle phantom as average

Phantom	Transmittance T	Absorbance A	Reflectance R	Refractive Index
Muscle	0.71 ± 0.08	0.20 ± 0.03	0.09 ± 0.04	1.87 ± 0.28

By using these macroscopic optical properties, microscopic optical properties such as absorption coefficient, scattering coefficient, reduced scattering coefficient and total attenuation coefficient were calculated via Kubelka-Munk Function approach. We calculated μ_t from formula (6) and we know R = reflectance value, then we can solve these two equation [(7) and (8)] and find μ_a *and* μ_s. By the way, while calculating reduced scattering coefficient, we used 0.98 value for the muscle phantom. So, when we evaluate all the measurements together, the microscopic optical properties of muscle phantom such as absorption coefficient, scattering coefficient, the reduced scattering coefficient, and total attenuation coefficient were calculated as average in the Table II.

Table II.

The calculated microscopic optical properties of muscle phantom at around maximum absorbance peak.

Phantom	Absorption Coefficient, μ_a, cm^{-1}	Scattering Coefficient, μ_s, cm^{-1}	Reduced Scattering Coefficient, μ_s', cm^{-1}	Total Attenuation Coefficient, μ_t, cm^{-1}
Muscle	0.67 ± 0.14	0.14 ± 0.05	0.003 ± 0.001	0.82 ± 0.09

The produced muscle phantom was also ultrasonically tested by the pulse-echo method and the sound velocity was measured as 1550.9 ± 48.4 m/s.

DISCUSSION

In this study, macroscopic and microscopic optical properties of muscle phantom were investigated using a spectrometer with a single integrated sphere and a broadband white light source in the wavelength range of 200 nm to 1000 nm. In fact, spectra were originally taken between 200 nm and 1000 nm. However, since the resolution of the signals was very high, the noise level was also very high. Moving average of the data was taken to reduce the noise level and get more smoother signals. For this reason, the spectrum range in the graphics was obtained between 400 nm and 1000 nm. All the experiments done for optical measurements were carried out under controlled laboratory ambient conditions (Temperature was 23.5 °C ± 0.2 °C, and relative humidity was 50 rh% ± 2 rh%).

The fact that the phantom has the characteristics of a muscle phantom has been also verified with the literature by making both acoustical and optical measurements. The produced phantom was ultrasonically tested by the pulse-echo method in our laboratory and the sound velocity of 1547 m/s [51] declared in the literature for the muscle phantom was measured as 1550.9 m/s ± 48.4 m/s. Again, for optical characterization, the absorption coefficient can be taken as a reference. The absorbance peak values we found for the muscle phantom were in the range of 733.10 nm ± 57.33 nm and the absorption coefficient was found to be 0.067 mm^{-1} ± 0.014 mm^{-1}. The determined absorption coefficient value is in good agreement with the values given in the literature. For example, the absorption coefficients found for muscle tissue (e.g., porcine muscle and bovine muscle) performed as an in vitro study on animal tissues range from 0.053 mm^{-1} to 0.065 mm^{-1}[52].

As can be seen from the measurement results, the phantom sample is mostly opaque in the wavelength range of visible region and more absorption was observed at only around 733 nm. This shows that the material pigment forming the phantom has selective absorption at that wavelength. In addition, the opto-acoustical characterization results of the examined phantom were also found to be quite compatible with the values given in the literature.

CONCLUSION

In this study, the macroscopic and microscopic optical properties of the muscle phantom were determined using the method of Kubelka-Munk Function approach. In conclusion, optical characterization of phantoms can be easily done with this method and this method can also be applied to many kinds of phantom.

[1] *A.N. Bashkatov, K.V. Berezin, K.N. Dvoretskiy, M. L. Chernavina, E. A. Genina, V. D. Genin, V. V. Tuchin.* 2018. Measurement of tissue optical properties in the context of tissue optical clearing. Journal of biomedical optics, 23(9), 091416.

[2] *A.N. Bashkatov, E.A. Genina, V.V. Tuchin.* 2011. Optical properties of skin, subcutaneous, and muscle tissues: a review. Journal of Innovative Optical Health Sciences, 4(01), 9-38.

[3] *V.K. Nagarajan, J.M. Ward, B. Yu.* 2020. Association of liver tissue optical properties and thermal damage. Lasers in surgery and medicine, 52(8), 779-787.

[4] *Khaled T. Ramadan, Christopher McFadden, Bruno Gomes, Fynn Schwiegelshohn, Rafaela V.P. Ribeiro, Harley H.L. Chan, Vaughn Betz, Marcelo Cypel, Lothar Lilge.* Determination of Optical Properties and Photodynamic Threshold of Lung Tissue for Treatment Planning of In Vivo Lung Perfusion Assisted Photodynamic Therapy, Photodiagnosis and Photodynamic Therapy, Volume 35, 2021.

[5] *R. Rowland, A. Ponticorvo, A.J. Lopez, S. Li,*

X. Li, H. Ichii, A.J. Durkin. 2019. Monitoring kidney optical properties during cold storage preservation with spatial frequency domain imaging. Journal of biomedical optics, 24(11), 116003.

[6] *A.J. Costantino, C.J. Hyatt, M.C. Kollisch-Singule, J. Beaumont, B.J. Roth, A.M. Pertsov.* 2017. Determining the light scattering and absorption parameters from forward-directed flux measurements in cardiac tissue. Journal of biomedical optics, 22(7), 076009.

[7] *F. Bevilacqua, D. Piguet, P. Marquet, J.D. Gross, B.J. Tromberg, C. Depeursinge.* 1999. In vivo local determination of tissue optical properties: applications to human brain. Applied optics, 38(22), 4939-4950.

[8] *L. Spinelli, A. Torricelli, A.Pifferi, P. Taroni, G.M. Danesini, R. Cubeddu.* 2004. Bulk optical properties and tissue components in the female breast from multiwavelength time-resolved optical mammography. Journal of biomedical optics, 9(6), 1137-1142.

[9] *M.J. van Gemert, R. Verdaasdonk, E.G. Stassen, G.A. Schets, G.H. Gijsbers, J.J. Bonnier.* 1985. Optical properties of human blood vessel wall and plaque. Lasers in surgery and medicine, 5(3), 235-237.

[10] *T. Svensson, E. Alerstam, M. Einarsdóttír, K. Svanberg, S. Andersson-Engels.* 2008. Towards accurate in vivo spectroscopy of the human prostate. Journal of biophotonics, 1(3), 200-203.

[11] *H.J. Wei, G.Y.W. Da Xing, Y. Jin, H.M. Gu.* 2003. Optical properties of human normal small intestine tissue determined by Kubelka-Munk method in vitro. World journal of gastroenterology, 9(9), 2068.

[12] *T.J. Beck, W. Beyer, T. Pongratz, W. Stummer, R. Waidelich, H. Stepp, R. Baumgartner.* 2003, June. Clinical determination of tissue optical properties in vivo by spatially resolved reflectance measurements. In European conference on biomedical optics (p. 5138_96). Optical Society of America.

[13] *A. Pifferi, A.Torricelli, P. Taroni, A.L. Bassi, E. Chikoidze, E. Giambattistelli, R. Cubeddu.* 2004. Optical biopsy of bone tissue: a step toward the diagnosis of bone pathologies. Journal of biomedical optics, 9(3), 474-480.

[14] *S. Fantini, S.A. Walker, M.A. Franceschini, M. Kaschke, P.M. Schlag, K.T. Moesta.* 1998. Assessment of the size, position, and optical properties of breast tumors in vivo by noninvasive optical methods. Applied optics, 37(10), 1982-1989.

[15] *F. Fanjul-Vélez, J. L. Arce-Diego.* 2011, April. Light propagation in turbid media: Application to biological tissues. In Proceedings of 21st International Conference Radioelektronika 2011 (pp. 1-4). IEEE.

[16] *M.R. Shenoy, B.P. Pal.* 2008. Method to determine the optical properties of turbid media. Applied optics, 47(17), 3216-3220.

[17] *X. Liu, Y. Wu.* 2021. Monte-Carlo optical model coupled with Inverse Adding-Doubling for Building Integrated Photovoltaic smart window design and characterisation. Solar Energy Materials and Solar Cells, 223, 110972.

[18] *D. Sardar, L. Levy.* Optical Properties of Whole Blood. Lasers Med Sci 13, 106–111 (1998).

[19] *D.K. Sardar, B.G. Yust, F.J. Barrera, L.C. Mimun, A.T. Tsin.* 2009. Optical absorption and scattering of bovine cornea, lens and retina in the visible region. Lasers in medical science, 24(6), 839-847.

[20] *A. Shahin, W. Bachir, M.S. El-Daher.* 2021. Optical investigation of bovine grey and white matters in visible and near-infrared ranges. Polish Journal of Medical Physics and Engineering, 27(1), 99-107.

[21] *M.M. Pérez, A. Ionescu, A. Yebra, J.C. Cardona, L.J. Herrera, M.J. Rivas, R. Ghinea.* 2017, August. Researching in biomaterials optics. In Third International Conference on Applications of Optics and Photonics (Vol. 10453, p. 104532M). International Society for Optics and Photonics.

[22] *E. Zamora-Rojas, B. Aernouts, A. Garrido-Varo, W. Saeys, D. Pérez-Marín, J.E. Guerrero-Ginel.* 2013. Optical properties of pig skin epidermis and dermis estimated with double integrating spheres measurements. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 20, 343-349.

[23] *B. Karaböce.* 2015, May. Focused ultrasound temperature effect in tissue-mimicking material and sheep liver. In 2015 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) Proceedings (pp. 131-134). IEEE.

[24] *B. Karaböce, H.O. Durmuş.* 2015. Visual investigation of heating effect in liver and lung induced by a HIFU transducer. Physics Procedia, 70, 1225-1228.

[25] *B. Karaböce, E. Çetin, H.O. Durmuş.* 2016, May. Investigation of temperature rise in tissue—Mimicking material induced by a HIFU transducer. In 2016 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-6). IEEE.

[26] *B. Karaböce, E. Çetin, H.O. Durmuş, M. Özdingiş, H. Öztürk, K. Mahmat, M.A. Güler.* 2018, June. Investigation of Different TMMs in High Intensity Focused Ultrasound Applications. In 2018 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA) (pp. 1-5). IEEE.

[27] *B.W. Pogue, M.S. Patterson.* 2006. Review of tissue simulating phantoms for optical spectroscopy, imaging and dosimetry. Journal of biomedical optics, 11(4), 041102.

[28] *İ. Akkaya, M. Engin, Y. Öztürk.* Doku Fantom Üretimi ve Temel Optik Özelliklerinin Ölçümü/Fabrication of Tissue Phantom and Measurement of The Fundamental Optical Properties. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13(1), 2017, 205-209.

[29] *J. Zhang, L.I.U.Yuanjie, J. Robic, A. Nkengne, Y.A.N. Hong, X. Zhang, X.Y. Soo.* 2019. Optical Phantom Development for Skin Measurement. In 19th International Congress of Metrology (CIM2019) (p. 19001). EDP Sciences.

[30] *R. Srinivasan, D. Kumar, M. Singh.* 2002. Optical tissue-equivalent phantoms for medical imaging. Trends Biomater. Artif. Organs, 15(2), 42-47.

[31] *R.A. Jaime, R.L. Basto, B. Lamien, H.R. Orlande, S. Eibner, O. Fudym.* 2013. Fabrication methods of phantoms simulating optical and thermal properties. Procedia Engineering, 59, 30-36.

[32] *A.I. Chen, M.L.Balter, M.I.Chen, D. Gross, S.K. Alam, T.J. Maguire, M.L. Yarmush.* 2016. Multilayered tissue mimicking skin and vessel phantoms with tunable mechanical, optical, and acoustic properties. Medical Physics, 43 (6), 3117-3131.

[33] *P. Lai, X. Xu, L.V. Wang.* 2014. Dependence of optical scattering from Intralipid in gelatin-gel based tissue-mimicking phantoms on mixing temperature and time. Journal of biomedical optics, 19(3), 035002.

[34] *E. Dong, Z. Zhao, M. Wang, Y. Xie, S. Li, P. Shao, R.X. Xu.* 2015. Three-dimensional fuse deposition modeling of tissue-simulating phantom for biomedical optical imaging. Journal of biomedical optics, 20(12), 121311.

[35] https://www.medicalnewstoday.com/articles/321617#eleven-main-functions-of-the-muscular-system

[36] https://www.medicalnewstoday.com/articles/249192#summary

[37] *McGraw-Hill.* Dictionary of Scientific & Technical Terms, 6E, Copyright © 2003 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

[38] *L.Yang, B. Kruse.* 2004. Revised Kubelka–Munk theory. I. Theory and application. JOSA A, 21(10), 1933-1941.

[39] *W.E. Vargas, G.A. Niklasson.* 1997. Applicability conditions of the Kubelka–Munk theory. Applied optics, 36(22), 5580-5586.

[40] *A.B. Murphy.* 2006. Modified Kubelka–Munk model for calculation of the reflectance of coatings with optically-rough surfaces. Journal of Physics D: Applied Physics, 39(16), 3571.

[41] *T. Lindbergh, M. Larsson, I. Fredriksson, T. Strömberg.* 2007, February. Reduced scattering coefficient determination by non-contact oblique angle illumination: methodological considerations. In Optical Interactions with Tissue and Cells XVIII (Vol. 6435, p. 64350I). International Society for Optics and Photonics.

[42] *C.J. Hourdakis, A. Perris.* 1995. A Monte Carlo estimation of tissue optical properties for use in laser dosimetry. Physics in Medicine & Biology, 40(3), 351.

[43] *M.I. Gutierrez, S.A. Lopez-Haro, A. Vera, L. Leija.* 2016. Experimental verification of modeled thermal distribution produced by a piston source in physiotherapy ultrasound. BioMed research international, 2016.

[44] *T.D. Mast.* 2000. Empirical relationships between acoustic parameters in human soft tissues. Acoustics Research Letters Online, 1(2), 37-42.

[45] *M.Y. Nadeem, W. Ahmed.* 2000. Optical properties of ZnS thin films. Turkish Journal of Physics, 24(5), 651-659.

[46] *D.T. Harvey.* 2003. Analytical Chemistry for Technicians, 3rd Edittion, page 193, (John Kenkel).

[47] *S. Chang, A.K. Bowden.* 2019. Review of methods and applications of attenuation coefficient measurements with optical coherence tomography. Journal of biomedical optics, 24(9), 090901.

[48] *J.O.S.E. Torrent, V. Barrón.* 2008. Diffuse reflectance spectroscopy. Methods of Soil Analysis Part 5—Mineralogical Methods, 5, 367-385.

[49] *B.C. Wilson.* 1995. Measurement of tissue optical properties: methods and theories. In Optical-thermal response of laser-irradiated tissue (pp. 233-303). Springer, Boston, MA.

[50] *E.J. Jeong, H.W. Song, Y.J. Lee, S.J. Park, M.J. Yim, S.S. Lee, B.K. Kim.* (2017). Fabrication and characterization of PVCP human breast tissue-mimicking phantom for photoacoustic imaging. BioChip Journal, 11(1), 67-75.

[51] *T.D. Mast.* 2000. Empirical relationships between acoustic parameters in human soft tissues. Acoustics Research Letters Online, 1(2), 37-42.

[52] *P. Sun, Y. Wang.* 2010. Measurements of optical parameters of phantom solution and bulk animal tissues in vitro at 650 nm. Optics & Laser Technology, 42(1), 1-7.

THERMOELECTRIC PROPERTIES OF SOLID SOLUTION OF $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ ($0 \le x \le 10$)

V.I. EMINOVA[1], S.Z. DAMIROVA[2]

[1]Institute of Physics of Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Azerbaijan, Baku, H. Javid av.131, Az-1143,
Baku Engineering University, Azerbaijan, Baku, H. Aliyev str. 120, Az-0101.
e-mail: vusaleeminova84@gmail.com, veminova@beu.edu.az.
[2]Institute of Physics of Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Azerbaijan, Baku, H. Javid av. 131, Az-1143,

According to the temperature deoendences of the electrical conductive (σ), the Hall coefficient (R), thermo power (α) and thermoelectric figure of merit (Z) over a wide temperature range and hole concentration in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ solid solutions. It is established that, increasing number of yttrium atoms up to x = 0.10 substituting indium atoms leads to rising of Z in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$. In comparison with $TlInTe_2$ mainly due to the scattering of phonons and holes on defects, as well as increasing the hole mobility of them when replacing ytterium to indium.

Keywords: electrical conductivity, thermal conductivity, thermoelectric figure of merit, effective mass of charge carriers, scattering on defects.
PACS: 71.20.Nr, 72.15.Jf

According to the Ioffe criteria [1], increasing μ/χ_{ph} (μ - mobility of charge carriers, χ_{ph} - is the phonon fraction of thermal conductivity) is caused change in the kinetic properties of materials, which based on an additional number of defects are formed during the process of crystal lattice distortion. Such objects are characterized by interesting physical processes: high mobility of charge carriers, low phonon thermal conductivity and functioning prospects over a wide temperature range [2]. This means that decreasing the intensity of phonon scattering on phonons is fully compensated by the increasing scattering on impurities (or defects) [2]. Since the electron wavelength is longer than the phonon wavelength, this leads to an overall increasing of μ/χ_{ph}.

These features can provide a very high thermoelectric figure of merit Z in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ solid solutions at high temperatures. It is known [1] that the efficiency of a thermoelectric transformer is determined:

$$Z = \alpha^2 \sigma / \chi_{tot} \qquad (1)$$

Where, χ_{tot} – is total thermal conductivity. In the calculation of temperature dependence of χ_{tot} error, the integral radiation of heat flux was taken into account. The experimental data on $\chi_{tot}(T)$ are given in [3].

From the above formulas (1), it can be seen that a high-quality thermoelectric material must simultaneously have high electrical conductivity, high thermoelectrical power and low thermal conductivity. Thermoelectric power and electrical conductivity are determined only by the electronic properties of the material, and therefore they are often combined into a quantity $P = \alpha^2 \sigma$ that is called "power factor". In this aspect, one of the fundamental parameters of the electron spectrum of semiconductor is a band gap E_g. Another important parameter of formula of thermoelectric figure of merit (Z) is the effective mass of charge carriers m^*. The relationship between E_g and m^* is very weak. Increasing of Z is associated with a high value of α, and is obtained due to the large effective mass of charge carriers, and a large m^* leads to decreasing σ (high mobility of charge carriers cannot be obtained with a large effective mass). Therefore, the implementation of all these conditions in one material is difficult. In general, the dependence of Z on temperature and charge carrier concentration is more difficult. However, at a certain approximation, the relationship between Z_{max} and parameters of charge carriers is described as [1]

$$Z'_{\max} = 1{,}2 \cdot 10^{-7} \frac{\left(m^*\right)^{3/2} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2}}{\chi_{ph}} \cdot e^r \qquad (2)$$

where, T_0 =300K. r – parameter of scattering mechanism.

For $TlInTe_2$ compound and solid solutions based on its $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ occurs p-type material [3]. The temperature dependences of the electrical conductivity (σ), the Hall coefficients (R), and the thermo power (α) are shown in [3]. As can be seen from Fig. 1, when x=0÷0.02 σ(T) increases with x, and at x=0.05÷0.10, first σ(T) decreases to T~700K, and after T~700K it increases. Therefore, a decrease in σ(T) to T~700 K occurs due to a decrease in the mobility of charge carriers, and after T~700 K an increase in σ(T) is associated with an increase in the concentration of charge carriers with the appearance of intrinsic conductivity. In [3], it was established that in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ the valence band is parabolic. As is known in this model of the energy spectrum, there is no connection between the effective mass of the

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

charge carriers and the band gap. In this case, the temperature and concentration dependence of the effective hole mass almost remains constant. The values of the band gap E_g [3] to T~700K in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ do not exceed k_0T. This leads to the fact that at such a band gap the Fermi level lying near the top of the valence band, the concentration of minority carriers and their contribution to transport become negligible. And this leads to increasing thermopower to T~700K.

In order to determining the effect of pointless defects on χ_{ph}, the Clemens theory was used [4], taking into account three-phonon redelivery processes and phonon scattering on spotty defects, according to which

$$\chi_{ph} = \chi_{tot}(\omega_0/\omega_d)arctg(\omega_d/\omega_0) \qquad (3)$$

where, $\omega_0/\omega_d = k_0/\left(2\pi^2\chi_{tot}\omega_d A\right)$ and

$$A = \left(1/4V^2N\right)\cdot\Gamma$$

Here, χ_{tot} is thermal conductivity of stoichiometric equality in the absence of influence of defects, $\omega_d = \theta k_0/\hbar$ is Debye phonon frequency, ω_0- frequency, which is the value of the relaxation time for U – processes and scattering on defects, V is the average sound of velocity in the crystal, Γ is the disorder parameter, equal to [4].

$$\Gamma = x\cdot(1-x\left[\left(\Delta\overline{M}/\overline{M}\right)^2 + \varepsilon\left(\Delta\gamma/\gamma\right)^2\right] \qquad (4)$$

and taking into account the combined effect of local changes of density and elastic properties. In (8), ε-characterizes the elastic properties of the medium, $\Delta\overline{M}/\overline{M}$ is the relative change in mass when replacing the atoms with impurity atoms.

When estimating Γ, the number of atoms in a unit volume of the corresponding composition N is determined by formulas (6). Since in the solid solutions studied by us

$$TlIn_{1-x}Yb_xTe_2 \rightarrow Tl\left[\sum InTe_2\right]_{1-x}\cdot\left[YbTe_2\right]_x \rightarrow \left[TlInTe_2\right]_{1-x}\cdot\left[TlYbTe_2\right]_x$$

$$\text{To } \Delta\overline{M}/\overline{M} = \frac{\overline{M}_{TlYbTe_2} - \overline{M}_{TlInTe_2}}{(1-x)\overline{M}_{TlInTe_2} + x\overline{M}_{TlYbTe_2}}.$$

According to [4], the value of Δγ/γ can be calculated from the difference of the parameters on the base of elementary cell a_{TlInTe_2} and a_{TlYbTe_2}:

$$\frac{\Delta\gamma}{\gamma} = \left[\left(a_{TlInTe_2} - a_{TlYbTe_2}\right)/a_{TlInTe_2}\cdot\left(\eta/(1+\eta)\right)\right], \qquad (5)$$

where, $\eta = (1+\nu)/[2(1-2\nu)]$, ν – Poisson's coefficient.

It is known that increasing of α, σ and decreasing in χ_{tot} lead to increasing the power factor P and Z, however, self-doping of Yb strongly influences the Z value, undoubtedly this is due to the change in the number of intrinsic defects [2]. At the same time, $\chi_{tot}(T)$ is characteristic for more defective materials [2]. If we compare the change of thermal conductivity and its hole component in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ has a common pattern, since in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ in a solid state is always $\chi_{ph}>\chi_n$. However, the hole thermal conductivity increases with temperature, and $\chi_{ph}(T)$ decreases.

Fig.4 indicates calculation of Z values in solid solutions $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ which calculated on the base of experimental values of σ(T) , α **(T)** and $\chi_{tot}(T)$ at temperatures of 300, 500 and 800K, respectively. As can be seen from the table, increasing of x in solid solutions $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2Tl$ leads to increasing Z. From Fig.4, it can be seen that Z (T) for all samples increases with claiming temperature. Z(T) also increases with decreasing hole concentration. It was found that the sample with x = 0 at T = 300K has the minimum value of Z [5]. .

It is known that increasing of α, σ and decreasing in χ_{tot} lead to increasing the power factor P and Z, however, self-doping of Yb strongly influences the Z value, undoubtedly this is due to the change in the number of intrinsic defects [2]. At the same time, $\chi_{tot}(T)$ is characteristic for more defective materials [2]. If we compare the change of thermal conductivity and its hole component in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ has a common pattern, since in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ in a solid state is always $\chi_{ph}>\chi_n$. However, the hole thermal conductivity increases with temperature, and $\chi_{ph}(T)$ decreases.

It is mentioned that [3], the total thermal conductivity is sensitive to the replacement of indium atoms by ytterbium atoms. This may be due to the fact that the replacement of In atoms with Yb atoms by hole thermal conductivity increases more rapidly than the phonon fraction of thermal conductivity decreases. Such a strong dependence of χ_{ph} from the concentration of defects indicates the possibility of their participation in heat transfer as scattering centers.

As can be seen from Fig.1,3, in the temperature range 300-700K σ decreases, but α increases by rising temperature. And the hole concentrations for all samples in the specified temperature range change slightly (Fig.2) [3]. This means that in this temperature range by increasing temperature, decreasing of σ occurs mainly due to a decreasing the hole mobility μ_h (T).

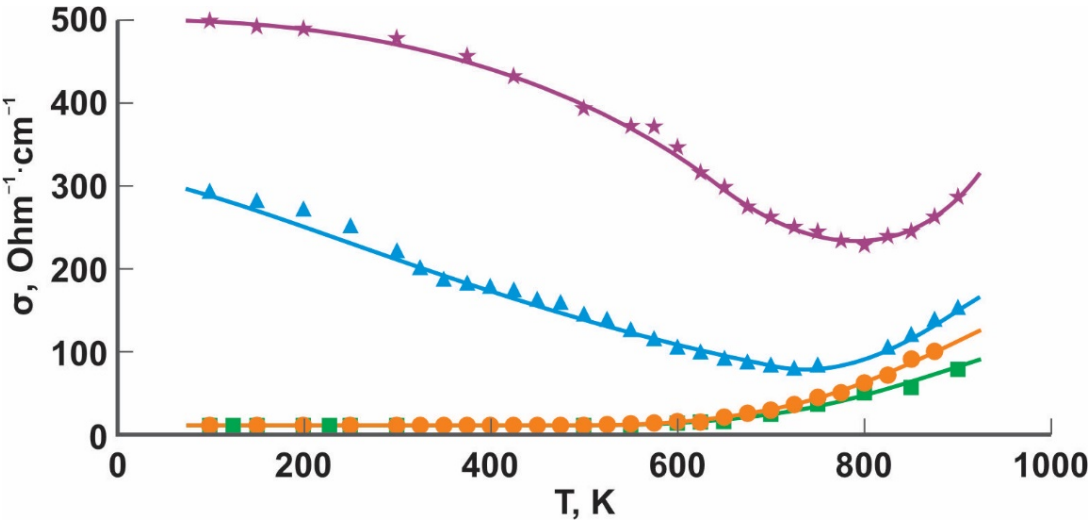


Fig.1. Temperature dependence of electrical conductivity in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$; green line - (x=0), orange line- (x=0.02), blue line- (x=0.05), purple line- (x=0.10) [3].

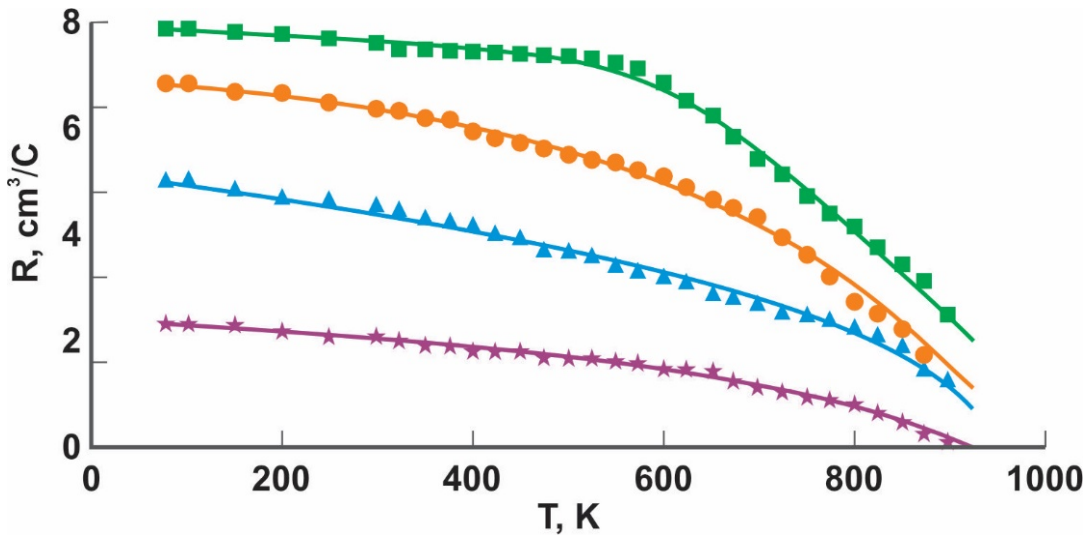


Fig.2. Temperature dependence of coefficient Hall in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$; The designation is the same as in Fig.1. [3].

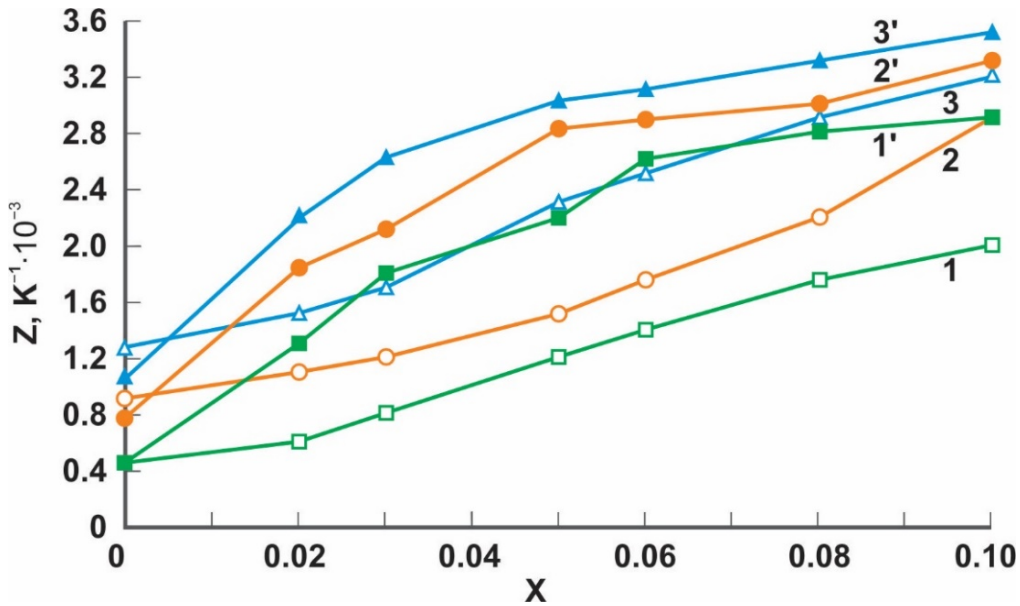


Fig.3. Temperature dependence of thermo power in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$; The designation is the same as in Fig.1. [3].

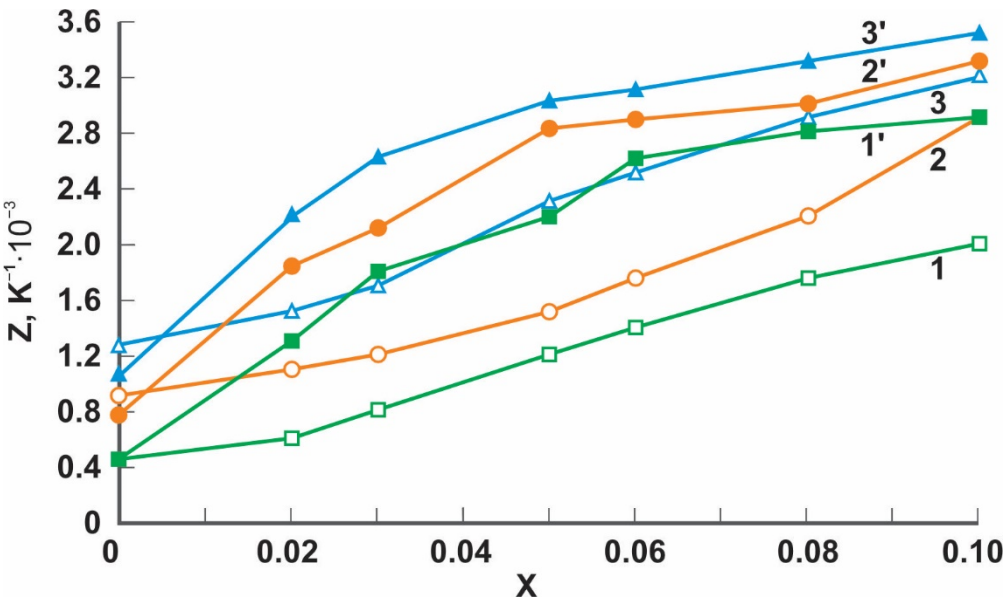


Fig.4. Temperature dependence of thermoelectric figure of merit in various samples $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ at different temperatures. The designation is the same as in Fig.1.

But decreasing of μ_h (T) occurs due to the scattering of holes on the thermal vibrations of the lattice and on defects according to the law $\mu_h \propto T^{-0,7}$ [3].

In these crystals, vacancies of Yb atoms are larger than vacancies of In atoms. The reason of this is the large screening of Yb atoms (ionic radius R_{Yb} = 1.93A°, R_{In} = 1.57A°) in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$. Therefore, due to phonon-phonon and phonon-defect scattering, χ_{ph} is reduced as $\chi_{ph} \propto T^{-1.2}$. By increasing x decreases the value of χ_{ph} and the exponent n' ($\chi_{ph} \propto T^{-n'}$). As a result, when x≥0.05 μ_h/χ_{ph} by increasing temperature changes according to the law $\mu_h/\chi_{ph} \propto T^{0.5}$. Therefore, up to T∝700K, increasing of Z with temperature occurs only due to a linear increasing of α(T) (Fig. 3). And after T∝700K, increasing of Z is associated with the onset of its peculiar region, since rising of conductivity with temperature is stronger than the total thermal conductivity χ_{tot}.

So, for use in practice as a promising material with high efficiency $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ meet the following conditions:

1. In $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ solid solutions, the hole wavelength is longer than the phonon wavelength. This leads to an overall increasing of Z.

2. To achieve maximum Z, it provides propagation conditions for charge carriers and phonons to obtain $\mu_h/\chi_{ph} >> 1$.

3. The growth of substitution of indium atoms by ytterbium atoms leads to rather high values of Z.

[1] *А.Ф. Иоффе.* Semiconductor thermo elements. Izd. AN USSR, Moscow 1960 (in Russion).

[2] *V.S. Oskotskiy, I.I. Smirnov.* Defects in crystals and thermoconductivity. Nauka, Leningrad 1972 (in Russion).

[3] *F.F. Aliyev, U.M. Agaeva, M.M. Zarbaliev.* "Energy Spectrum of Charge Carriers in $TlIn_{1-X}Yb_xTe_2$ Solid Solutions" Fiz. Tech. Poluprovodn. v.50, issue 10, 2016, p.1297-1302.

[4] *P.G. Klemens.* Dielectric Breakdown of Liquid Helium Phys.Rev. 119, 5 (1960).

[5] *F.F. Aliyev, V.I. Eminova, M.M. Zarbaliev, U.M. Agayeva, M.H. Ismailov.* "Thermoelectric Figure of Merit in Solid Solution of $TlIn_{1-X}Yb_xTe_2$ (0≤x≤10)". International Journal of Engineering Science Invention (IJESI) //Vol. 8, Issue 4, 2019, pp. 60-67.

PHASE EQUILIBRIUM OF La − Ga − Se AND DIELECTRIC SPECTROSCOPY OF SINGLE-CRYSTAL $LaGaSe_3$

S.N. MUSTAFAEVA*, M.M. ASADOV, ***, V.F. LUKICHEV******

**Institute of Physics, Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku, AZ-1143 Azerbaijan, 131 G. Javid Ave*
e-mail: solmust@gmail.com
***Nagiyev Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry, Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Baku, AZ-1143 Azerbaijan, 113 G. Javid Ave.*
e-mail: mirasadov@gmail.com
****Scientific Research Institute of Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry, Baku, AZ-1010 Azerbaijan, 20 Azadliq Ave*
*****Valiev Institute of Physics and Technology Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117218 Russia, 34 Nakhimovsky Ave*

It is shown that the grown $LaGaSe_3$ single crystal crystallizes in the hexagonal syngony with space $P6_3/mmc$ and lattice parameters a = 3.722 Å and c = 15.721 Å. Taking into account the properties of binary selenides, the standard enthalpy of formation of the ternary compositions $LaGaSe_3$ and $La_6Ga_{10/3}Se_{14}$was calculated, which were used to triangulate the La − Ga − Se system. Based on the $T - x$ phase diagrams of the boundary systems La − Ga, La − Se and Ga − Se the enthalpy of formation of ternary phases, an isothermal cross section of the La − Ga − Se system in the solid state were constructed.

The frequency dispersion of the dielectric coefficients and conductivity of $LaGaSe_3$ has been studied. The nature of dielectric losses and the hopping mechanism of charge transfer in $LaGaSe_3$ are established. The parameters of localized states are calculated, such as the density of states near the Fermi level and their energy spread, the average time and distance of hops. The concentration of deep traps responsible for ac conduction in $LaGaSe_3$ was also determined.

Keywords: phase equilibrium, ternary La − Ga − Se, single-crystal $LaGaSe_3$, dielectric characteristics, ac-conductivity parameters
PACS: 61.72.-y; 71.20.Nr; 72.20.-i

1. INTRODUCTION

Binary and complex chalcogenide compounds of rare earth elements (lanthanides) based on compositions La_2X_3 (X = S, Se) [1,2] and semiconductors Ga_2X_3 (X = S, Se) [3,4] are of practical interest. The presence of $3d$, $4f$ elements in ternary compounds, for example, La − Ga − X systems, makes them promising materials in the field of nonlinear optics and electronics. In particular, sulfide glasses of the La − Ga − S (LGS) system are laser materials with a wide transmission window in the IR range. LGS has a high glass transition temperature T_g = 580 °C and can be used in high temperature applications [5].

The double phase diagrams of the state of the systems La − Ga [6], La − Se [7,2], Ga − Se [8,3,4], limiting the La − Ga − Se ternary system, have been studied. But the properties of the phases in the La − Ga − Se ternary system have not been sufficiently studied.

State diagram of the system $La_2Se_3 - Ga_2Se_3$presented in [9]. Alloys were studied by X-ray phase, thermal, chemical analysis and electrophysical measurements. The formation of one compound with the composition $LaGaSe_3$was indicated. The melting temperature of the composition $LaGaSe_3$ is 1120 °C. $LaGaSe_3$ has a hexagonal syngony with cell parameters a = 10.32 Å, c = 6.28 Å. The paper [10] also indicated the formation of one ternary compound, but with a different stoichiometric composition $La_6Ga_{10/3}Se_{14}$. It is shown that this intermediate phase melts at 1170°C and has a hexagonal syngony with lattice parameters a = 10.53 Å, c = 6.39 Å.

In a similar sulfide system $La_2S_3 - Ga_2S_3$ [11], the formation of a compound with a composition of 1:1 was also indicated. The $LaGaS_3$ compound has a monoclinic structure and the following lattice parameters (space group $P2_1/c$, № 14), a= 10.33(9) Å, b = 12.82(6) Å, c = 10.56(4) Å, γ = 98.90(7) Å, V = 1381.6 Å^3, Z = 12. In the $LaGaS_3$ structure, gallium atoms have tetrahedral coordination (GaS_4). One lanthanum atom La(1) is nine-coordinated with sulfur atoms [$La(1)S_9$], and the other two La(2) and La(3) are eight-coordinated with [$La(2)S_8$], [$La(3)S_8$].
The $LaGaS_3$ phase has the $\beta - LaGaS_3$ polymorph, which crystallizes in $Pna2_1$ (№ 33); a = 10.405(1) Å, b = 21.984(2) Å, c = 6.0565(5) Å, V = 1385.3(2) Å^3 and Z = 12 [12]. Also known is the $La_6Ga_{3.33}S_{14}$ composition phase (hexagonal syngony; $Ce_6Al_{3.33}S_{14}$ type) [13]).

It follows from the analysis of these that the phase relationships in the $La_2Se_3 - Ga_2Se_3$system have not been precisely established. Triangulation of the La − Ga − Se ternary system has also not been carried out. In addition, single crystals and the physical properties of samples of this ternary system are almost not studied.

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

The purpose of the work is the thermodynamic analysis of the La – Ga – Se system, the identification of the lattice parameters of the grown single crystal $LaGaSe_3$, the study of the electrical properties of the samples in alternating electric fields of the radio frequency range.

The study of the dielectric properties and electrical conductivity of La – Ga – Se system crystals at direct and alternating current can provide information on the parameters of charge transfer and on localized states in the band gap.

The frequency dependence of electrophysical parameters is important for establishing the mechanism of electrical conductivity on alternating current. The mechanism of charge transfer in La – Ga – Se system single crystals has not yet been studied.

2. EXPERIMENTAL PART

2.1. Growing a single crystal

Methods for the synthesis and growth of crystals of chalcogenide phases are known. In particular, lanthanum chalcogenides are obtained by the method of solid-phase synthesis [12]. $LaGaSe_3$crystals were synthesized by the solid-phase synthesis method by using pure ready-made starting chemical elements La (Alfa Aesar China (Tianjin) Co., Ltd., 99.9%), Ga (Sinopharm Chemical Reagent Co., Ltd., 99.99%) and Se (Sinopharm Chemical Reagent Co., Ltd., 99.99%). A stoichiometric mixture of elements with a total mass of about 300 mg La, Ga and Se (molar ratio 1:1:3) was weighed and placed in a graphite crucible. The crucible loaded with components was placed in a quartz ampoule, which was sealed to 10^{-3} Pa.

The ampoule with the components was placed in a tubular electric furnace with controlled temperature. The furnace temperature was raised to 450 °C and the ampoule was held for 10 h. Then the furnace temperature was raised to 1100 °C for 20 h. The ampoule was kept for 120 h, then cooled to 820 °C for 2 h and kept for 120 hours. Finally, the ampoule was cooled to room temperature for 72 hours. Dark red $LaGaSe_3$ crystals were obtained. The resulting compound was stable in air for a long time.

The completion of the synthesis of $LaGaSe_3$polycrystals and their individuality were controlled by X-ray diffraction (XRD) analysis. XPA of powder crystal samples was carried out on a D8-ADVANCE diffractometer in the mode $0.5° < 2\theta < 80°$ (Cu Kα radiation; λ = 1.5418 Å) at 40 kV and 40 mA.

The growth of the $LaGaSe_3$single crystal was carried out by the Bridgman-Stockbarger method. The pre-synthesized $LaGaSe_3$ ingot was loaded into a graphitized double quartz ampule with a tapered end. The ampoule was pumped out to a residual pressure of 10^{-3} Pa and placed in a two-temperature furnace. The temperature in the furnace in the first zone (melt zone) was maintained at 1120–1170 °C, and in the second zone (crystal annealing zone) at 1100–1120 °C.

The ampoule with the melt was kept in the furnace for 24 h, and then the ampoule was lowered through the crystallization front into the crystal annealing zone at a rate of 0.1–0.2 mm/h at a temperature gradient of 20–30 K/cm. The resulting crystals were annealed for 150 h. $LaGaSe_3$ single crystals 10 mm in diameter and up to 50 mm long were grown.

2.2. Measurement technique

Single-crystal $LaGaSe_3$ samples for electrical measurements were made in the form of flat capacitors. Silver paste was used as contacts to the $LaGaSe_3$samples. The thickness of single-crystal samples was 0.3 cm.

The dielectric coefficients of $LaGaSe_3$single crystal samples were measured by the resonance method [14] using a Q-factor meter BM-560 [15]. The frequency range of the alternating electric field was 5×10^4–3.5×10^7 Hz. Electrical measurements of the samples were carried out in a shielded chamber. All dielectric measurements were carried out at 298 K.

The dielectric properties of materials, which describe their interaction with an electric field, is determined by the known equations

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon'' \quad (1)$$

$$\varepsilon' = \varepsilon_r \varepsilon_0 \quad (2)$$

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \mathrm{tg}\delta. \quad (3)$$

where ε' is the real part of the permittivity, ε'' is the imaginary part of the permittivity (dielectric loss factor), ε_r is the relative permittivity, $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m is the electrical constant, δ is the dielectric loss angle.

The amplitude of the alternating electric field applied to the samples on the measuring device corresponded to the Ohmic region of the current-voltage characteristic. The accuracy of determining the resonant values of capacitance and quality factor $Q = 1 / \mathrm{tg}\delta$) of the measuring circuit corresponded to the errors of the device. The calibration of the device capacitor had an accuracy of ± 0.1 pF. The reproducibility of the resonance position was ± 0.2 pF in terms of capacitance, and ± 1.0–1.5 divisions of the scale in terms of quality factor. The largest deviations from the average values were 3–4% for the permittivity (ε') and 7% for tgδ.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Structure

The diffraction patterns taken on powder samples from different parts of the single crystal corresponded to the hexagonal structure (Fig. 1). Unit cell parameters calculated by the least squares method from the reflections of 2θ angles. It has been established that the compound $LaGaSe_3$ crystallizes in the hexagonal syngony with the space group $P6_3/mmc$; a = 3.722 Å and c = 15.72 Å. These parameters differ from the hexagonal parameters given in [9]. The crystal lattice of $LaGaSe_3$ is deformed in the direction of the c-axis of the crystal. Such a deformation of the cell may be due to a significant difference in the ionic and/or atomic radii of Ga and La: (Ga^{3+} 0.62; Ga 1.41 Å), respectively (La^{3+} 1.17; La 1.95 Å).

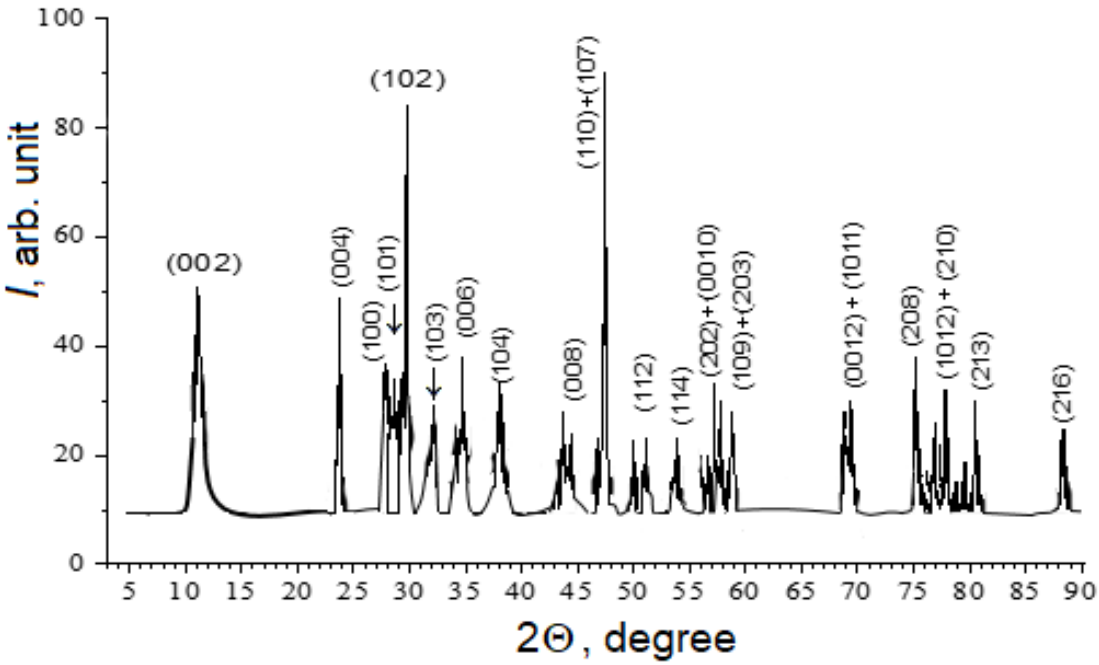


Fig. 1. X-ray diffraction pattern of the $LaGaSe_3$ powder sample with the component ratio La_2Se_3: Ga_2Se_3 = 1:1.

3.2. Binary systems

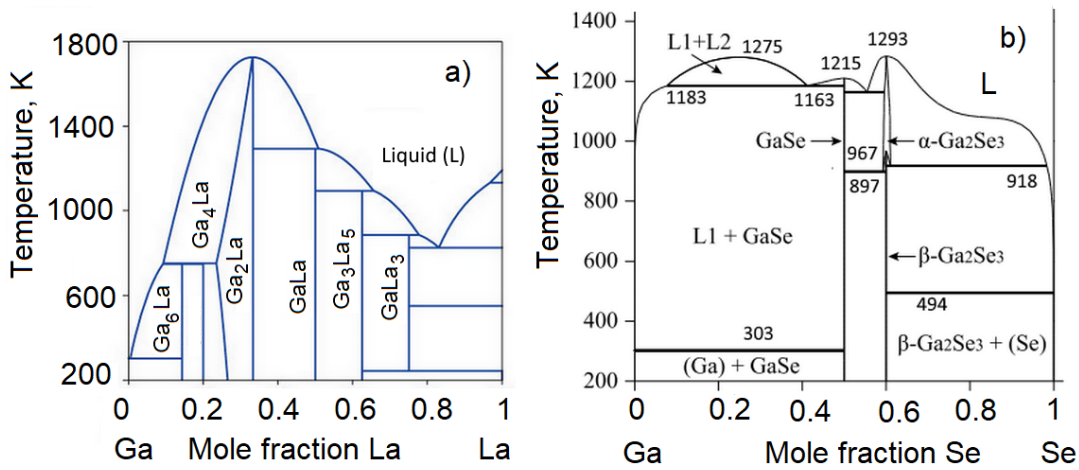
The ternary system La – Ga – Se consists of binary boundary systems La – Ga, Ga – Se and La – Se. From the analysis of the phase diagrams of binary systems, it follows that they are characterized by the formation of several binary compounds. The coordinates of the connections of binary systems are shown in Figs. 2a,b,c.

As can be seen, the phase diagrams involving lanthanum are more complex than the diagram of the Ga – Se system. In addition, in the La – Ga, La – Se diagrams, it is necessary to take into account the phase transitions of lanthanum. The average values of phase transitions for lanthanum are: $\alpha \rightarrow \beta$ 563 ± 38 K, $\beta \rightarrow \gamma$ 1133 ± 6 K, and the melting point T_m= 1189 ± 2 K.

In the La – Ga and La – Se binary systems, six compounds are formed in each (Figs. 2a,c), and in the Ga – Se system, two intermediate phases are formed: GaSe and Ga_2Se_3 (Fig. 2b).

Note that the physical properties of semiconductor compounds of the Ga – Se system have been studied relatively more than compounds of the La – Se system. GaSe has a layered crystal structure and is characterized by anisotropy of properties. The Ga_2Se_3 compound has two polymorphic modifications: $\alpha - Ga_2Se_3$ (structure type ZnS) and $\beta - Ga_2Se_3$ (structure type Ga_2Se_3). The temperature of the polymorphic transition α→β is 967 K, and T_m= 1293 K.

Table 1 shows crystallographic data for binary and ternary selenides found in the La – Ga – Se system.



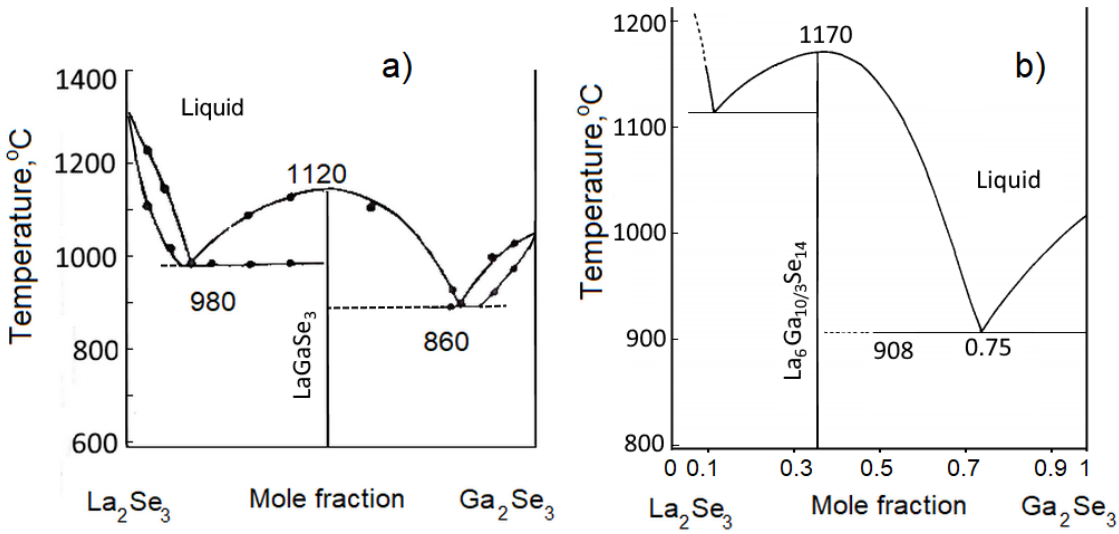


Fig. 2. Phase diagrams of binary systems: a) La – Ga [6], b) Ga – Se [4], c) La – Se [7], d) La – Se [This work].

Table 1.

Crystallographic data for the compounds of La – Ga – Se system

Compound	Structure type	Space group	Cell parameters, Å			Ref.
			a	b	c	
La_2Se_3	Th_3P_4	$I-43d$	9.0521			[16]
$\beta-Ga_2Se_3$	Ga_2Se_3	Cc	6.6608	11.6516	6.6449	[17]
$\alpha-Ga_2Se_3$	ZnS	$F-43m$	5.463			[18]
$\alpha-LaGaS_3$	$LaGaS_3$	$P2_1/c$	10.399	12.826	10.564	[19]
$\beta-LaGaS_3$	Ag_8SiS_6	$Pna2_1$	10.15	21.9835	6.0565	[12,13]
$La_3Ga_{1.67}Se_7$	La_3CuSiS_7	$P6_3$	10.67		6.10	[10]
$LaGaSe_3$			10.32		6.28	[9]
$LaGaSe_3$	GaS	$P6_3/mmc$	3.722		15.72	This work

3.3. Enthalpy of formation

Gibbs free energy (G) or thermodynamic potential, as is known, characterizes the change in the internal energy of the system during a chemical reaction. Those. the quantity G is the total potential chemical energy of the system. In reactions, the change in free energy shows what part of the total internal energy of the system is used for chemical transformations. The G value allows to set the possibility of a chemical reaction occurring under given conditions (P, V, T), where P is pressure, V is volume, T is temperature. With this in mind, the thermodynamic potential G is written as: $G = U + PV - TS$, where U is the internal energy, which is a function of the entropy S and the generalized coordinates of the system x_1, x_2 ... In an isobaric process occurring in the system at constant pressure and mass of matter enthalpy $H = U + PV$.

The Helmholtz free energy (F), like G, is also a thermodynamic potential. The decrease in F in a quasi-static isothermal process is equal to the work done by the system on external bodies: $F = U - TS$. Then the Gibbs potential is $G = H - TS = F + PV = U + PV - TS$.

Thus, the thermodynamic potentials, which are functions of the corresponding variables, are the canonical equations of state for a given system. More precisely, thermodynamic potentials are functions: $= U(S, V)$, $H = H(S, P)$, $F = F(T, V)$, $G = G(T, P)$. Knowledge of these functions allows obtaining information about the properties of the system. They are valid for equilibrium states. In nonequilibrium states of the system, these equations are not satisfied.

The thermodynamic method Calphad (Calculation of Phase Diagrams) allows one to calculate phase equilibria in multicomponent systems. In this case, the thermodynamic properties of both binary and multicomponent systems are taken into account. Various software products (ThermoCalc, MTData, FactSage) and paid databases are used in the calculations.

The thermodynamic properties of phases in ternary or quaternary systems can also be estimated using semi-empirical geometric or polynomial models [20]. In such models, the properties of the ternary system are calculated through a combination of the properties of three boundary binary systems, taking into account the weight coefficients of the properties.

Excess thermodynamic functions are the excess of some property of a real solution over the corresponding

property of an ideal solution of the same composition for the same T and P: $g^{\mathrm{E}}_{\mathrm{general}} = g_{\mathrm{general}}(\text{real solution}) - g_{\mathrm{general}}(\text{ideal solution})$, thermodynamic property of the system, superscript E denotes the excess of the function.

Excessive thermodynamic characteristics (excess Gibbs energy G^{E} of mixing, enthalpy of mixing H^{E} and excess entropy S^{E}) of binary systems $(i-j, i-k, j-k)$ allow us to estimate the degree of deviation of the properties of the ternary system $(i-j-k)$ from the ideal behavior $(G^{\mathrm{E}} = 0)$. If $G^{\mathrm{E}} > 0$, then positive deviations of properties from ideality occur in the system, and when $G^{\mathrm{E}} < 0$, negative deviations from ideality occur due to intermolecular interaction.

The partial excess Gibbs energies $\Delta G_i^E(x_i, T)_P$ of boundary binary systems make it possible to calculate the properties of a ternary system at different temperatures and compositions. The excess Gibbs energy in the ternary and corresponding binary systems are related by the equation

$$\Delta G^E_{ijk} = W_{ij}\Delta G^E_{ij} + W_{jk}\Delta G^E_{jk} + W_{ik}\Delta G^E_{ik} \quad (4)$$

where ΔG^E_{ijk} and $\Delta G^E_{ij}, \Delta G^E_{jk}, \Delta G^E_{ik}$ are the excess Gibbs energy in the ternary and corresponding binary systems at the same ratio of the molar fractions of these components as in the ternary system, respectively, W_{ij}, W_{jk}, W_{ik} are the weight coefficients of the components of the corresponding binary systems. The weight coefficient formulas in the geometric models and the mass triangle models are given in Table 2.

Table 2.

Weight coefficients in known semi-empirical models for calculating thermodynamic properties in a ternary system

Model	W_{ij} in geometrical model	W_{ij} in mass triangle model
Kohler (1960)	$W_{i(ij)} = (x_i + x_j)^2$	$W^M_{i(ij)} = (x_i + x_j)/2$
Toop (1965)	$\begin{cases} W_i = W_k = x_j/(x_j + x_k) \\ W_j = (x_j + x_k)^2 \end{cases}$	$\begin{cases} W_i^M = W_k^M = x_j/(x_j + x_k) \\ W_j^M = 0 \end{cases}$
Muggianu-Jacob (1977)	$W_{i(ij)} = 4x_ix_j/(1 + x_i - x_j)/(1 - x_i + x_j)$	
Hillert (1980)	$\begin{cases} W_i = W_k = x_j/(x_j + x_k) \\ W_j = 4x_ix_j/(1 + x_j - x_k)/(1 - x_j + x_k) \end{cases}$	$\begin{cases} W_i^M = W_k^M = x_j/(x_j + x_k) \\ W_j^M = 0 \end{cases}$
Luck-Chou (1987)	$W_{i(ij)} = x_ix_j/(x_ix_j + x_jx_k)$	$W^M_{i(ij)} = x_ix_j/(x_ix_j + x_jx_k + x_ix_k)$

Despite the fact that alloys of binary boundary systems in La – Ga – Se have been studied for a long time, information on the thermodynamic characteristics of ternary phases is not known. The stability of intermetallic and selenide phases in the La – Ga – Se system was evaluated by calculating the enthalpy of phase formation. The enthalpies of formation of intermediate phases under standard conditions are negative.

The enthalpies of formation of binary compounds La_2Se_3 and Ga_2Se_3 at 298 K obtained from experimental data have relatively high absolute values: $-\Delta_f H^0_{298}(La_2Se_3)$ = 933.03 ± 20.92 kJ/mol [1, 2], $-\Delta_f H^0_{298}(Ga_2Se_3)$ = 397.5 ± 37.65 kJ/mol [21].

The standard enthalpies of formation $\Delta_f H^0_{298}$ calculated by us for the ternary phases of the La – Ga – Se system, taking into account the averaged data $\Delta_f H^0_{298}$ for binary compounds, are given in Table 3.

Table 3.

Additively calculated standard enthalpies of formation $\Delta_f H^0_{298}$ of the phases of the La – Ga – Se system

Compound	$-\Delta_f H^0_{298}$, kJ/mol	
	experiment	calculation
La_2S_3	1179.9 ± 16.74 [1]	
La_2Se_3	933 ± 21 [22]	
Ga_2S_3	502.5 ± 8.37 [23]	
$\alpha - Ga_2Se_3$	384.93 ± 16.74 [23]	
$\alpha - LaGaS_3$		1786
$LaGaSe_3$		1360
$La_3Ga_{1.67}Se_7$		3508

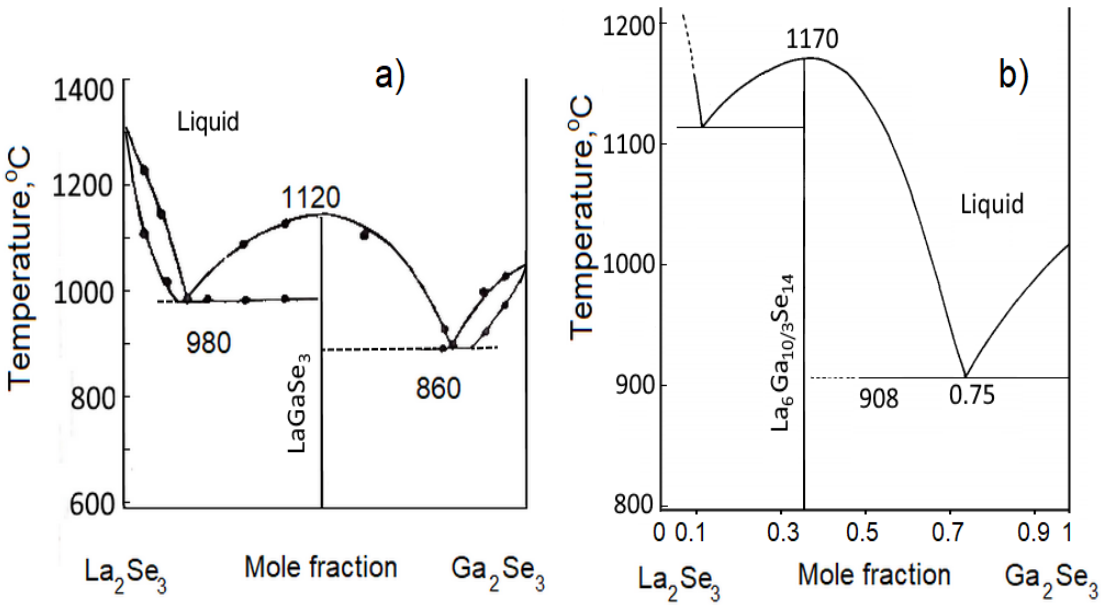


Fig. 3. Phase diagram of the $Ga_2Se_3 - La_2Se_3$ system: a) [9], b) [10].

If we take into account deviations from the additive values $\Delta_f H^0_{298}$ of binary phases, then it is obvious that for real ternary phases $\Delta_f H^0_{298}$ will be even smaller. This is due to the fact that the formation of a ternary phase from binary compounds in a chemical reaction occurs due to a decrease in the Gibbs free energy ($\Delta_f G^0_T$) of the system. In this case, $\Delta_f G^0_T$ of the ternary phase must obviously be less than the $\Delta_f G^0_T$ calculated additively from $\Delta_f G^0_T$ of binary compounds. The above is also true for the value $\Delta_f H^0_{298}$ of the ternary phases.

3.4. La – Ga – Se system

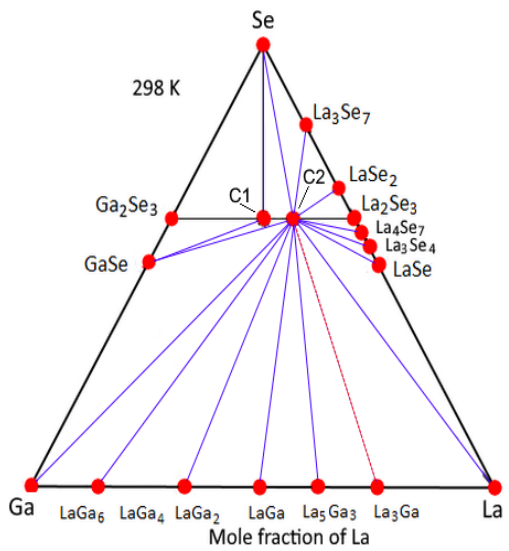


Fig. 4. Phase relations in the La – Ga – Se system at 298 K. C1–$LaGaSe_3$, C2– $La_3Ga_{1.67}Se_7$.

The intermediate phases of the compositions $LaGaSe_3$ (Fig. 3a) and $La_3Ga_{1.67}Se_7$ (Fig. 3b) determine the stability of cuts in the solid state of the La – Ga – Se system.

Fig. 4 shows the phase relations of the La – Ga – Se system constructed by us in the subsolidus region.

3.5. Dielectric Properties

Fig. 5 shows the frequency dependence of the real component of the complex permittivity (ε') of the $LaGaSe_3$ sample.

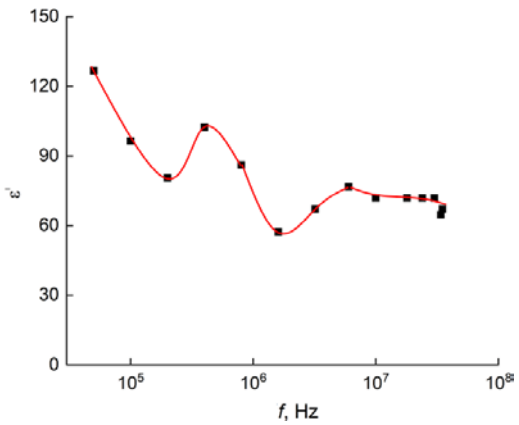


Fig. 5. Frequency dispersion of the real component of the complex permittivity of a $LaGaSe_3$ single crystal.

It is seen from Fig.5 that a significant dispersion ε' is observed in the entire studied frequency range. The experimentally observed decrease in the permittivity of a single crystal with an increase in frequency from 5×10^4 to 3.5×10^7 Hz indicates relaxation dispersion.

Fig. 6 shows the frequency dependence of the imaginary component of the complex permittivity (ε'') of a $LaGaSe_3$ single crystal. The dispersion curve $\varepsilon''(f)$ was characterized by a rather noticeable decrease in the entire studied frequency range. At $f = 5 \times 10^4$ Hz, the value of ε'' of the $LaGaSe_3$ single crystal was almost 6 times higher than the value of ε''at 3.5×10^7 Hz.

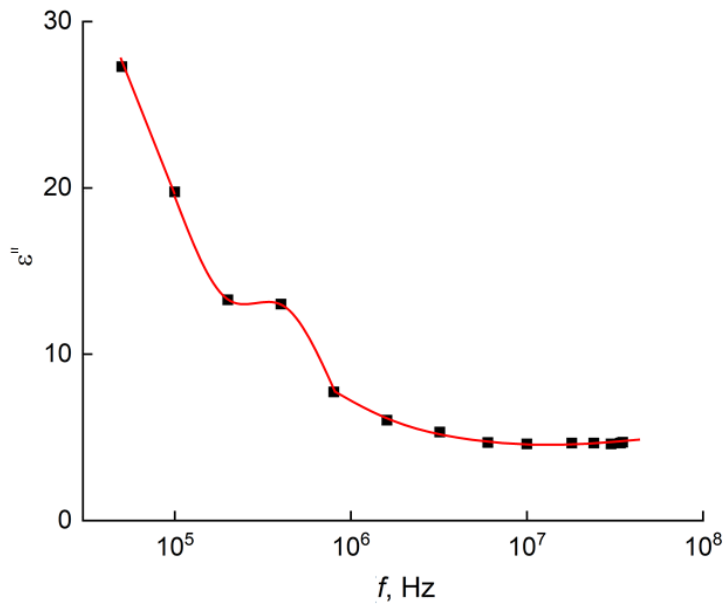


Fig. 6. Frequency dispersion of the imaginary component of the complex permittivity of a $LaGaSe_3$ single crystal.

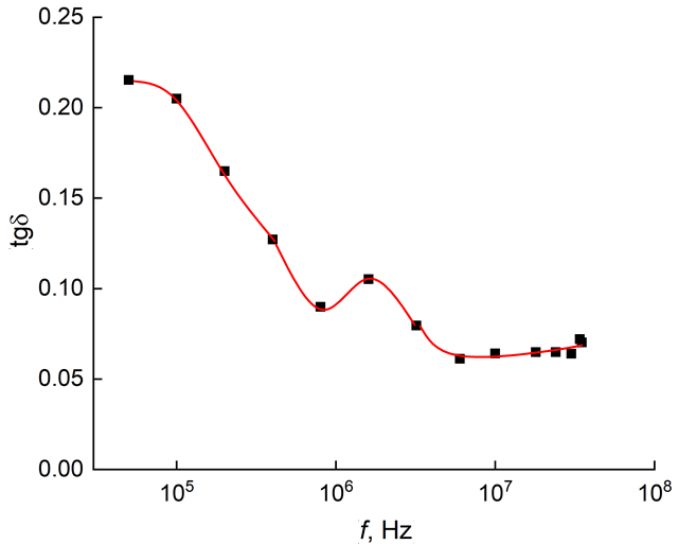


Fig. 7. Frequency dependence of the dielectric loss tangent in a $LaGaSe_3$ single crystal.

The frequency dependence of the dielectric loss tangent (tgδ) in the studied $LaGaSe_3$ single crystals is shown in Fig. 7. The decrease in tgδ with increasing frequency in $LaGaSe_3$ single crystals indicate a loss of through conduction.

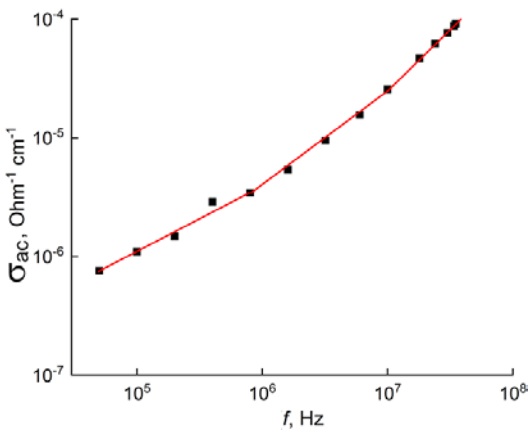


Fig. 8. Frequency-dependent ac conductivity of a $LaGaSe_3$ single crystal at 300 K.

Fig. 8 shows the experimental results of studying the frequency-dependent ac-conductivity of the $LaGaSe_3$ single crystal at 300 K. In the frequency range 5×10^4–8×10^5 Hz, the ac-conductivity of the $LaGaSe_3$single crystal varied according to the law $\sigma_{ac} \sim f^{0.6}$, and at $f = 8 \times 10^5$–10^7 Hz $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$. At $f > 10^7$ Hz, a linear dependence $\sigma_{ac} \sim f$ took place.

It follows from the experiment that band-type ac-conductivity (σ_{ac}) in semiconductors and dielectrics is mainly frequency-independent up to 10^{10}–10^{11} Hz. The experimental dependence $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$of sample $LaGaSe_3$ observed by us indicates that σ_{ac} is due to charge carrier hops between states localized in the band gap. These can be states localized near the edges of allowed bands or states localized near the Fermi level. In experiments, the conductivity over states near the Fermi level dominates over the conductivity over states near the edges of allowed bands.

Therefore, the law $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ obtained by us testifies to the hopping mechanism of charge transfer

through states localized in the vicinity of the Fermi level [24,25]:

$$\sigma_{ac}(f) = \frac{\pi^3}{96}\, e^2 kTN_F^2 a_L^5 f \left[ln\left(\frac{\nu_{ph}}{f}\right)\right]^4, \quad (5)$$

where e is the electron charge; k is the Boltzmann constant; N_F is the density of states near the Fermi level; $a_L = 1/\alpha$ – localization radius; α is the decay constant of the wave function of the localized charge carrier $\psi \sim e^{-\alpha r}$; ν_{ph} is the phonon frequency.

According to formula (5), ac-conductivity depends on frequency as $f[\ln(\nu_{ph}/f)]^4$, i.e. at $f \ll \nu_{ph}$, the value of σ_{ac} is approximately proportional to $f^{0.8}$. Using formula (5), the experimentally found values of $\sigma_{ac}(f)$ were used to calculate the density of states at the Fermi level. The calculated N_F value for the $LaGaSe_3$ single crystal was N_F=4.3×10^{18}eV^{-1}·cm^{-3}. When calculating N_F, the value a_L = 34 Å was taken for the localization radius [25]. And the value of ν_{ph} for $LaGaSe_3$ is taken equal to 10^{12} Hz.

According to the theory of hopping conduction on alternating current, the average hopping distance (R) is determined by the following formula [24]:

$$R = \frac{1}{2\alpha}\ \ln\left(\frac{\nu_{ph}}{f}\right). \quad (6)$$

In formula (6), the value of f corresponds to the average frequency at which $f^{0.8}$ is observed - the law. The value of R calculated by formula (6) for the $LaGaSe_3$ single crystal was 207 Å. This value of R is approximately 6 times greater than the average distance between charge carrier localization centers in a $LaGaSe_3$single crystal.

The value of R allowed by the formula

$$\tau^{-1} = \nu_{ph} \cdot \exp(-2\alpha R) \quad (7)$$

determine the average hopping time in a $LaGaSe_3$ single crystal: τ = 1.85 × 10^{-7} s.

According to the formula:

$$\Delta E = \frac{3}{2\pi R^3 \cdot N_F} \quad (8)$$

in $LaGaSe_3$ the spread of states localized near the Fermi level was estimated: ΔE = 0.013 eV.

And according to the formula:

$$N_t = N_F \cdot \Delta E \quad (9)$$

the concentration of deep traps in $LaGaSe_3$, which are responsible for ac-conductivity at alternating current, was determined: N_t = 5.6 × 10^{16} cm^{-3}.

4. CONCLUSION

A dark red $LaGaSe_3$single crystal was grown in the La – Ga – Se system. According to XRD data, $LaGaSe_3$ crystallizes in the hexagonal syngony with space group $P6_3/mmc$ and lattice parameters a = 3.722 Å and c = 15.72 Å. The crystal lattice of $LaGaSe_3$ is deformed in the direction of the c-axis of the crystal. The enthalpy of formation of $LaGaSe_3$ has been calculated. Compared to $LaGaSe_3$, its sulfide analog $LaGaS_3$ has a higher absolute enthalpy of formation. An isothermal cross section of the La – Ga – Se ternary system at 298 K is constructed. In the isothermal cross section of the $La_3Ga_{1.67}Se_7$ and $LaGaSe_3$ phases are in equilibrium with the binary compounds of the La – Ga, La – Se and Ga – Se boundary systems.

The study of the frequency dependences of the real (ε') and imaginary (ε'') components of the complex permittivity, dielectric loss tangent, and ac-conductivity (σ_{ac}) in the frequency range f = 5 × 10^4–3.5 × 10^7 Hz of single crystal $LaGaSe_3$ showed the following.

In the indicated frequency range, relaxation dielectric dispersion took place in $LaGaSe_3$ and losses of through conduction were observed. At f = 8 × 10^5–10^7 Hz in $LaGaSe_3$ single crystals, the frequency dependence of the conductivity obeyed the regularity $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$, which is characteristic of the hopping mechanism of charge transfer along states localized near the Fermi level.

The following parameters were calculated: density of states (N_F= 4.3 × 10^{18} eV^{-1}·cm^{-3}) and their energy spread (ΔE = 0.013 eV), average time (τ = 1.85 × 10^{-7} s) and distance (R = 207 Å) jumps of charge carriers in a $LaGaSe_3$ single crystal.

Funding

This study was supported in part by the Science Development Foundation under the President of the Republic of Azerbaijan (project EIF-BGM-4-RFTFl/2017-21/05/lM-07) and the Russian Foundation for Basic Research (project 18-57-06001 no. Az_a 2018).

The authors thank D.T. Guseinov for obtaining crystals and K.I. Yanushkevich for determining the lattice parameters of $LaGaSe_3$.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

[1] *S.P. Gordienko, B.V. Fenochka, G.Sh. Viksman.* Thermodynamics of Lanthanide Compounds: A Handbook. Kyiv: Naukova dumka. 1979, p. 376. (in Russian).

[2] *H. Bergmann, H. Hein, P. Kuhn, U. Vetter, G. Czack, E. Koch, E. Warkentin.* Sc, Y, La-Lu Rare Earth Elements C 9. Rare Earth Elements and Selenium. 1985. Chapter 1. P. 1-526. https://doi.org/10.1007/978-3-662-06345-3_1

[3] *N.H. Abrikosov, I.F. Bankina, L.V. Poretskaya et al.* Semiconductor chalcogenides and alloys based on them. Moscow: Nauka. 1975. 120 p. (in Russian).

[4] *M. Ider, R. Pankajavalli, W. Zhuang, J. Y. Shen, T. J. Anderson.* Thermochemistry of the Ga-Se System. ECS Journal of Solid State Science and Technology. 2015. V. 4. № 5. Q51-Q60. https://doi.org/10.1149/2.0011507jss

[5] *A. Ravagli, C. Craig, J. Lincoln, D.W. Hewak.* Ga-La-S-Se glass for visible and thermal imaging // Advanced Optical Technologies. 2017; aop. P. 1-6. https://doi.org/10.1515/aot-2016-0069

[6] *M. Idbenali, C. Servant.* Thermodynamic description of the Gallium-Lanthanum binary system. XXXVII JEEP–37th Conference on Phase Equilibria. 2011. https://doi.org/10.1051/jeep/201100008

[7] ASM Handbook. V.3. ASM International Alloy Phase Diagrams. Hugh Baker, Ed. 1998. 1741 p. ISBN:0-87170-381-5 (v.3)

[8] *F. Zheng, J.Y. Shen, Y.Q. Liu, W.K. Kim, M.Y. Chu, M. Ider, X.H. Bao, T. J. Anderson.* Thermodynamic optimization of the Ga-Se system. Calphad. 2008. V. 32. № 2. P. 432-438. https://doi.org/10.1016/j.calphad.2008.03.004

[9] *G.H. Efendiev, Z.Sh. Karaev, I.O. Nasibov.* Investigation of the interaction of selenides $A_2^{III}B_3^{VI}$ of lanthanum and gallium. Azerbaijan Chemical Journal. 1964. № 5. S. 103-107. (in Russian)

[10] *A.M. Loireau-Lozach, M. Guittard.* Système ternaire La_2Se_3-Ga2Se3-GeSe2 diagramme de phase - Etude des verres. Materials Research Bulletin. 1977. V. 12. № 9. P. 887-893. https://doi.org/10.1016/0025-5408(77)90100-3

[11] *M. Julien-Pouzol, S. Jaulmes, C. Dagron.* Structure du trisulfure de lanthane et de gallium. Acta Cryst. 1982. B38. P. 1566-1568. https://doi.org/10.1107/S0567740882006402

[12] *P. Li, L.-H. Li, L. Chen, L-M. Wu.* Synthesis, structure and theoretical studies of a new ternary non-centrosymmetric ß-LaGaS3. J. Solid State Chem. 2010. V. 183. № 2. P. 444–450. https://doi.org/10.1016/j.jssc.2009.11.030

[13] *A.M. Loireau-Lozach, M. Guittard, J. Flahaut.* Systèmes L_2S_3-Ga_2S_3 (L = La, Ce, Dy, Er et Y) diagrammes de phases. Materials Research Bulletin. 1977. V. 12. № 9. P. 881-886. https://doi.org/10.1016/0025-5408(77)90099-x

[14] *Yu.V. Emelyanova, M.V. Morozova, Z.A. Mikhailovskaya, E.S. Buyanova.* Impedance spectroscopy: theory and application. Yekaterinburg: Ural University Press. 2017. 156 p. ISBN 978-5-7996-2067-7 (in Russian)

[15] *S.N. Mustafaeva, M.M. Asadov.* Effect of the Chemical Composition of $TlIn_{1-x}Er_xS_2$ ($0 \le x \le 0.01$) Crystals on Their Dielectric Characteristics and the Parameters of Localized States. Physics of the Solid State. 2019. V. 61. №. 11. P. 1999-2004.

[16] *M. Folchnandt, Th. Schleid.* Single Crystals of C–La_2Se_3, C–Pr_2Se_3, and C–Gd_2Se_3 with Cation-Deficient Th3P4-Type Structure. Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie. 2001. V. 627. № 7. P. 1411-1413. https://doi.org/10.1002/1521-3749(200107)627:7 <1411::aid-zaac1411>3.0.co;2-x

[17] *G. Ghemard, S. Jaulmes, J. Etienne, J. Flahaut.* Structure de la phase ordonnée du sesquiséléniure de gallium, Ga_2Se_3. Acta Crystallographica. 1983. C39. № 8. P. 968-971. https://doi.org/10.1107/S0108270183007039

[18] *L.S. Palatnik, E.K. Belova.* Investigation of polymorphism of gallium selenide Ga_2Se_3 of variable composition. Izv. USSR Academy of Sciences. İnorganic materials. 1965. № 1. P. 1883-1888. (in Russian)

[19] *M. Julien-Pouzol, S. Jaulmes, C. Dagron.* Structure du trisulfure de lanthane et de gallium. Acta Crystallogr. 1982. B 38. № 5. P. 1566-1568. https://doi.org/10.1107/s0567740882006402

[20] *M.M. Asadov, E.S. Kuli-zade.* Phase equilibria, thermodynamic analysis and electrical properties of the Li_2O–Y_2O_3–B_2O_3 system. Journal of Alloys and Compounds. 2020. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155632

[21] *A.S. Abbasov, K.N. Mamedov, P.G. Rustamov, P.K. Babaeva.* EMF Study of the Thermodynamic Properties of Gallium Selenide Ga_2Se_3. In book: Chemical Bonds in Solids. N.N. Sirota Ed. 1995. V.3. P. 188-190. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-1686-2.

[22] *G. Kh. Efendiev, Z. Sh. Karasev.* Synthesis and research of sulfo- and selenogallates of rare-earth elements. in: Chalcogenides. Kiev: Naukova Dumka. 1967. P. 133-140. (in Russian)

[23] *A.S. Abbasov.* Thermodynamic properties of some semiconductor substances. Baku: Elm. 1981. 88 p. (in Russian)

[24] *N.F. Mott, E.A. Davis.* Electronic Processes in Non-Crystalline Materials. OUP Oxford. 2012. 590 p. ISBN: 9780199645336

[25] *S.N. Mustafaeva, M.M. Asadov.* Complex permittivity and Ac-conductivity of GaSe single crystals grown from the gas phase. Journal of Radioelectronics. 2011. № 8. P. 1-9. (in Russian)

CHARACTERISTICS OF SECONDARY ELECTRON EMISSIONS IN COLD PLASMAS WITH NANOPOROUS ZEOLITE CATHODE

E. KOÇ[1,*], S. OZTURK KOÇ[2], B.G. SALAMOV[3]

[1]*Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Istanbul Arel University, 34537 Istanbul, Turkey*

[2]*Department of Energy Systems Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Istanbul Beykent University, 34398 Istanbul, Turkey*

[3]*Physics Department, Faculty of Arts and Sciences,Gazi University, Beşevler 06500 Ankara, Turkey*

**emrahkoc@arel.edu.tr*

This study investigates the characteristics of cold-discharge plasmas with the natural nanoporous zeolite cathode taking into account the secondary electron emission processes. The zeolite cathode in the continuing and in the onset of discharge gives the important contributions the discharge due to its nanopores. Paschen curves from 8 Torr to high pressure discharge up to atmospheric pressures are scrutinized to reveal the processes of the onset of discharge. We discussed the secondary electron emissions liberated by the nanoporous zeolite material into the discharge space in the relatively low electric fields in the discharge gap. The homogeneous microdischarge is evaluated with the processes of the nanoporous zeolite cathode and discharge. The coefficients of secondary electron emission liberated by the nanoporous zeolite were obtained at the discharge gap of 250 μm in air medium.

Keywords: secondary electron emissions, breakdown, nanoporous, microdischarge.

1. INTRODUCTION

The great attention is given to generate cold-microdischarge plasmas that have a homogeneous and low-energy consumption when the secondary electron emission (SEE or γ) process in the cathode surface is considered. The interaction of mainly ion or photon with the cathode results in the SEE emitted by the cathode. These SEEs affect the microdischarge characteristics in relation to the alteration in the discharge current. The SEEs are one of focal points in the development of microdischarges applications. The microdischarges have extensively used in the various applications including the light sources, microreactors, and the plasma display panels [1-3].

Recent studies show that the determination of the effect of SEE on the discharge has a subject of wide interest importantly with respect to the low or high pressure, and the cathode type due to alterations in the discharge current. The discharge formations including mainly the ions, UV-VUV photons, metastables, and heavy-particle ionizations become important in the generation of SEE with the planar cathodes [4-6]. For the generation of SEEs in the discharge volume, it is concentrated to these discharge formations that are developed with the processes of collision-induced ionization and excitation depending on the E/N value. The emission properties of the different planar cathodes change with respect to the E/N values [5]. But there are differences in the number of the SEEs emitted by the planar cathodes depending on the discharge formations. Also, the penetrating and transport, and emission processes are related to the ion energy under the bombardment mechanism or discharges [7,8]. The developments that depend on the SEE give an important way to affect the discharge properties.

The zeolite gas discharge system (ZGDS) that consists of nanoporous zeolite cathode and discharge volume is used to generate the cold microdischarges [12]. In ZGDS, zeolite, which consists of the numerous porous structures in its surface, is an aluminosilicate crystal including mainly cation and anion in its volume, and it has the channels and cages [13]. These properties make unique it the application areas like mainly microelectronics, energy storage devices, and a plasma light source [9-13]. When the zeolite cathode is used in the plasma generation, its conduction mechanism based on SEE affects the plasma characteristics. In the low electric fields, SEEs are still an unknown process in the pores. ZGDS is of the ability of producing a homogeneous microplasma distribution at the low or high pressures.

The study aims to reveal the characteristics of cold-discharge microplasma including secondary electrons emitted by the nanoporous zeolite in ZGDS in the relatively low electric fields for the first time to our knowledge. ZGDS has enabled the generation of a microdischarge distribution with the contribution of the volume processes and the electron emission from zeolite. The discharge formations including the ions or photon gave SEEs in the discharge space under the low electric fields. With the emissions in the nanoporous zeolite cathode and the discharge collision-induced ionization and excitation processes, ZGDS formed the homogeneous discharge space distribution at the relatively low or high current values, and to reveal the SEE process and the discharge homogeneous it presented the important opportunity.

2. EXPERIMENTAL

Figure 1 shows the experimental setup of ZGDS. Measurements were performed in air medium on

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

zeolite cathode (2), which has a type of clinoptilolite. The nanoporous zeolite cathode was a plate having a diameter *D* (3) of 22 mm and a thickness of 2 mm. The external surface (1) of the zeolite was covered with a Cu layer that was approximately 40-nm thick. The anode was the glass disk (6) coated with a semitransparent conductive SnO_2 layer (5). A discharge gap *d* of 250 μm was preferred to provide relatively low electric field. Before air was filled the ZGDS, the discharge cell was evacuated up to $p = 1\times10^{-6}$ Torr. A needle valve between the discharge cell and the mechanical pump was used to change the pressure value of ZGDS. The Cu and the SnO_2 electrodes were connected to an external circuit that consists of a DC voltage source and a series resistor R_1. DC voltage source works up to 2500 V. R_1 measuring the current in the circuit has 10 kV. A mica (4) that has a spacer with a circular space is placed between the zeolite and the glass plates. The photomultiplier head measured the gas discharge light emission (7) occurring in the discharge volume. The current–voltage graphs and the intensity–voltage graphs to obtain the gas discharge light emission formed in ZGDS were registered by varying the voltage with a rate of 5 V/s from 8 Torr to high pressure discharge up to atmospheric pressures. In our calculation, after we found α that is defined as the number of ionization events with an electron per unit length, we obtained γ. The experimental coefficients were selected as $A=42.37\times10^{-21}$ m^2 and B = 1031.07 Td at 273 K in air medium [4]. γ presents the number of electrons escaping from the cathode per ion. All measurements in ZGDS were performed at room temperature.

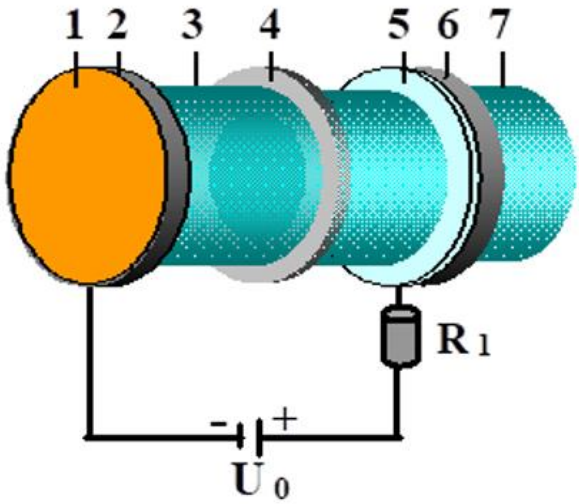


Fig. 1. The experimental setup of ZGDS. 1-metallic Cu contact. 2-Zeolite cathode. 3-diameter D of discharge gap. 4-mica. 5-semi-transparent conductive SnO_2 contact. 6-glass disc. 7-UV-visible light beam.

3. RESULTS AND DISCUSSION

To reveal the discharge characteristics of ZGDS we investigated the cold microdischarge at the different pressures at the discharge gap of 250 μm in the ranges of E/N ≤ 2300 Td. Figure 1 (a) shows the Paschen curve in air medium generated by the ZGDS. The breakdown curves in Figure 1 (a) consist of the left and right-hand branch. We obtained the minimum value of breakdown, which corresponds the breakdown voltage V_B = 405 V at 18 Torr in Figure 1 (a). We can express that to explain Paschen curve in Figure 1(a) the evaluation of processes of cathode SEE and discharge space becomes important.

Figure 2(b) shows the graph of γ and E/N. We obtained that γ_i is 0.00514 when E/N=2210.13 Td, and γ_i is 0.00298 when E/N=1753.52 Td. Thus, at the high values of E/N, the cathode emissions reach the higher values. It is important that in the discharge space there are dominantly electron-induced collisions that result in the atoms to ionize at the high values of E/N. An electron in the discharge space gains enough energy to ionize the atom. At the high values of E/N, there are dominantly the ion-induced secondary electrons γ_i in the discharge volume. Thus, we express that these ionize atoms collide the cathode surface. After they penetrate into the cathode, the secondary electrons that gain enough energy can reach the discharge space. These ionized atoms can move into nanopores, and they penetrate into the cathode with higher energy. In this case, the secondary electrons with the higher energy can emit into the discharge volume. With this discussion, we conclude that because the nanopores in the zeolite have the high electric field, they affect the onset voltage of microdischarge with the energetic secondaries. Under these conditions, the zeolite nanopore cathode in ZGDS behaviors like the emission source at the high values of E/N. The typical situation of SEE includes the effectiveness of cathode emissions in the low-pressure discharges [4].

The zeolite cathode of ZGDS used in the generation of microplasma is of critical importance because it has special nanopores on its surface in the continuing and the onset of discharge. The special nanopores on its surface give contributions through the interactions of surface and plasma. The cathodes used in the discharge plasma give markedly contributions

that include mainly SEE and the homogeneous of the discharge. Thus, both surface and nanopores of zeolite play a key role to change discharge current. It is important to express that the pores resided in the surface constitute the high electric fields when it is applied a voltage difference between the cathode and anode. The nanopores due to high electric fields are responsible for giving the energetic electrons into microdischarge as well as the surface.

The energy of ions in the discharge volume is vital in the formation of internal-SEEs. The energy transferring the cathode atoms with the ion-transport become the important in the liberation and the formation of SEE into discharge volume when the internal-SEEs have the enough energy to reach the surface [7,8]. The nanoporous zeolite gives important contributions for the ion-transport and SEEs when they move in the high electric fields inside the pores. The nanoporous zeolite may affect the ion-transport and penetrating processes into cathode.

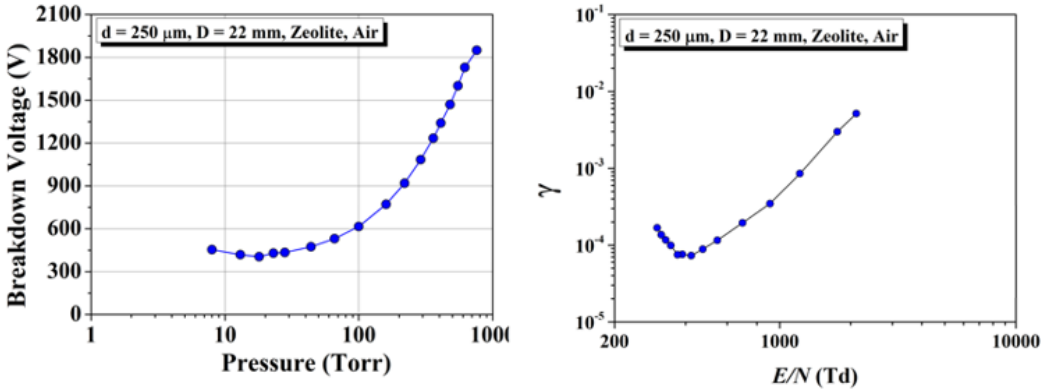


Fig. 2. (a) Paschen curve obtained in air medium in ZGDS. (b) γ and E/N graph in ZGDS.

At the low values of E/N in Figure 2(b), the electron-induced excitations in ZGDS become an important process in discharge space. These excitations lead to the generation of the photons in discharge volume, and the photon- induced secondary electrons γ_{ph} are emitted by the zeolite cathode. The electron-induced excitations dominantly result in the photoelectric process developing in discharge space. UV-VUV photons generated by gas in discharge volume are responsible for the electron emission from the zeolite cathode, and the spectrum characteristics of N_2 and O_2 in air give the important contributions in the liberation of the electron by cathode in discharge medium [4,5]. However, since the particle number and the collision frequency in discharge space increase, ionization per particle falls, and in this case the breakdown shifts at the higher electric field values in ZGDS.

Figure 3 shows the current-voltage (I-V) graphs at different pressures in ZGDS. We can express that the microdischarges in ZGDS are obtained as homogeneous plasmas in wide range of pressure. We may express that the current instabilities including mainly the spatiotemporal inhomogeneities, and hysteresis formations [14-16] weren't observed in the discharge space for the microplasma generated in ZGDS. The space-time distribution of the microdischarge is maintained as the homogeneous at low-current discharge, and if the discharge current reaches the higher values, the stability in the microdischarge still remains unalterable.

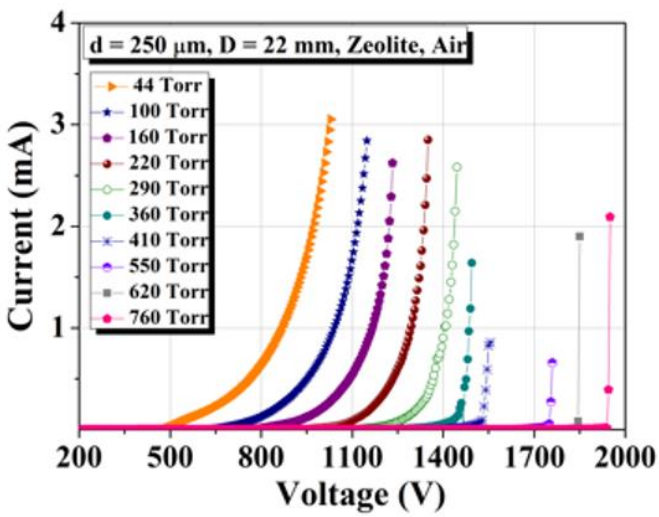


Fig. 3. I-V graphs obtained at the different pressures in ZGDS.

4. CONCLUSION

At the low electric fields, the discharge properties in ZGDS were studied with the SEE processes and in the homogeneous microplasma. The zeolite cathode gives important contributions because there are high electric fields occurring in its nanopores. In the zeolite cathode including the high electric fields in the nanopores, it was obtained that, with the contribution of pores, SEE is at the high values because the cathode nanopores-ion interactions at the low pressures are important; however, SEE increases because the photoelectric process develops at the high pressure up to atmospheric pressures in ZGDS. In the homogeneous microdischarges, the low-pressure discharge of ZGDS depends on the nanoporous zeolite cathode, and the discharge current develops fastly in comparison of the high pressure discharge up to atmospheric pressures. The results obtained in the zeolite cathode with the pore become important to appreciate the discharge characteristics in the microplasma devices.

ACKNOWLEDGEMENT: This study is supported by Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK) with project number 113F110.

[1] *P. Carazzetti, Ph. Renaud and H. Shea*. 2009 Sens. Actuator A Phys. 154 275.
[2] *L. Schwaederlé, M.K. Kulsreshath, L. J. Overzet, P. Lefaucheux, T. Tillocher and R. Dussart*. 2012 J. Phys. D: Appl. Phys. 45 065201.
[3] *S.S. Yang, J.K. Lee, S.W. Ko, H.C. Kim, and J. W. Shon*. 2004 Contrib. Plasma Phys. 44 No. 5-6 536.
[4] *E. Koç, S. Karaköse and B.G. Salamov*. 2013 Phys. Status Solidi A 210 No. 9 1806.
[5] *A.V. Phelps and Z. Lj. Petrović*. 1999 Plasma Sources Sci. Technol. 8 R21.
[6] *D. Mariotti, J.A. McLaughlin and P. Maguire*. 2004 Plasma Sources Sci. Technol. 13 207.
[7] *J. Schou.* 1987 Scanning Microsc. 2 No. 2 607.
[8] *A. Shih, J. Yater, C. Hor and R. Abrams*. 1997 Appl. Surf. Sci. 111 251.
[9] *M. Älvaro, J.F. Cabeza, D. Fabuel, H. Garcia, E. Guijarro and J.L. Martinez de Juan* 2006 Chem. Mater. 18 26.
[10] *S.I. Ahn, S.E. Lee, S.H. Kim, K.H. Cho and K.C. Choi.* 2008 Appl. Phys. Lett. 93 071507.
[11] *V.I. Orbukh, N.N. Lebedeva, S. Ozturk and B.G. Salamov.* 2013 Superlattices Microstruct. 54 16.
[12] *S. Ozturk, M. Özer, E. Bulur and B.G. Salamov*. 2015 IEEE Trans. Plasma Sci. 43 No 6 1839.
[13] *S. Ozturk Koç, S. Galioglu, S. Ozturk, B. Akata Kurç, E. Koç and B.G. Salamov* 2018 J. Electron. Mater. 47 2791.
[14] *V.I. Kolobov and A. Fiala* .1994 Phy Rev E 50 3018.
[15] *B.G. Salamov.* 2004 J. Phys. D: Appl. Phys. 37 2496.
[16] *B.G. Salamov, M. Ozer, M. Kasap and Ş. Altındal*. 1999 J. Phys. D: Appl. Phys. 32 682.

INVESTIGATION OF THE PREPARED MW-CNT/POLYMER COMPOSITES AS GAS-SENSITIVE ACTIVE ELEMENTS FOR THE FABRICATION OF GAS SENSORS

HUSEYNOV ASGAR[1], MAMMADOVA SAMIRA[2], ZEYNALOV ELDAR[1]

[1] *Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after academician M.Naghiyev, Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan*
[2] *Institute of Physics, Ministry of Science and Education, Baku, Azerbaijan*
Email: samirakif452@gmail.com

In this research work, the gas-sensitive properties of the polyurethane/MW-CNT, silicone /MW-CNT, and epoxy/MW-CNT nanocomposites were investigated in detail. The nanocomposites were prepared by an irreversible dispersion method developed by our research group and successfully realized the homogenous distribution of MW-CNTs inside polymer matrices. MW-CNTs were synthesized using acetonitrile as a carbon source by the aerosol-assisted chemical vapor deposition (A-CVD) method. SEM analysis results proved that smooth-surface, less defective MW-CNTs with 30–60 nm diameter and 60-50µm length were synthesized successfully. Gas-sensitive properties (the resistance change of nanocomposite under different gases) were observed for all prepared nanocomposites depending on the type of gases. For example, epoxy/x MW-CNTs (x = 4%) nanocomposite react only to methane and propane gases, silicone /x MW-CNTs (x = 4%) responds only to propane gas, PU/x MW-CNTs (x = 4%) nanocomposite response to methane and CO gases.

Keywords: Multi-walled carbon nanotubes (MW-CNTs), Aerosol-Chemical Vapor Deposition (A-CVD), irreversible dispersionmethod, polymer nanocomposites, gas sensors
PACS: 42.81.Pa

1. INTRODUCTION

In recent years, hazardous gas sensors have been attracting more attention in terms of human safety in both domestic and industrial applications [1,2]. Particularly, gases such as methane CH_4 and carbon monoxide CO are harmful to the environment and humanity. Therefore, the fabrication and improvement of compact, portable, affordable, high-sensitive, and high-selective gas sensors capable of rapidly detecting harmful gases and monitoring air quality in both ambient and indoor locations is a very relevant topic [3]. As for these properties, the active sensing element part of gas sensors is responsible, the main goal is the fabrication and investigation of very effective gas-sensitive elements with the above-mentioned properties [4,5]. In the research work, we demonstrate the research results of the gas-sensitive properties of three polymer nanocomposites based on MW-CNTs. For measurement of gas–sensor effects (change of resistance) of the prepared composites their thin films were prepared in the sizes of d = 20µm, a = 60 mm, b = 12 mm and were studied for three-combustible (methane, propane), and toxic (carbon monoxide) gases.

2. EXPERIMENTAL METHODS AND CHARACTERIZATION

Photos of the prepared nanocomposite samples are shown in Figure 1. The nanocomposite pasta (half-liquid) first was inflicted on the paper and paper was fixed on the glass. For measurement gas-sensitive effect, copper contacts were glued to the samples with the silver-containing paste "Contactol" (Keller, Germany). The surface morphology analysis of the nanocomposites were measured using scanning electron microscope (SEM ZEISS, operating voltage 10kV, 2-5µm magnifications) at room temperature.

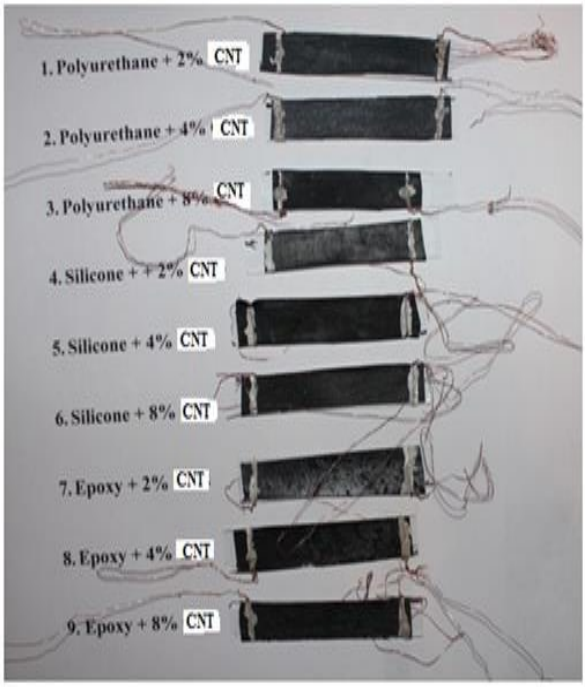


Fig. 1. Photo of the prepared polymer/x-MWCNT (x=2%, x=4%, x=8%) nanocomposites

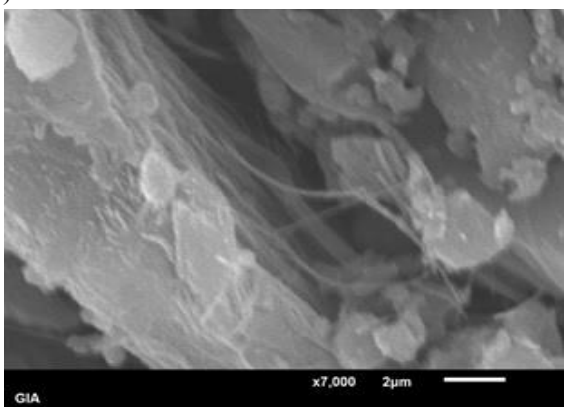
The gas-sensor effect (resistance change) measurements of polymer/x MW-CNTs (x = 2%; 4%; 8%) composites were studied firstly in air, then under CO (99.9%), CH_4 (99.9% pure) and propane (98.5%) gases.

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

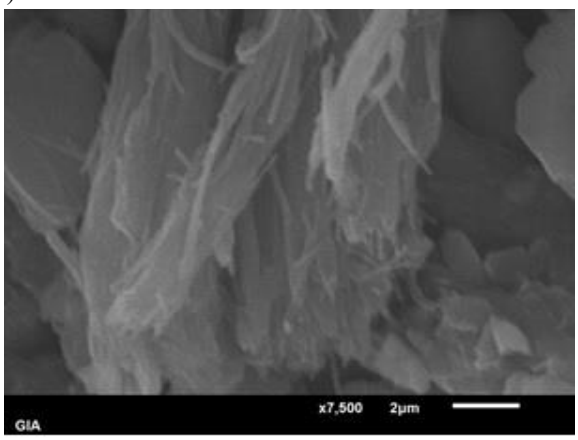
3. RESULTS

SEM analysis was investigated to determine dispersion ability of MW-CNTs inside epoxy, polyurethane and silicone polymers. Moreover, the impact of dispersion ability of MW-CNTs and type of polymers to the gas-sensitive properties of the nanocomposites were determined.

a)



b)



c)

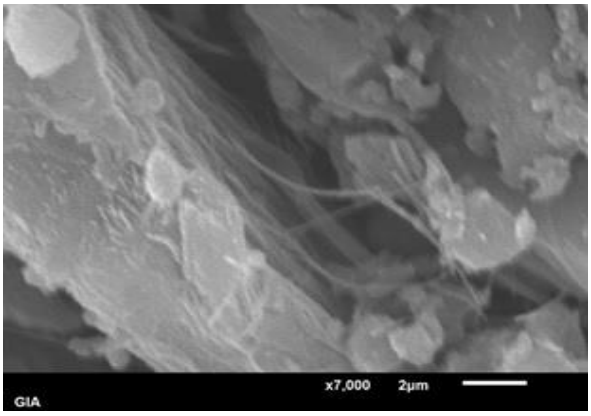


Fig.2. SEM image of the prepared MW-CNT/polymer composites ((a) Epoxy/x MW-CNTs (x = 4%); (b) Polyurethane/x MW-CNTs (x = 4%) and (c) Silicone/x MW-CNTs (x = 4%))

Figure 2 shows that using the irreversible dispersion method [6,7] of MW-CNTs inside polymers, it is possible to obtain homogenously dispersion of MW-CNTs inside polymers without agglomeration, and the best dispersion was observed inside silicone matrices. It is clear from the SEM images that the type of matrices directly impacts the dispersion ability of MW-CNTs even though the same method was used for the preparation of nanocomposites.

The gas sensitivity of three nanocomposites - Epoxy/x MW-CNT (x=4%), Silicone/x MWCNTs (x = 4%), PU/x MWCNTs (x = 4%)) was first tested in air, followed by resistance measurements in methane, propane, and carbon monoxide. The results of these measurements are summarized in Table 1. As seen from Table 1, for epoxy/x MW-CNTs nanocomposite only under propane gas was observed significant change, however for other gases was not observed any change. For silicone the same scene was observed. Moreover, silicone/xMW-CNTs nanocomposite is absolutely not sensitive to carbon monoxide gas, so can't be used for preparation of active sensitive element for preparation gas sensors for carbon monoxide gas. For PU/x MW-CNTs nanocomposite absolutely different values were observed and they are sensitive to methane and carbon monoxide gases. This table makes it very easy to determine useful and useless nanocomposites for gas-sensor applications.

CONCLUSION

This study analyzes the impact of polymer nature on the gas-sensor properties of the epoxy/ xMW-CNT (x = 2, 4, 8%), silicone/x MW-CNTs (x = 2, 4, 8%) and PU/x MW-CNTs (x = 8%) composites. Morphology analysis results proved that using the irreversible dispersion method, it was possible to increase the homogeneous dispersion of MW-CNTs inside polymers, which is different depending the type of polymers. It was revealed that depending on gas type as well as nature of polymer, they show sensitivity to gases with different way. For example, for epoxy nanocomposite sensitivity change was observed under propane, for silicone under propane but for PU under methane and carbon monoxide. Moreover, the resistance change for silicone and epoxy is in Ohm range, however for PU it is in KOhm range for all gases.

In conclusion, we can say that, as the nature of polymer impact to the gas-sensitive properties so high that, we will carry on our experiments in this field with other polymers too for finding the suitable nanocomposites which will be response for the three gases in the same time. This will open for us the possibility to prepare gas –sensitive elements which can work in a wide range of gases.

Table 1.

Gas-sensor properties (electrical resistance changes values) of the prepared samples in air, methane, propane, and carbon monoxide gases.

Samples	R, Ohm (in air)	R,Ohm (methane)	R,Ohm (Propane)	R, Ohm (Carbon monoxide)
PU/xMWCNTs (x = 4%)	$340.6*10^3$	$328.2*10^3$	$340.2*10^3$	$332.0*10^3$
Silicone /xMWCNTs (x = 4%)	$0.375*10^3$	$0.372*10^3$	$0.438*10^3$	$0.375*10^3$
Epoxy/xMWCNTs (x = 4%)	$0.633*10^3$	$0.620*10^3$	$0.582*10^3$	$0.630*10^3$

[1] *Verma G and Gupta A.* Recent development in carbon nanotubes based gas sensors. J Mater NanoSci 2022; 9: 03–12.

[2] *Guo S-Y, Hou P-X, Zhang F, et al*. Gas sensors based on single-wall carbon nanotubes. Molecules 2022; 27: 5381–539.

[3] *Chowdhury NK and Bhowmik B.* Micro/nanostructured gas sensors: the physics behind the nanostructure growth, sensing and selectivity mechanisms. Nanoscale Adv 2021; 3: 73–93.

[4] *Roy N, Sinha R and Daniel T.* Sensitive room temperature CO gas sensor based on MWCNT-PDDA composite. IEEE Sensors J 2020; 20: 13245–13252.

[5] *Zhang W-D and Zhang W-H.* Carbon nanotubes as active components for gas sensors. J Sens 2009; 2: 1–16

[6] *A.Huseynov, S. Mammadova, E. Zeynalov et al.* Impact of MW-CNT/polymer composites matrix type on the electrical andgas-sensitive properties. Fullerens Nanotubes and Carbon Nanostructures, 1, 1(2022)

[7] *S. Mammadova, T. Baba, T.Mori, A. Huseynov, E. Zeynalov.* Thermal Transport Properties of MWCNT Based Natural Azerbaijani Bentonite Ceramic Composites. International Journal of ThermoPhysics, 44, 91-117 (2023)

COMPARATIVE HEAT TRANSFER METHOD

N.M. ABDULLAYEV, S.R. AZIMOVA
Institute of Physics of Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Azerbaijan, Baku, H. Javid av. 131, Az-1143,
E_mail: sevinc_azimova_82@mail.ru

The research work is devoted to the measurement of the thermal conductivity of crystals, improvement of existing methods of thermal conductivity. A comparative method for measuring heat transfer is considered. Thermal conductivity of solid substances, their theoretical justification and method of implementation are shown. The given accuracy provided in the method is expected.

Keywords: absolute method, comparative method, general measurement, heat conductor.
PACS: 536.2

1. INTRODUCTION

Thermal conductivity is the process of transferring thermal energy from more heated parts of the body to less heated ones, carried out by randomly moving particles of the body or vibrations of the crystal lattice. This is the most important physical process: the nature of its flow determines the thermo physical properties of the material. The temperature gradient is a vector directed normal to the isothermal surface in the direction of increasing temperature and is numerically equal to the derivative of the temperature in this direction. In general:

$$T = \partial T\ (\partial n/\ \vec{n}_0) \qquad (1)$$

where $\vec{n}_0$- is a unit vector directed along the normal to the isothermal surface.

$$\nabla T = (\nabla T)_x = (\partial T/\partial x)\ \vec{\imath} \qquad (2)$$

Here $\vec{\imath}$ -is the unit vector in the direction of the x-axis. Obviously, for the chosen conditions

$$\nabla T = (\Delta T/d)\ \vec{\imath} = ((T_{hot} - T_{cold})\ /\ \mathrm{d})\ \vec{\imath} \qquad (3)$$

Thus, by forming a temperature difference between the faces of a material, we create a temperature gradient inside this material. In a particular case, the temperature gradient is a constant, i.e. the temperature changes uniformly and linearly when moving from the "hot" end (with temperature T_1) to the cold end (T_2). A state with a non-zero temperature gradient is thermodynamically non-equilibrium and, according to the second law of thermodynamics, the system will tend to move into thermodynamic equilibrium - a heat flow will occur - the process of energy transfer from the "hot" end to the "cold" end. The physical laws of this process depend on the properties of the material, as well as on the initial and boundary conditions [1]. Analogously, the dependences of total thermal conductivity in $Bi_2Te_{2.7+x}Se_{0.3}$ compounds were shown in the work [2]

The aim of the work is to develop a comparative thermal conductivity method for measuring the thermal conductivity of small crystals.

An overview of the methods available in this field was carried out. One of the disadvantages of most methods is that they are not absolute, so their implementation requires a reference sample, the thermal conductivity of which is known in advance and accurately. This significantly increases the measurement error.

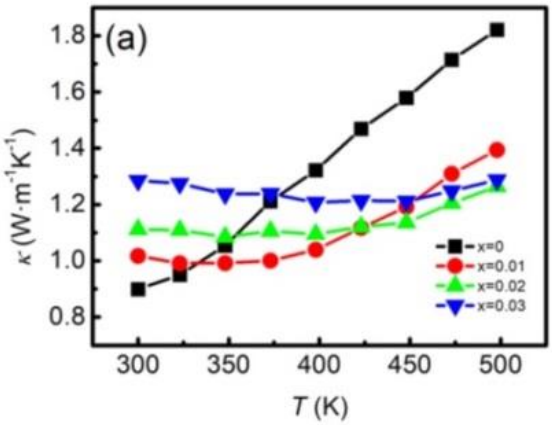


Fig. 1. Temperature dependence of thermoelectric properties of $Bi_2Te_{2.7+x}Se_{0.3}$, **a** total thermal conductivity κ [2].

Another drawback is the limitation of the range of materials under study and is due to the requirement that the thermal conductivity values of the test and reference samples are close, so the methods often do not provide the ability to measure samples with very different thermal conductions. An example is the State Standard units of thermal conductivity Standards 59-2007, which is based on the stationary method [3], where the unit of thermal conductivity is reproduced in limited ranges, W/(m·K), 0.1…5 and 5…20, while extended the relative measurement uncertainty is 0.8 - 2% [4].

One of the characteristics of the qualitative difference between semiconductors and metals is thermal conductivity. It is known that $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$ layered crystal remains one of the most popular and demanded materials in today's thermoelectric production. The problem with thermoelectrics is low

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

efficiency. Efficiency – Z varies depending on temperature (T) and for each degree (quality) is characterized by quality parameter - ZT:

$$ZT = \alpha^2 \sigma T/\lambda \quad (4)$$

Here, Z- efficiency, T - average temperature, α- Seebeck coefficient, σ - conductivity, λ- is the coefficient of thermal conductivity.

One of the ways to increase the ZT coefficient in thermocouples is to measure thermal conductivity [5].

For the measurements, samples of $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$ with different levels of additives were used. $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$ layered crystal has 0.1 - 0.7 mass percent nickel additive.

Fig. 2. Heat sink: 1- pictometer, 2- samples, 3- water cup, 4- penoplast holder with low thermal conductivity.

A new phase of $Ni_{1.297}Te$ grains and *Ni-Se-Te* chains were detected in the composition. No free nickel atoms were observed in its composition. The comparative thermal conductivity method was used to study the dynamics of thermal conductivity of the additive sample. Here, the method we have presented using a noncontact method from a distance has allowed the experiment to be carried out more accurately.

As can be seen from *fig. 2* , the method uses: a picometer, samples, a glass of water, a penaplast holder with low thermal conductivity.

The samples are placed in the numbered holes in the penaplas holder. The water in the glass is heated up to 40°*C*, and a plastic holder with crystals is placed on it. Two picometers are used to determine the thermal conductivity of the sample.

The advantage of this method for the determination of a small change in the thermal conductivity of additives intercalated in a small amount in the layers of the sample is undeniable.

CONCLUSİONS

With a specific implementation of the methods, the actual error will always be above the above assessment and in each particular case should be determined individually depending on the quality of performance. The method simultaneously measures the thermal conductivity of several samples with different thermal properties at once, that is, they provide an accurate thermo conductometric scanning operation, which is advantageous and significantly different.

[1] *M.V. Dorokhin, A.V. Zdoroveyshchev, Yu.M.Kuznetsov/* Measurement of the thermal conductivity by the method of stationary thermal flow, Compiled by: Workshop. – Lower Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2019. - 45 p.

[2] *Xi Chen, Fanggong Cai, Rong Dong, Xiaobo Lei, Runqing Sui, Lanxin Qiu, Zhili Zeng, Wei Sun, Hao Zheng, Qinyong Zhang/* Enhanced thermoelectric properties of n-type $Bi_2Te_{2.7}Se_{0.3}$ for power generation, Nature Journal of Materials Science: Materials in Electronics 2020, Springer ,https://doi.org/10.1007/s10854-020-03057-8.

[3] *N.A. Sokolov*. Method for determining studies of thermal conductivity of materials, Pat. 2276781 Russian Federation, IPC G01N 25/00, applicant and patent owner tel Federal State Unitary Enterprise "All-Russian Research Institute of Metrology them. named after D. I. Mendeleev." - No. 2004133748; dec. 11/16/2004; publ. May 20, 2006 Bull. No. 14. - 7 p.

[4] *V.P. Khodunkov, Yu.P. Zarichnyak*. New stationary methods for measuring thermal conductivity of solid bodies, DOI: 10.17277/vestnik.2022.03.pp.455-465.

[5] *C. Gayner, K.K. Kar*. Recent advances in thermoelectric materials, Prog. Mat. Science 83, p.330, 2016.

I-V CURVE OF GRANULAR SUPERCONDUCTOR USING LONG JOSEPHSON JUNCTION APPROACH

I.N. ASKERZADE[a,c], D. MATRASULOV [b], R.T. ASKERBEYLI[d], M. SALATI[a]

[a] *Department of Computer Engineering and Center of Excellence of Superconductivity Research, Ankara University, TR06100, Turkey*

[b] *Turin Polytechnic University in Tashkent, 17 Niyazov Str., 100095, Tashkent, Uzbekistan*

[c] *Institute of Physics, H.Cavid 131, Baku, AZ1143, Azerbaijan*

[d] *Dept. of Numerical Methods of Karabuk University, Turkey*

Email.: imasker@eng.ankara.edu.tr

We calculate I-V curve of granulated superconductor using magnetic-field dependent $I_c(H)$ patterns for junctions with identical, thick, periodically arranged defects. We use corresponding analytical expression for a wide range of parameters, due to increased characteristic length in such structures. The field dependence of the critical current density and pinning potential are presented. The results are in agreement with another calculations.

Keywords: granular superconductors, I-V curve, long junction, sine-Gordon equation
PACS: 03.75.Lm, 74.80.Bd, 74.90+n

INTRODUCTION

Granular superconductivity was discovered many years ago in study [1] (see also [2]). With discovery of new classes of superconducting compounds [see, Ref. 3,4] interests to study of granular compounds becomes more actual. In study [5] authors investigate the electronic specific heat C as a function of temperature T. Model developed in this paper related with mesoscopically disordered s-wave superconductor and treated as a spatial ensemble of domains with continuously varying superconducting properties. Calculation of the critical current density j_c of granulated superconductors (regarded as an assembly of superconducting grains being connected by weak (Josephson links) is complex problem. When solving this problem in a general case one should take into account not only the spread of the coupling energy, over Josephson junctions but also the correlation of the order parameter phases in different grains. The task may be significantly simplified if we neglect the latter: in this case currents in adjacent contacts may be regarded as mutually independent.

The model of the field dependence of the critical current density in superconducting compounds takes into consideration both possible mechanisms. Recent progress in technology makes it is possible to fabricate Josephson [6-7] with highly nonuniform critical current density, in which artificial defects, of virtually any desired strength and geometry, areadded to the junction barrier [8–9]. Most studies explore the properties of junctions with periodic arrangements of linear (columnar) defects which have the full width of the junction. It is clear that the understanding of the behaviour of magnetic-field Ic(H) patterns for Josephson junctions with nonuniform critical current density is important. It is use important to get an analytical expression for some model with critical current densities, which captures some of the primary qualitative features seen in experiments. Here, we adapted a simple calculation an analytical magnetic-field Ic(H) expression for a long Josephson junction with periodically alternating piecewise constant critical current density, within the uniform magnetic field approximation [10]. It is useful to note that anharmonic effect in current-phase relation [11,12] was considered in study [13].

BASIC EQUATIONS

Calculation of I-V curve of granular superconducting compounds at currents exceeding the critical current Icr is complicated by the fact that the resistive elements of such a system (intergrain junctions) are essentially nonlinear. It can be easily seen from a simple and frequently used model which regards an high-temperature superconductors and related compounds ceramic as a set of ID "threads" connected in parallel and composed of a large number of weak links connected in series. In this case the voltage V at the ends of a "thread" with a current I is shown in Fig. 1.

The voltage drop V across a Superconductor/Normal metal/Superconductor junction with critical current I_c and normal resistance R_N is described by the function [14]

$$V(i) = N_k v_c \int_0^i \sqrt{(i/i_c)^2 - 1}\, f(i_c)\, di_c \qquad (1)$$

where i is the dimensionless current flowing through the junction. Distribution function of critical current $f(ic)$ is determined by technological processes and external magnetic field. Since for nonlinear systems the superposition principle is invalid the utilization of well-developed percolation and effective medium methods [14] is inapplicable for the calculation of the conductance of such a system.

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

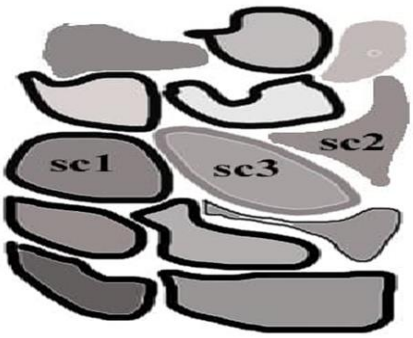


Fig1 Granular superconducting model.

The normal resistance r_N of a contact is proportional to its thickness d_N and for "thick" contacts (see, for example [6]) depends only weakly i_c . If we neglect this dependence and use the distribution similarly to [14], we can get from Eq. (1) under linearization of I-V curve

$$V(i) = i^{n+2}, \ \ i < i0 \qquad (2a)$$

$$V(i) = i, \ \ i \gg i0 \qquad (2b)$$

As followed from last Eqs., a one-dimensional chain of Josephson links possesses a power-law I-V curve at moderate currents, is characteristic becoming linear for large currents. The natural current scale here is the maximum critical current of Josephson coupling. An attractive feature of the model in question is, apart from its simplicity, the feasibility of reconstructing the form of the junction distribution function $f(i_c)$ over the critical currents from the shape of the I-V curve (Ref. 14).

It is interesting to investigate the influence of external magnetic in I-V curve of granulated superconductor. It is well known, that the critical current of single short Josephson junction (the size of junction is small in respect penetration depth λj [6]) in extenal magnetic field changes as

$$\frac{I_c(H)}{I_{co}} = \left| \frac{sin\frac{\pi\Phi}{\Phi_0}}{\frac{\pi\Phi}{\Phi_0}} \right| \qquad (3)$$

Using Eq. (3) and (1) leads to result for I-V curve of granulated superconductors

$$V(i) = i^{n}, \ \ B = 0 \qquad (4a)$$

$$V(i) = i^{0.5n}, \ \ B > Bc \qquad (4b)$$

However, this appoach seems oversimplified. In Ref. [10] author apply the analytical expression to Josephson junctions with thick identical periodically arranged defects, and compare it with numerical results obtained with the sine–Gordon equation. It was discussed the range of validity of the analytical Ic(H) pattern in terms of the increased characteristic length λ_{eff}. The dependence of λ_{eff} on the geometrical parameters is determined using qualitative arguments, and also self-consistently, from the length scale of soliton-type fluxon solutions of the sine-Gordon equation. It is clear that using more realistic form of function for critical current in the case of peridically modulated long Josephson junctions will lead to applicable results. Thus in this paper we develope the model granulated superconductor using magnetic-field dependent $I_c(H)$ patterns for junctions with identical, thick, periodically arranged defects.

RESULTS AND DISCUSSIONS

In paper [10] a model dependence critical current density Jc(x) shown schematically in fig. 2, for a Josephson junction of length L, width W and penetration depth λj.

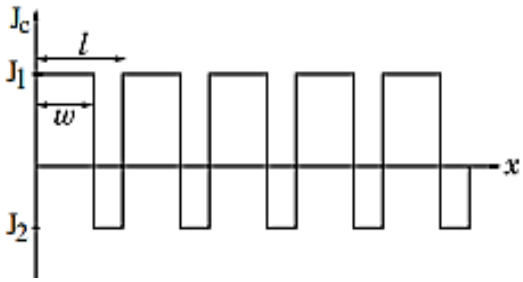


Fig. 2. Critical current density dependence in long junction with N=5

The critical current density alternates sequentially, taking two values J_1 and J_2, which may differ both in magnitude and sign (n = 1,..., N). Thus, we have that Jc = J_1 within N intervals of length w, and Jc = J_2 within N intervals of length w, while the junction length is L = N. The calculated Ic(H) dependence in greneral case current distribution leads to result [10]

$$I_c(H) = LW \frac{\sin\pi\frac{\Phi}{\Phi_0}}{\pi\frac{\Phi}{\Phi_0}} \frac{1}{\sin\pi\frac{\Phi}{\Phi_0 N}} \left\{ J_1^2 \sin^2\pi\frac{r\Phi}{N\Phi_0} + J_2^2 \sin^2\pi\frac{r'\Phi}{N\Phi_0} - -J_1 J_2 \left[\sin^2\pi\frac{r\Phi}{N\Phi_0} - \sin^2\pi\frac{\Phi}{N\Phi_0} + \sin^2\pi\frac{r'\Phi}{N\Phi_0} + \right] \right\}^{1/2} \qquad (5)$$

where the following notations were introduce

$$r = \frac{w}{l} \ \ r' = 1 - r = 1 - \frac{w}{l} \qquad (6)$$

For J_2=0 general Equation reduces to

$$\frac{I_c(H)}{I_{co}} = \left| \frac{sin\frac{\pi\Phi}{\Phi_0}}{\frac{\pi\Phi}{\Phi_0}} \right| \left| \frac{sin\frac{\pi r\Phi}{N\Phi_0}}{r\frac{\pi\Phi}{N\Phi_0}} \right| \ , \qquad (7)$$

with

$$I_{co} = A(rJ_1 + r'J_2) \qquad (8)$$

The second factorin Eq. (7) in contrast to Eq. (3) is related to the collective interaction of the Josephson fluxons with arbitrary array of defects.

Changing of power exponent I-V curve in Eq. (4) taking into account modulated dependence critical current density in long Josephson junction versus of geometrical parameter presented in Fig. 3.

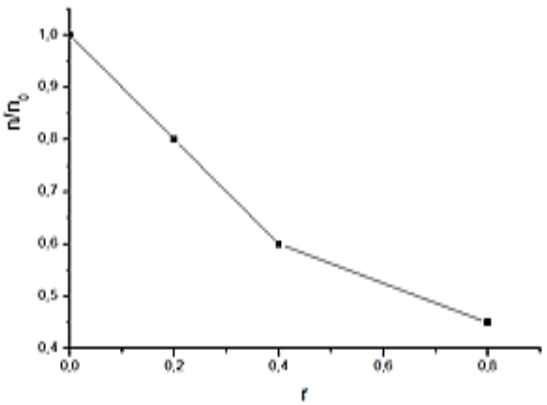


Fig.3. Power exponent *n* in I-V curve of granulated superconductor using long junction limit in respect to short junction limit n_0 versus geometrical factor.

Decrasing of geometrical parameter r lead to the case short Josephaon junction limit. The zero-field critical current density in a defected junctions reduces futher with respect in a uniform junction with decreasing geometrical parameter r. As a result power exponent *n* in I-V curve of granulated superconductor using long junction limit also decreased in respect to short junction limit n_0. The value of this pareameter in the case cuprate compounds is about 2.6. Magnetic field dependence of exponent n_0 was investigate in detail for cuprate compounds in [15]. Detail analysisin our case also shows that the power exponent *n* in the case long Josephson junction with modulated critical current density as *1/B*, in similar way to short junction limit.

Thus, in this study it was investigated the I-V curve of granulated superconductor using magnetic-field dependent $I_c(H)$ patterns for junctions with identical, thick, periodically arranged defects. The analytical expression was used for a wide range of parameters, due to increased characteristic length in such structures. The field dependence of the critical current density is analyzed.

This work is supported by joint grant of the TUBITAK (Ref. Nr. 221N123) and Ministry of Innovative Development of Uzbekistan (Ref. Nr. MRT-2130213155).

[1] *Abeles B, et al*, 1967, Phys. Rev Letters 18,902
[2] *Deutscher G.*, 2021, Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 34, 1699
[3] *Askerzade I.*, Unconventional Superconductors: anisotropy and multiband effects, 2012 (Springer, Berlin), 177 p.
[4] *Kruchinin S* , 2010, Modern Aspects Of Superconductivity: Theory of Superconductivity,219 p.
[5] *Gabovich A.M. et al* , 2002, Low Temperature Physics 28, 803
[6] *Likharev K.*, Introduction into Dynamics of Josephson junctions and circuits, New York, Gordon Breach(1986) 586 p.
[7] *Askerzade I., Bozbey A.,Canturk M.*, Modern aspects of Josephson Dynamics and superconductivity electronics, 2017, (Springer, Berlin), 211 p., doi: 10.1007/978-3-319-48433-
[8] *Malomed B.A., Ustinov A.V.*, 1990. Phys.Rev. B 41,254
[9] *Larsen B.H. et al*, 1994.Phys Lett. A, 193,359
[10] Lazarides N.,2004. Supercond. Sci. and Technology,17,585.
[11] *Askerzade I.N., Kornev V.K.*, 2006, Radiotekhnika i Elektronika, 51, 393.
[12] *Askerzade I.N.*, 2004, Journal of the Korean Physical Society 45, 475
[13] *Askerzade I.N., Salati M.*,2022, Advanced Physical Research,4,16.
[14] *Meilikhov E.Z.*,1993, Usp. Fiz. Nauk, 163,27.
[15] *Fehrenbacher R.et al*, 1992, Phys. Rev. B65,5450.

HALF-METALLIC FERROMAGNETISM IN V-DOPED ZnSe: DFT STUDY

VUSALA NABI JAFAROVA
Azerbaijan State Oil and Industry University,
20 Azalig ave., Az-1010, Baku, Azerbaijan
e-mail: vusale.cafarova@asoiu.edu.az

The electronic and magnetic properties of V-doped ZnSe have been calculated within LSDA+U method. The ab-initio calculations are carried out using Atomistic ToolKit code, based on the density functional theory. The band structure and density of states calculations showed the half-metallic behavior for 12.5 %, 6.25 %, 3.125 %, 1.5625 % concentrations in ZnSe:V. The magnetic moment of Zn1-*x*V*x*Se supercell is 3 μB. The defect formation energies were calculated and obtained that ferromagnetic phase is more stable than antiferromagnetic state. The Curie temperatures are estimated for Zn1-*x*V*x*Se supercell for all studies concentrations. The results indicate that these materials are high Curie temperature DMSs. First-principles studies show that V-doped ZnSe are promising materials for spintronics.

Keywords: ZnSe:V, DMSs; ferromagnetic, half-metal
PACS: 61.43.Bn; 71.20.-b; 61.72.-y

1. INTRODUCTION

Diluted magnetic semiconductors known as semimagnetic compounds which a managed fraction of nonmagnetic cations are replaced by 3*d* transition metals (TMs). TM^{2+} magnetic ions doped II-VI semiconductor compounds are counted as promising optoelectronic materials in the mid-IR region, low energy optical phonon cut-off, and large emission cross-sections [1]. The development of Zn-based DMSs II-VI group show magnificent properties, which have huge opportunity to be applied in spintronics [2]. These materials have attracted a lot of attention as materials for spintronic applications [3] because of their half-metallic ferromagnetic behaviors at Curie temperatures higher than room temperature [4]. Maksimov *et al.* [5] experimentally studied the V-doped ZnSe cubic crystals and established that in $Zn_{1-x}V_xSe$ (x=10%) single crystal vanadium ions dissolved in zinc selenide in amounts corresponding to high doping levels.

Zinc selenide a semiconductor, can operate as a half-metallic compound and is a helpful material for optoelectronic and spintronic applications. Zinc selenide is a nonmagnetic material with a direct band gap of 2.70 eV and has great potential for a diversity of optical and electro-optical devices, such as short wavelength lasers, blue-green laser diodes, pure green light-emitting diodes, microwave and terahertz devices, solar cells and tunable mid-IR laser sources [6].

2. CALCULATION METHOD

The calculations were carried out based on the Density Functional Theory (DFT). The geometric model for ZnSe:V is built by replacing host Zn atoms with V. The ferromagnetism in investigated systems at various impurity concentrations have been investigated within the Local Spin Density Approximation (LSDA) as implemented in the Atomistic ToolKit software from Mulliken population analysis. Hubbard U semiempirical corrections (4.5 eV on *d*-states of Zn and 3.8 eV on *p*-states of Se) are used for correct band gap prognosis for bulk ZnSe [7]. The simulations are carried out for different supercells generated with the initial lattice parameters a=b=3.98 Å and c=6.53 Å [8]. One and two impurity atoms added at Zn cation sites in 32-, 64-, 128-, and 256-atom supercells to study the ferromagnetism of V-doped ZnSe. A *k*-sampling Monkhorst-Pack grids 5×5×5 and 3×3×3 used and all atomic positions have been geometry optimized. The valence electron configurations which included 12 electrons for Zn [Ar] $+3d^{10}\ 4s^2$, 6 electrons for Se [Ar] $+4s^2\ 4p^4$, and 5 electrons for V [Ar] $+3d^3\ 4s^2$ were taken into consideration.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Vanadium-doped ZnSe

For this to study the magnetic behavior of dopants, have been studied two Zn atoms of the 32-, 64-, 128- and 256-atom supercells with V^{2+} suitable to the impurity concentrations x=12.5 %, 6.25 %, 3.125 %, and 1.5625 %. Spin-polarized simulations have been implemented using LSDA+U to study the electronic properties of the undoped and V^{2+} doped systems. Spin-polarized band structures and total density of states (TDOS) for undoped $Zn_{16}Se_{16}$ system are given in Fig. 1, correspondingly to the spin-up and spin-down states. The calculated band gap of undoped ZnSe 32-atom supercell is 2.7 eV which very closer to experimental results [9] and the spin-up and spin-down band structures are same.

The spin-polarized band diagrams and TDOS of $Zn_{1-x}V_xSe$ alloys with x=6.25 % concentration are illustrated in Fig. 2 and illustrate that the spin-up bands have a semi-metallic nature due to the top of valence band cutting the Fermi energy level with availability of a gap between the valence and conduction bands.

The obtained density of states showed hybridization between the Se *p*- and V *d*-states, which increased the antibonding state in the gap that stabilized the FM state associated to the double exchange mechanism. To understand the origin of the spin-polarized notion of

the density of states (DOS) in Fig. 3, we analyzed the partial DOS of investigated systems as presented in Fig. 4. These diagrams for both systems presented a similar behavior with high-spin state. They illustrate that the valence band formed mainly from Se *p*- and V *d*-states, which is close to the Fermi energy level, the DOS derived from 3*d*-states of impurity atom. At the Fermi level we have only up spin states, i.e., so called half-metallic situation is realized. From first-principles calculations found that the half-metallic state can be obtained in V-doped ZnSe systems: the dopant *p*- and *d*-states are partially occupied.

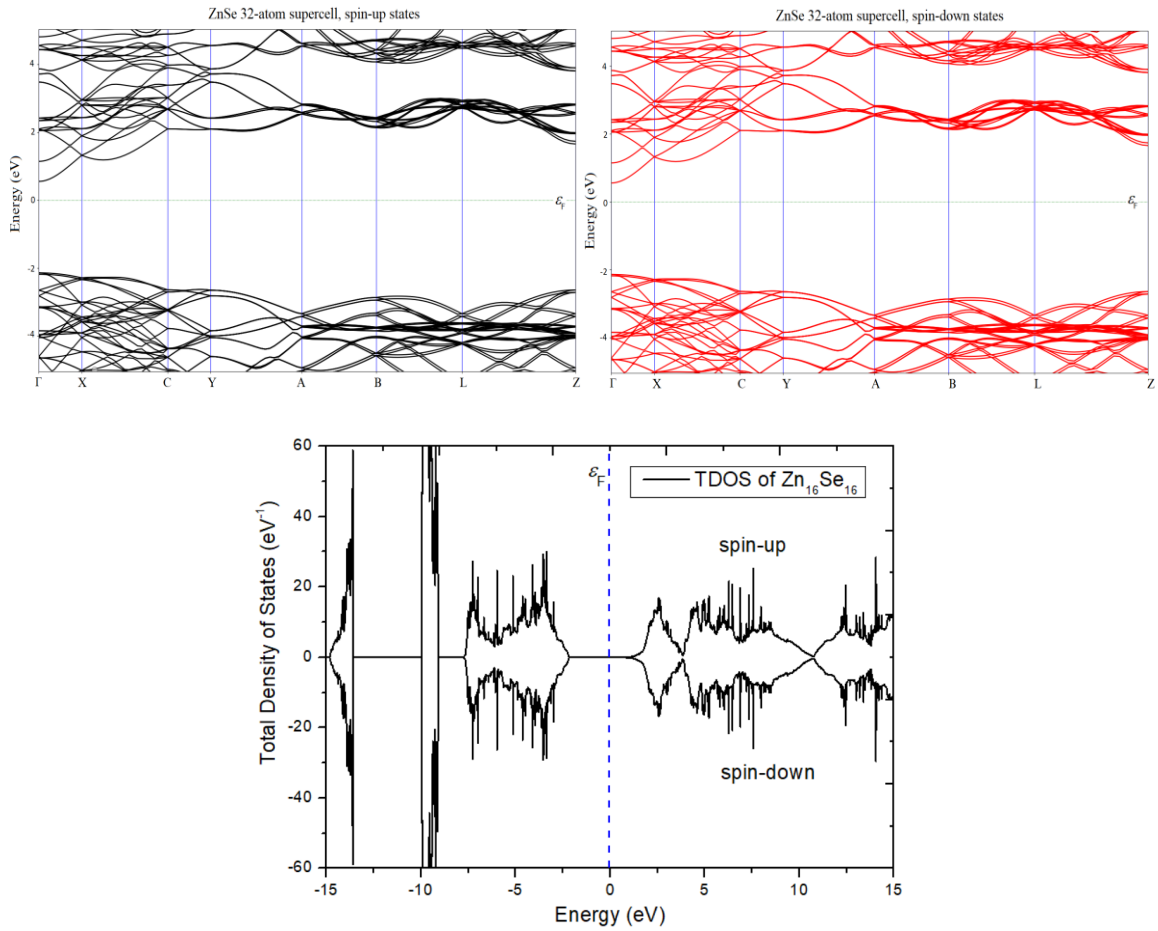


Fig.1. Spin-polarized band structures and TDOS for $Zn_{16}Se_{16}$ correspondingly to spin-up and spin-down states.

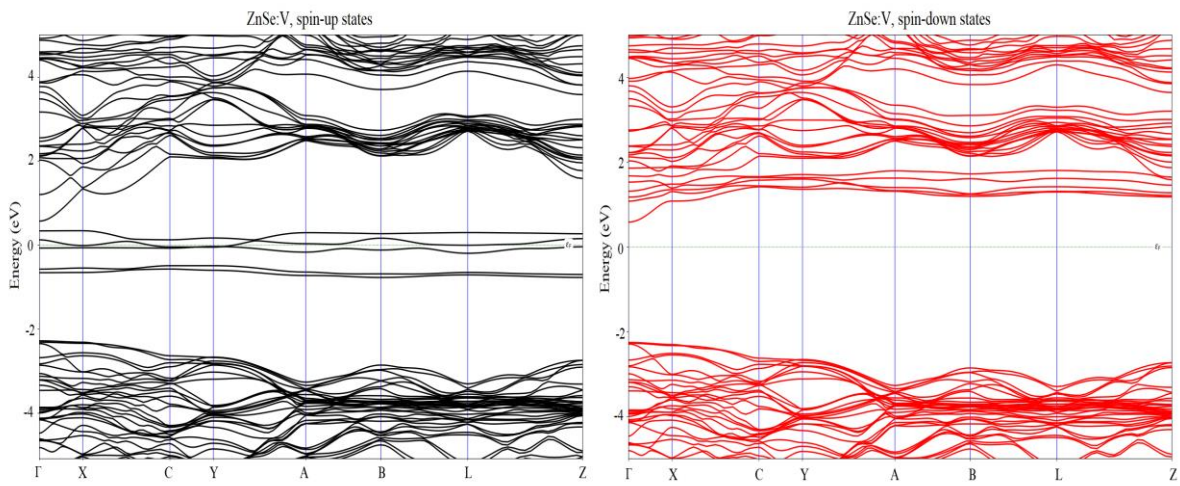


Fig. 2. Spin-polarized band structures for $Zn_{15}V_1Se_{16}$ correspondingly to spin-up and spin-down states.

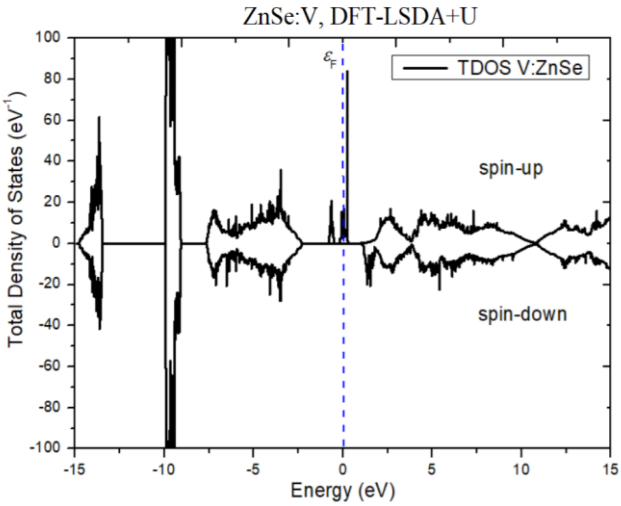


Fig. 3. Total DOS for $Zn_{15}V_1Se_{16}$ with LSDA+U.

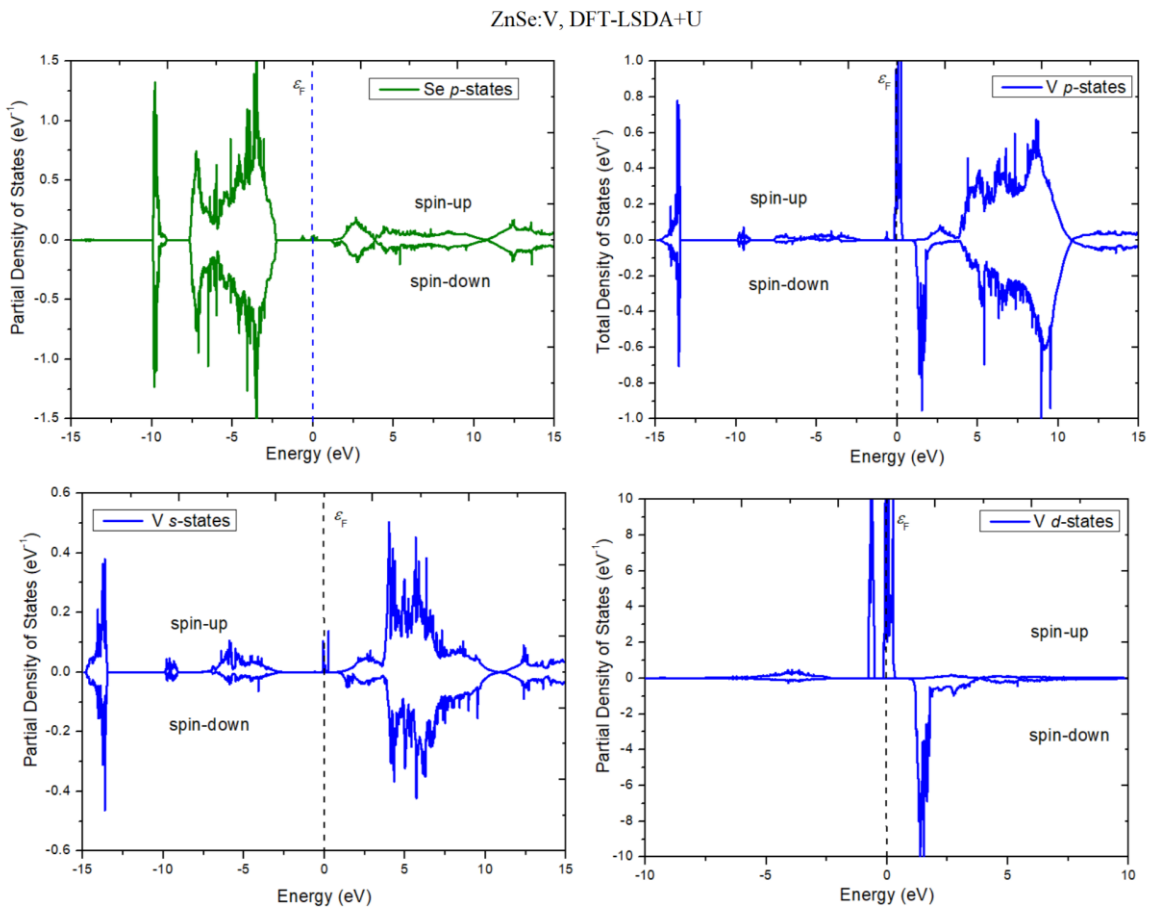


Fig. 4. Partial DOS for $Zn_{15}V_1Se_{16}$ with LSDA+U.

Table 1.

Bang gaps values for different V-ZnSe systems.

System	MP grid	IC [%]	Band gap [eV]	
			up	dn
$Zn_{15}V_1Se_{16}$	5×5×5	6.25	1.69	2.88
$Zn_{14}V_2Se_{16}$	5×5×5	12.5	1.84	3.00
$Zn_{30}V_2Se_{32}$	5×5×5	6.25	1.62	2.88
$Zn_{62}V_2Se_{64}$	3×3×3	3.125	1.53	2.79
$Zn_{126}V_2Se_{128}$	3×3×3	1.5625	1.45	2.744

First-principle computed spin-polarized electronic structures and DOS calculations show that the V-doped ZnSe materials are half-metallic, and this fact corresponding to reported result in Ref. [10]. First-principles computed value of electronic band gaps of V-doped 32-, 64-, 128-, and 256-atom supercells are listed in Table 1. Valence band edges are created due to hybridization between Se-3*p* and V 3*d* (spin-up) states, although the conduction band edges are the result of Zn-4*s* spin-down states. The magnetic moments for V dopants, and its neighboring host atoms have been calculated in detail using DFT-LSDA+U method. For recent simulations, the FM and AFM states of V doped ZnSe supercells can be described as $Zn_{1-x}V^{\uparrow}_{x/2}V^{\uparrow}_{x/2}Se$ and $Zn_{1-x}V^{\uparrow}_{x/2}V^{\downarrow}_{x/2}Se$, respectively.

The total energy differences beetween AFM and FM alignments show FM stability of ZnSe:V doped systems. Only the result of the total energy differences beetween AFM and FM alignments for $Zn_{126}V_2Se_{128}$ supercell show stability of AFM state.

The spin-polarization structure of $Zn_{15}V_1Se_{16}$ supercell is shown in Fig. 5. In this spin-polarization structure, the magnetic moments of atoms are indicated by black arrows, which these are significant values than other host atoms.

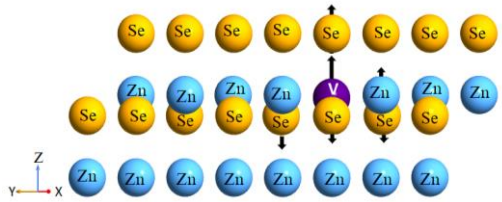


Fig. 5. The spin-polarization of $Zn_{15}V_1Se_{16}$ supercells.

The obtained values of total magnetic moments for ZnSe:V systems are 3.0 μ_B, respectively, which in a good agreement with the results of Ref. [11]. Khatta et al. [11] first-principles studied the magnetic properties of $Zn_{1-x}V_xSe$ ternary alloys (16-atom supercell) in zinc-blende phase and the obtained values of total magnetic moment is ranging from 2.78 to 3.0 μ_B, for different impurity atom concentrations (x=0.125÷0.875).

In the case of V-doping ZnSe the obtained value of magnetic moment per V, dopant atom is found to be 2.9 μ_B, which in good agreement reported result (2.84 μ_B) in Ref. [11]. The main contribution to the magnetization from d-states of V: 2.313 μ_B, the small positive and negative contribution from 15 Zn (0.216 μ_B) and 16 Se (-0.206 μ_B) atoms, respectively. First-principle calculations show that the FM phase in V-doped ZnSe systems is more stable than the AFM phase which is in agreement in Ref. [10].

3.2 FORMATION ENERGIES AND CURIE TEMPERATURES OF ZnSe:V

It is known that the stability of TM doped systems can be defined by the defect formation energy of structure. Formation energy calculations are performed for the fully relaxed different defected systems. The formation energy calculations were studied for enough large systems containing 32, 64, 128, and 256 atoms.

The formation energy of V^{2+} doped ZnSe systems is assigned as the energy needed to introduce such impurity in bulk ZnSe and can be calculated by the following expression [1]

$$E_{form.} = \frac{1}{N}\left[E_{tot.}(Zn_{1-x}V_xSe) - E_{tot.}(ZnSe) + n\cdot\mu_{Zn} - n\cdot\mu_V\right] \quad (1)$$

where N is the total number of atoms in supercell, $E_{tot.}(Zn_{1-x}V_xSe)$ and $E_{tot.}(ZnSe)$ are the total energies of doped and pure ZnSe systems having the same dimension to supercell, correspondingly. Terms n, μ_{Zn}, and μ_V are the number of doping atoms, the chemical potentials of Zn and V atoms, respectively.

The Curie temperatures of V-doped ZnSe systems are estimated by using the Heisenberg model in the Mean-Field Approximation (MFA) [6]

$$T_C = \frac{2}{3}\frac{\Delta E}{k_B x}, \quad (2)$$

where k_B and x are the Boltzmann constant and impurity atom concentration, respectively.

In this work, the defect formation energies and the Curie temperatures are estimated for different $Zn_{1-x}V_xSe$ systems using the reported results of energy difference between the AFM and FM alignments, and listed in Table 2.

Table 2.
The calculated values of formation energies, and the Curie temperatures for $Zn_{1-x}V_xSe$.

System	x, %	$E_{form.}$[eV]	T_C [K]
$Zn_{14}V_2Se_{16}$	12.5	75	4065
$Zn_{30}V_2Se_{32}$	6.25	37.5	552
$Zn_{62}V_2Se_{64}$	3.125	18.75	58

The obtained formation energy values of ZnSe:V are positive, indicating that it is hard to incorporate V atom to ZnSe, which agrees with known experimental results [12]. In Ref. [10] the authors have predicted a high Curie temperature for V-doped ZnSe systems, which are in agreement with results of current work. From Table 2, the Curie temperature is found to decrease with the decreasing of impurity atom concentrations for ZnSe:V and this material is suitable materials for application in spintronics.

4. CONCLUSION

In order to promote suitable semiconductor materials for spintronics devices, this study aims to evaluate the magnetic properties of the V-doped ZnSe. Using an accurate DFT-LSDA+U approach, have been explored the spin-polarized electronic and magnetic properties of $Zn_{1-x}V_xSe$ for x=12.5 %, 6.25 %, 3.125 %, and 1.5625 %. While the introduction of V^{2+} ions in the doped ZnSe systems change the TDOS and found the half-metallic ferromagnetic coupling. The obtained value of total magnetic moment has been found to be 3.0 μ_B for $Zn_{1-x}V_xSe$, and the mainly contribution to the

magnetization comes mostly from *d*-states of impurity atom. Results of the energy differences between the AFM and the FM states for both systems nearly represent a stable FM state.

[1] *J. Dai, et al.*, Results in Physics, 2019, v.15, p.102649.

[2] *O. Cheref, et al.*, J. Supercond. and Novel Magn., 2018, v.32, p.1.

[3] *I. Zutic, J. Fabian, S.D. Sarma*, Rev. Mod. Phys., 2004, v.76, p.323.

[4] *K. Sato, H. Katayama-Yoshida*, Jpn. Appl. Phys., 2001, v.40, p.L485.

[5] *V.I. Maksimov, S.F. Dubinin, and T.P. Surkova*, Phys. Solid State, 2014, v.56, p.2393.

[6] F. *Goumrhar, et al.*, Comp. Condensed Matter., 2018, v.15, p.15.

[7] *V.N. Jafarova, H.S. Orudzhev*, Sol. State Commun., 2021, v.325, p.114166.

[8] *R.W.G. Wyckoff*, Crystal Structures, 1963, v.1, p.239.

[9] *D. Theis*, Physica Status Solidi B, 1977, v.79, p.125.

[10] *K. Sato and H. Katayama-Yoshida*, Phys. Stat. Sol (b), 2002, v.229, p.673.

[11] *S. Khatta, S.K. Tripathi, S. Prakash*, Appl. Phys. A, 2017, v.123, p.:582-1.

[12] *U. Demirbas, A. Sennaroglu, M. Somer*, Opt. Mater., 2006, v.28, p.231.

HEAT CAPACITY OF ONE-DIMENSIONAL KANE OSCILLATOR

A.M. BABANLI
Department of Physics, Süleyman Demirel University, 32260 Isparta, Turkey
E-mail: arifbabanli@sdu.edu.t

We investigate the one-dimensional Kane oscillator in a thermal bath. We found that the heat capacity is four times greater than the heat capacity of the one-dimensional harmonic oscillator for higher temperatures.

Keywords: Kane oscillator, quası-classıcal approxımatıon, confinement of quantum dots
PACs: 71.24.+q, 73.22.Fg, 73.61.Ey.

1. INTRODUCTION

It is well known that the exact energy eigenvalues of the bound state play an important role in quantum mechanics. The non-relativistic harmonic oscillator remains the most typical example of these solvable systems and several authors have attempted to formulate for it an analogous relativistic extension.
This has led to the construction of the so-called Dirac oscillator, as initially introduced by Ito et al.[1] and later revived by Moshinsky and Szczepaniak.[2]. They gave it the name Dirac oscillator because it reduces to the standard harmonic oscillator with a strong spin-orbit coupling in the non-relativistic limit. The parabolic confining potential can be introduced through the so-called minimal substitution [2]:

$$\vec{p} = \vec{p} - i\beta\omega\vec{r} \tag{1}$$

where β is the diagonal matrix with the elements ±1. Here, we applied the above approach in deriving the oscillatory equation from the Kane 6-band Hamiltonian, in which the interaction between the valence and conduction bands is considered through a single matrix element of the Kane parameter P [3]. We referred to the obtained equation as the Kane oscillator by analogy with the Dirac oscillator. In the case Dirac equation, we do not include a harmonic potential in the usual way, as we do for the non-relativistic quantum mechanical harmonic oscillator. Instead, we start postulating a rather odd form for vector potential.
The energy spectrum of electrons in narrow-gap semiconductors (NGS) is analogous to that of relativistic electrons in a vacuum [4]. The energy spectrum and wave functions of the Kane oscillator were determined in the paper [5].
The paper [6] proposed a class of exactly solvable relativistic systems and found that the generalized (1 + 1)- dimensional Dirac oscillator in an electric field. In the paper **[7] authors were** considering the thermal properties of one-dimensional Dirac in the framework of the theory of superstatistics. The paper [8] analyzed the one-dimensional Dirac oscillator in a thermal bath and found that the heat capacity is two times greater than the heat capacity of the one-dimensional harmonic oscillator for higher temperatures.
Authors of the paper [9] studied (2+1)-dimensional Dirac oscillator in the presence of a transverse external magnetic field by defining suitable creation and annihilation operators in terms of properly chosen canonical pairs of coordinates and momenta.

2. THEORY

The non-relativistic harmonic oscillator potential is used for describing the confinement of quantum dots [10]. In this paper, we analyze the thermodynamic properties of a one-dimensional Kane oscillator. The Kane equations described the spectra of carriers in A_3B_5 type semiconductors. In the three-band Hamiltonian, the valence and conduction bands interaction is taken into account via the only matrix element. Let us consider the case in plane wave vector $k_x = k_y = 0$. For these states, the Kane Hamiltonian has the form [3,5]:

$$H = \begin{pmatrix} E_g - E & 0 & 0 & \sqrt{\frac{2}{3}}Pk_z & 0 & 0 \\ 0 & E_g - E & 0 & 0 & \sqrt{\frac{2}{3}}Pk_z & 0 \\ 0 & 0 & -E & 0 & 0 & 0 \\ \sqrt{\frac{2}{3}}Pk_z & 0 & 0 & -E & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{\frac{2}{3}}Pk_z & 0 & 0 & -E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -E \end{pmatrix} \tag{2}$$

Here P is the Kane parameter, E_g the band gap energy $k_z = -i\partial_z$. The zero energy is chosen at the bottom of the conduction band. Replacing operator

$$k_z \to k_z + i\beta\frac{m_e\omega}{\hbar}z \tag{3}$$

where

$$\beta_{11} = \beta_{22} = 1, \beta_{33} = \beta_{44} = \beta_{55} = \beta_{66} = -1 \tag{4}$$

The wavefunctions of the Hamiltonian in equation (2) can be expressed as a four-spinor wavefunction $\Psi = (\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6)^T$. By solving the Kane equation $(H - E)\Psi = 0$, we obtain the following two equations for heavy holes, electrons, and light holes:

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

$E_{hh}=0$

$$\left(E_g - E + \frac{2}{3}\frac{P^2}{E}\left(k + i\frac{m_e\omega}{\hbar}z\right)\left(k - i\frac{m_e\omega}{\hbar}z\right)\right)\Phi_{1,2} = 0$$

The energy spectrum of the Kane oscillator is 2 times fold degenerate. Taking into account relationships [5]

$$\frac{2P^2}{3E_g} = \frac{\hbar^2}{2m_e} \tag{5}$$

we obtain

$$\left(\frac{(E_g - E)E}{E_g} + \left(\frac{P_z^2}{2m_e} + \frac{m_e\omega^2}{2}z^2 - \frac{\hbar\omega}{2}\right)\right)\Phi_{1,2} = 0 \tag{6}$$

This equation is similar to the Schrödinger equation for a one -dimensional harmonic oscillator, whose eigenvalues are given by

$$\frac{(-E_g + E)E}{E_g} + \frac{\hbar\omega}{2} = \hbar\omega\left(n + \frac{1}{2}\right) \tag{7}$$

From Eq. (7) we get

$$\frac{(-E_g + E)E}{E_g} = \hbar\omega n \tag{8}$$

If we choose zero of energy in the middle of the energy gap $E \to E + {}^{E_g}/_{2}$, the energy levels of electrons and light holes

$$E_{e,lh} = \pm\sqrt{\frac{E_g^2}{4} + n\hbar\omega E_g} \tag{9}$$

Given the energy spectrum of electrons, we can define the partition function as a sum of all possible states of the system

$$Z = \sum_{n\sigma} e^{-\beta E_{n\sigma}} = 2\sum_n e^{-\beta\sqrt{\frac{E_g^2}{4} + \hbar\omega E_g n}} \tag{10}$$

where $\beta = \frac{1}{k_B T}$, k_B is the Boltzmann constant and T is the thermodynamic equilibrium temperature, and factor 2 considers degeneracy for the spin. To evaluate this function, we use the Euler-MacLaurin formula defined as follows [11]:

$$\sum_{n=0}^{\infty} f(n) = \frac{1}{2}f(0) + \int_0^{\infty} f(x)dx - \sum_{p=1} \frac{1}{(2p)!}B_{2p} f^{(2p-1)}(0) \tag{11}$$

where are the B_{2p} Bernoulli numbers, $f^{(2p-1)}$ is the derivative of order (2p − 1). As a result, for the Kane oscillator statistical sum, we get:

$$Z = 2e^{-\beta\sqrt{b}}\left(\frac{1}{2} + \frac{2}{a\beta^2} + \frac{2\sqrt{b}}{a\beta} + \left(\frac{a}{24\sqrt{b}} - \frac{a^3}{1920b^{5/2}}\right)\beta - \frac{a^3}{1920b^2}\beta^2 - \frac{a^3\beta^3}{1920b^{3/2}}\right) \tag{12}$$

where $a = \hbar\omega E_g, b = \frac{E_g^2}{4}$. The heat capacity can be determined from the partition function [12],

$$C = k_B\beta^2 \frac{\partial^2 \ln Z}{\partial\beta^2} \tag{13}$$

The numerical values of the reduced specific heat $\frac{C}{k_B}$ of the one-dimensional Kane oscillator as a function of the reduced temperature are displayed in Fig. 1, $\frac{E_g}{4\hbar\omega} = 1$.

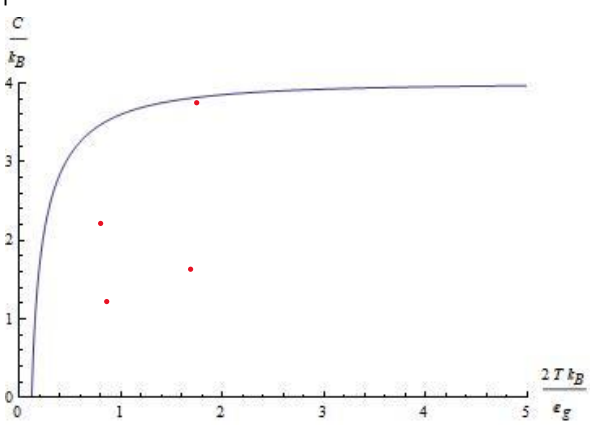


Fig.1. The reduced specific heat $\frac{C}{k_B}$ of the one-dimensional Kane oscillator as a function of the reduced temperature $\frac{2k_BT}{E_g}$ and $\frac{E_g}{4\hbar\omega} = 1$.

.From Fig. 1 it is also seen that the heat capacity for the Kane oscillator is forth times greater than the heat capacity for the harmonic oscillator, result that was anticipated by the analytical calculations presented above. Since the energy spectrum of the Kane oscillator is 2 folds degenerate, the specific heat of Kane electrons is 4 times the specific heat of harmonic oscillators. For high temperatures regime $\beta << 1$, the partition functions become

$$Z = 2e^{-\beta\sqrt{b}}\left(\frac{2}{a\beta^2}\right) \tag{14}$$

Using the partition function (14), the heat capacity for the Kane case can be written as:

$$C = 4k_B \tag{15}$$

In this work, we analyzed the Kane harmonic oscillator for electrons in one dimension. The heat capacity of Kane oscillators is investigated by employing the Euler-MacLaurin approximation.

3. CONCLUSIONS

In the present paper, we have found the complete energy spectrum of the Kane oscillator in one spatial dimension. It is shown that the specific heat of Kane electrons is 4 times greater than the specific heat of harmonic oscillators.

[1] *M. Moshinsky and A. Szczepaniak*, J. Phys. A: Math. Gen. 22, L817, 1989.

[2] *D. Ito, K. Mori, E.Carriere*, Nuovo Cimento A 51, 1967, 1119.

[3] *T. Darnhofer and U. Rössler,* Phys.Rev. B 47 (23), 16020 (1993).

[4] *Wlodek Zawadzki1 and Tomasz M Rusin* J. Phys.: Condens. Matter 23, 2011, 143201 (19pp).

[5] *F. M. Gashimzade and A. M. Babaev,* Physics of the Solid State, Vol. 44, No. 1, 2002, pp. 162–163. Translated from Fizika Tverdogo Tela, Vol. 44, No. 1, 2002, pp. 155–156.

[6] *H.P. Laba1 and V.M. Tkachuk*, Eur. Phys. J. Plus (2018) 133: 279

[7] *Abdelmalek Boumali, Fadila Serdouk, Samia Dilmi,* Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 553, 2020, 124207

[8] *M.H. Pacheco, R.R. Landim, C.A.S. Almeida,* Physics Letters A 311 (2003)

[9] *Bhabani Prasad Mandal, Shweta Verma,* Physics Letters A,374, 8, 2010, Pages 1021-1023

[10] *N. E. Kaputkina and Yu. E. Lozovik,* Fiz. Tverd. Tela (St. Petersburg) 40 (11), 1753 (1998) [Phys. Solid State 40, *1594 (1998)]*.

[11] *M.H. Pacheco, R.R. Landim, C.A.S. Almeida,* Physics Letters A 311 (2003) 93–96

[12] *T. Mishra, T.G. Sarkar, and J.N.Bandyopadhyay*, Phys. Rev E 89, 012103, 2014.

TELLURIUM ADSORBED ON $TlInTe_2$ STRUCTURES FOR ADVANCED ENERGY APPLICATIONS

S.S. HUSEYNOVA, S.O. MAMMADOVA

Institute of Physics Ministry of Science and Education of Azerbaijan,
AZ 1143, Baku, H. Javid Ave., 131
memmedova_seide.fiz@mail.ru

The work presents the results of the modeling of the adsorption of tellurium on the surface of 2×1×1 $TlInTe_2$ structure. The research was carried out by computer modeling using the Atomistic Toolkit software. The calculations were performed at different degrees of coverage of the $TlInTe_2$ surface with adatoms to find out the effect of these structural changes on the energy. The paper includes models of the studied objects, along with tables presenting the adsorption energy and the magnitude of the distance between the adsorbate and the atoms.

Keywords: $TlInTe_2$ structure, adsorption, density functional theory (DFT).

1. INTRODUCTION

The structural and electronic properties of the $TlInTe_2$ are investigated experimentally [1] and theoretically [2,3,4]. Upon defect formation of the $TlInTe_2$, as well as during the substitution of both cations and anions can be changed properties of compound. The structure of $TlInTe_2$ can be described as composed of two subsystems, namely, the indium subsystem with a negative charge ($In^{3+}Te^{2-}{}_2$), which is arranged in parallel with crystallographic axis c and form chains, and the unstable thallium subsystem located between the chains. The weak Tl–Te bond in the thallium sublattice is one of the reasons for its instability, being nearly two times weaker compared to the In–Te bond according to the provided data [5].

The interatomic distances for Tl–Te and In–Te bonds in the structures are 3.6Å and 2.82Å, appropiately [6]. Zintl compounds such as InTe [7], TlSe [8], and $TlInTe_2$ [9] exhibit both covalent (stronger) and ionic (weaker) substructures within them. The presence of such hierarchically bonded sublattices makes Zintl compounds ideal for intrinsically ultra-low thermal conductivity.

The [10] work demonstrates that the stoichiometric excess of the additive atom in the $TlInTe_2$ crystal with a chain structure allows to purposeful control the anisotropic properties of materials. This method holds potential for application in the development of fast conversion system.

The purpose of this study is the ab initio calculation of the energy of Te adsorption by the surface of $TlInTe_2$ supercells. Theoretical investigations on the adsorption of tellurium on the $TlInTe_2$ surface reveal that the calculated adsorption energy characteristics depend on several factors, including the calculation technique, adatom structure, adsorption site (top, bridge, or hollow position), the bond distance (d) between the adatom and the surface, and the nature of the interaction between the adatom and the $TlInTe_2$ structure.

2. ODEL AND CALCULATION PROCEDURE

Firstly, we perform a structural optimization for Te adsorbed on $TlInTe_2$ supercell within the framework of DFT using Perdew–Zunger (PZ) exchange correlation functional, as implemented in the Atomistix ToolKit. The kinetic cut-off energy is set to 150 Ry. During the structure optimization, the reciprocal space is sampled by a 5x5x5 k-point mesh. The primitive cell of $TlInTe_2$ was relaxed and optimized with force and stress tolerances of 0.01eV/Å and 0.01eV/Å^3, respectively. The geometry, electron band structure and adsorption energy Te adsorbed on $TlInTe_2$ supercell have been studied theoretically.

3. RESULTS AND DISCUSSION

$TlInTe_2$ belongs to the TlSe-family and has a simple tetragonal crystal structure with the space group I4/mcm. Fig. (a) presents the atomic structure of 2×1×1 $TlInTe_2$ supercell, (b) and (c) corresponds to the bridge and hollow adsorption sites of Te adsorbed on 2×1×1 $TlInTe_2$ supercell. Each In^{3+} makes four covalent bonds with its four nearest Te^{2-} ions forming the anionic chains along the tetragonal c-axis. Each Tl^+ cation is surrounded by eight Te^{2-} ions, forming skewed cages referred to as Thompson cubes [11,12]. The relaxed lattice parameters are a = 8.7Å and b= 7.33Å, in agreement with previous calculations and experimental measurements [11,12]. Due to the sp^3 hybridized In, $TlInTe_2$ adopts a Zintl-like structure and exhibits semiconducting properties.

Adsorption energy can be defined as the decreasing energy while two materials are combined under the adsorption process in which an atom, ion, or molecule (adsorbate) is attached to the surface of a solid (adsorbent). This energy is mainly used when calculating the chemical engineering properties, exploring the adsorption mechanism, or determining the energetic heterogeneity of the surface of a solid [13].

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

To analyze the Te atom adsorption on the $TlInTe_2$ surface, we used the following formula for the energy.

$E_{ads}=E_{total}[Te_{ads} + TlInTe_2] - E[Te_{ads}] - E[TlInTe_2]$

$E_{total}[Te_{ads} + TlInTe_2]$ is the total energy of a $TlInTe_2$ system adsorbed by a Te atom. $E[TlInTe_2]$ is the total energy of a $TlInTe_2$, and $E[Te_{ads}]$ is the energy of one atom Te.

The energies $E_{total}[Te_{ads} + TlInTe_2]$ and $E[TlInTe_2]$ were obtained from a system with an optimized structure using the DFT method. The adsorption energies are different because the total energies with and without optimization take different values. Thus, whether the adsorption is more stable or not depends on the optimization of the system.

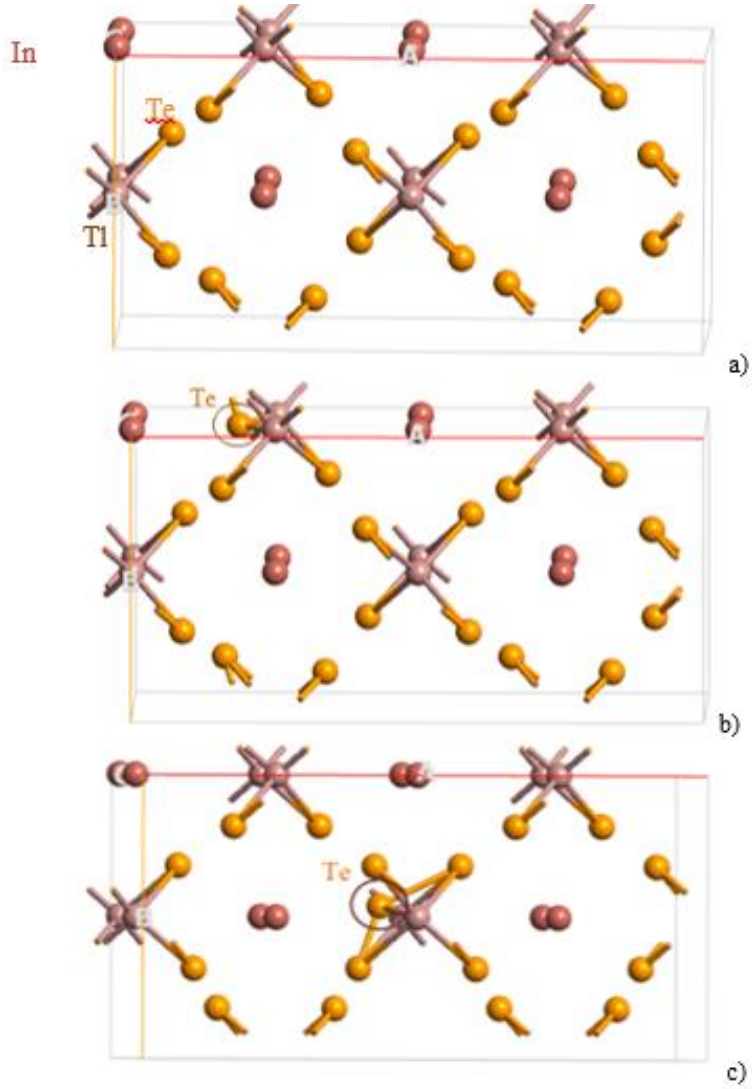


Figure. Atomic structure of 2×1×1 $TlInTe_2$ supercell (a). The B (b) and H (c) correspond to the bridge and hollow adsorption sites of Te adsorbed on 2×1×1 $TlInTe_2$ supercell.

Table.

Adsorption energy and bond length

Te adsorbed on 2×1×1 $TlInTe_2$ supercell	Position of the adatom	E_{tot} (eV)	E_{ad} (eV)	d_{Te-In} (Å)	d_{Te-Te} (Å)	d_{Te-Tl} (Å)
with an optimized structure	B	-21393.27271	-53.97494	1.1204	2.8977	2.8721
	H	-21380.21787	-40.9201	2.3091	1.3574	--
without an optimized structure	B	-18998.4731	-64.52765	1.5729	--	--
	H	-18959.47645	-25.531	1.894	2.0283	--

In the bridge adsorption site (B), there is a bond between Te and In before optimization. However, after optimization, a bond forms not only between Te and In but also with Tl and Te atoms. Therefore, in this case, the value of the adsorption energy (Table) with an optimized structure is greater than that without an optimized structure. On the other hand, in the hollow adsorption site, the situation is reversed. It is known that in the case when the adsorption energy is negative, the system under study is characterized by stability. Thus, in connection with this statement, it follows that all the considered configurations of adsorption of Te adatoms on the surface of the $TlInTe_2$ supercell are stable at any degree of coverage.

[1] *Al-Ghamdi, A.A., Nagat, A.T., Al-Hazmi, F.S., AlHeniti, S., Bahabri, F.S., Mobarak, M.M., and Alhar-bi, S.R.,* Growth and electrical characterization of TlInTe2 single crystal, J. King Abdulaziz Univ. Sci.,2008, vol. 20, pp. 27–38.

[2] *Ding, G., He, J., Cheng, Z.X., Wang, X., and Li, S.,Low* lattice thermal conductivity and promising ther-moelectric figure of merit of zintl type $TlInTe_2$, J. Mater. Chem. C, 2018, vol. 6, pp. 13269–13274. https://doi.org/10.1039/c8tc034

[3] *Jana, M.K., Pal, K., Warankar, A., Mandal, P., Waghmare, U.V., and Biswas, K.,* Intrinsic rattler-induced low thermal conductivity in zintl type TlInTe2, J. Am.Chem. Soc., 2017, vol. 139, no. 12, pp. 4350–4353. https://doi.org/10.1021/jacs.7b01434

[4] *M. M. Asadov, S. N. Mustafaeva, S. S. Guseinova, and V. F. Lukichev,* ISSN 1063-7397, Russian Microelectronics, 2023, Vol. 52, No. 1, pp. 21–31. Pleiades Publishing, Ltd., 2023, Vol. 52, No. 1, pp. 46–57, DOI: 10.1134/S1063739722700196

[5] *N. Kh. Abrikosov, V. F. Bankina, L. V. Poretskaya,E. V. Skudnova, and S. N. Chizhevskaya,* Semiconducting Chalcogenides and Alloys on their Basis (Nauka,Moscow, 1975) [in Russian].

[6] *D.Muller,G.Eulenberger, and H. Hahn,* "Uber ternare Thalliumchalkogenide mit Thallium selenidstruktur," Z. Anorg. Allg.Chem.398, 207 (1973)

[7] *M. K. Jana, K. Pal, U. V. Waghmare, K. Biswas,* Angew. Chem. Int. Ed. 2016, 55, 7792-7796.

[8] *M. Dutta, S. Matteppanavar, M. V. D. Prasad, J. Pandey, A.Warankar, P. Mandal, A. Soni, U. V. Waghmare, K. Biswas,* J.Am. Chem. Soc. 2019, 141, 20293-20299.

[9] a) *M. K. Jana, K. Pal, A. Warankar, P. Mandal, U. V. Waghmare,K. Biswas,* J. Am. Chem. Soc. 2017, 139, 4350-4353; b) *G.Ding, J. He, Z. Cheng, X. Wang, S. Li,* J. Mater. Chem. C 2018,6, 13269-13274; c) M. Wu, Enamullah, L. Huang, Phys. Rev. B2019, 100, 075207.

[10] *R.S.Madatov, K.H.Xalilova, A.I.Najafov, M.A.Mammadov, G.M.Isgenderova, M.M.Shirinov,* Effect of electric field and temperature on conduction anisotropy in $TlInTe_2$-Te crystals, Transactions of Azerbaijan National Academy of Sciences Physics and Astronomy, v. XLI, № 2, Baku-2021, p. 65-72.

[11] *M. K. Jana, K. Pal, A. Warankar, P. Mandal, U. V. Waghmare and K. Biswas,* J. Am. Chem. Soc., 2017, 139, 4350–4353.

[12] *K. Wakita, Y. Shim, G. Orudzhev, N. Mamedov and F. Hashimzade,* Phys. Status Solidi A, 2006, 203, 2841–2844.

[13] *Rouquerol, J., Rouquerol, F., Llewellyn, P., Maurin, G. and Sing, K.S.W.* (2013) Adsorption by Powders and Porous Solids: Principle, Methodology and Applications. 2 nd Edition, Academic Press, New York.

CHANGE IN THE ELECTRON DENSITY OF Sb_2Te_3 AS A RESULT OF THE FORMATION OF NANOOBJECTS

S.R. AZIMOVA[1], N.M. ABDULLAEV[1], N.A. ABDULLAEV[1, 2], H.M. ASGEROV[1], H.V. ORUJOVA[1], S.Sh.GAHRAMANOV[1], A.Sh.GAHRAMANOV[2], K.Sh.GAHRAMANOV[1]

[1]Institute of Physics after name G.M.Abdullayev of MSE, Azerbaijan, AZ1143, Baku, H.Javid ave.131

[2]Baku State University, Z. Xalilov str., 23, AZ1148 Baku, Azerbaijan

e-mail: sevinc_azimova_82@mail.ru

Nanoobjects - nanoislands and localized patterns that play a deforming role in the distribution of electron density are revealed. Changes in the van der Waals bond between quintets in the Sb_2Te_3 structure are associated with the formation of impurities and nanoobjects in the interlayer space of the crystal matrix.Van der Waals forces affect the charge density distribution and chemical bonding in these crystals. The parameters of the critical points and the nature of the charge density distribution in their vicinity indicate the coexistence of several types of chemical bonding in Sb_2Te_3 crystals: covalent, semimetallic, and also a bond type characterized by charge density fluctuations.

Keywords: structure, localized patterns, nanoislands, electron density, critical points, percolation.
PACS: 62.20Fe, 61.72.Cc, 61.72.Lk

INTRODUCTION

Antimony telluride Sb_2Te_3 has a high thermoelectric figure of merit and belongs to the class of topological insulators. The hexagonal structure of layered Sb_2Te_3 crystals consists of close-packed quintets that interact with each other using van der Waals forces. Depending on the concentration, impurities embedded in them can be localized both in the interlayer space and defective cavities, and penetrate into the layers of the crystalline matrix.

Of practical interest is the type of defects, in the presence of which a high charge transfer density is achieved with maximum phonon scattering, which makes it possible to increase the thermoelectric figure of merit of the material by reducing the thermal conductivity in Sb_2Te_3.

Some defects can take part in the transformation of the material structure during thermally activated processes, affecting the nature of the charge distribution and changes in interatomic distances.

For the convenience of considering the processes of formation of nanoobjects leading to a redistribution of charges in layers and between them, it is desirable to analyze the method for finding the electron density ρ(r) of Sb_2Te_3 molecules based on the analysis of the matrix of second derivatives of the electron density with respect to coordinates, called the Hessian matrix to identify the location of critical points $(\partial^2\rho/\partial x_i\,\partial x_j)$, where $i, j = 1, 2, 3$, $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$. In this case, $\rho(\mathbf{r})$ - the electron density is found either from experiments or by calculation. The points rc at which the electron density gradient vanishes $\nabla\rho(\mathbf{r}_c) = 0$ are called critical. At these points, the electron density has extreme properties (has a minimum or maximum, and can also be a saddle point). Diagonalizing the symmetric Hessian matrix ρ, one can find its eigenvalues λ_i (i = 1, 2, 3) and the coordinate axes, the principal axes of curvature, for which the off-diagonal elements of the matrix are equal to zero. Sum of Diagonal Matrix Elements – Laplacian $\nabla^2\rho = \partial^2\rho/\partial x^2 + \partial^2\rho/\partial y^2 + \partial^2\rho/\partial z^2$ plays an important role in the analysis of features in the electron density distribution[1,2].

Let us note some features of the sign of the Laplacian and its magnitude at the critical point, which determine the signs of a chemical bond, while highlighting the following points [1]:

- In the classification of the types of chemical bonding in crystals, the sign of the Laplacian of the electron density $\nabla^2\rho_b$ at the saddle critical point of the bond type, the signs and ratios of the absolute values of the principal values of the curvature λ_i (i =1, 2, 3) at a given critical point, the magnitude of the charge ρ_b, as well as the nature of the electron density distribution in the interatomic region of the crystal.
- The negative sign of the Laplacian $\nabla^2\rho_b<0$ indicates that charge flows into the critical point from *Sb* atoms, between which this critical point is located, the covalent bond is characterized by the negative sign of the Laplacian, negative values $\lambda_{1,2} < 0$, larger in absolute value $\lambda_{1,2} > \lambda_3$, a large value of the electron density at the critical point ρ_b.
- The positive sign $\nabla^2\rho_b>0$ indicates the expulsion of the charge from the region near the critical point. For ionic bond $\nabla^2\rho_b>0$, $\lambda_{1,2} \ll \lambda_3$, ρ_b is small, the charge density is concentrated mainly in the regions where atoms are located
- The eigenvalues λ_1 of the symmetric Hessian matrix are real, can have any sign, and can also be equal to zero.

In [3], the electronic structures of Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 crystals were calculated using the first principle of the full potential linearized plane wave method. Here, only unrelaxed crystals, which have the

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

experimental lattice parameters, were studied. However, by varying the structural parameters of Sb_2Te_3, it is possible to create an electronic topological transition, in which the number of edges of the valence and conducting band changes between 6 and 12. Atoms and clusters formed between $Te^{(1)}$-$Te^{(1)}$ must have a changed charge at critical points.

The aim of the work was to reveal the process of formation of nano-objects affecting the distribution of electron density in the Sb_2Te_3 crystal.

EXPERIMENT AND DISCUSSION

Based on the results of a number of experimental and theoretical studies [4-7], defects in the crystal structure and their electron microscopic images were found, which were obtained on an atomic force microscope (AFM) of the NC-AFM brand.

Level lines of electron density distribution.

As follows from [1], all three critical points of the bond type in the electron density distribution in the Sb_2Te_3 crystal have a positive Laplacian $\nabla^2\rho_b>0$ and the ratio between the principal values of the curvature $|\lambda_{1,2}| < \lambda_3$ are similar to those found for Sb and Te. If neglect the slight ellipticity in the electron density distribution near critical points of the bond type in Sb_2Te_3 and approximately assume that $|\lambda_1| \approx |\lambda_2|$ for these substances, then can use the ratio $|\lambda_{1,2}| / \lambda_3$ for critical points of the bond type as some characteristic of the degree of covalence of a chemical bond in a substance. For all critical points of the bond type in the studied substances, it follows that the chemical bond in the Sb_2Te_3 compound has the lowest degree of covalence. These parameters are shown in the table.

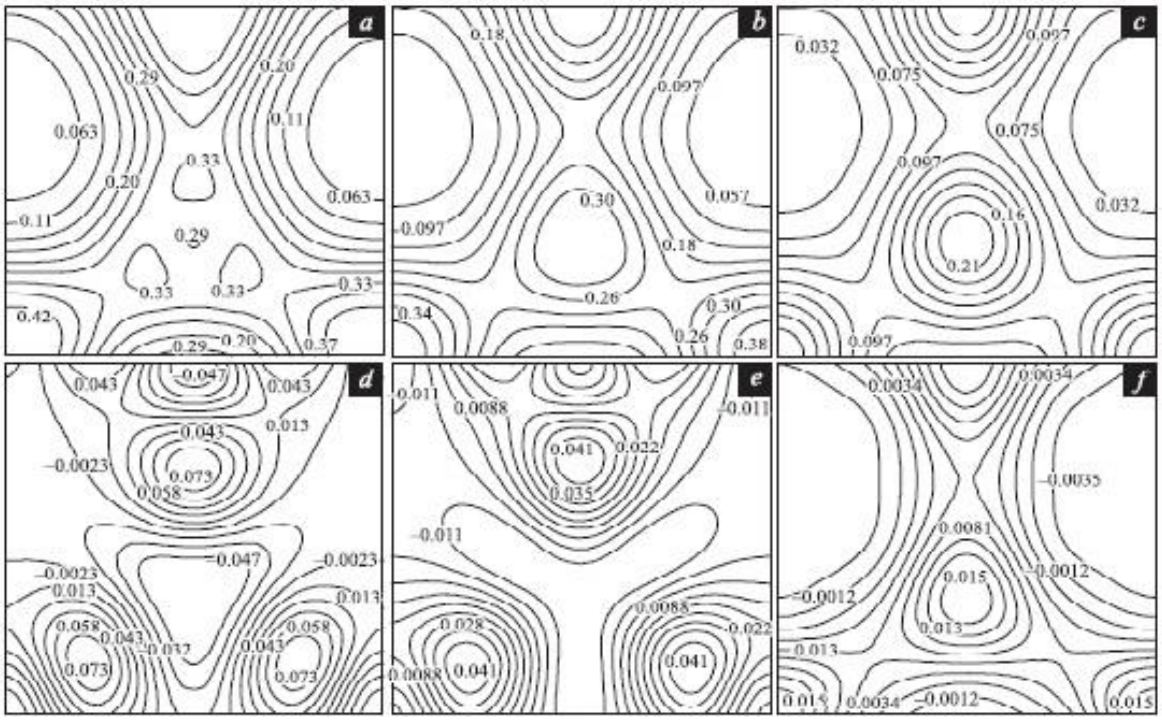


Fig.1. Level lines of the electron density distribution in the planes of the crystal structure of the *Sb_2Te_3* compound containing critical points of the bond type. Designation: a, b and c - total electron density, d, e and f - electron density obtained by the CDD method (charge density difference — the difference between the charge density in the substance and in the atoms that make up the substance).

The table lists the parameters of the critical points of the electron density distribution in the *Sb_2Te_3* crystal

position type, N_c	x	y	z	$\lambda_1, e/A^5$	$\lambda_2, e/A^5$	$\lambda_3, e/A^5$	$\nabla^2\rho_c, e/A^5$	$\rho_c, e/A^5$
6h	0,416	0,890	0,416	-0,882	-0,878	1,788	0,029	0,342
6h	0,208	0,208	0,687	-0,564	-0,553	1,580	0,463	0,234
3d	0,500	0,000	0,000	-0,206	-0,202	0,990	0,582	0,103

Weakening of the bond between quintets of the crystal structure of Sb_2Te_3

The structure of Sb_2Te_3 is also often represented in hexagonal axes with 15 layers of the structure depicted in fig.2 and consisting of three sets of five layers of atoms each, the so-called "*quintuple layers of atoms*". The quintet form layers four through eight and nine through thirteen. On Fig.2 3 sets of closest

distances between atoms in the Sb_2Te_3 structure are shown, represented as lines connecting the atoms.

The bond-type critical points in the electron density distribution are located between the atoms: $Sb–Te^{(2)}$ (the first set of bond-type critical points), $Sb–Te^{(1)}$ (the second set), and $Te^{(2)} – Te^{(2)}$ (the third set). They are located in planes parallel to the plane of the hexagonal axes (a, b) and perpendicular to the c axis. Each of the atoms has 3 nearest neighboring atoms and, accordingly, 3 critical points of the bond type. The first two sets of bond-type critical points in the Sb_2Te_3 structure characterize the bond between atoms within a quintet of atomic layers, while the third set of bond-type critical points determines the parameters of a much weaker bond between quintets. The electron density distribution in three Sb_2Te_3 planes, each of which contains three critical points of the bond type, is shown in Fig.1. In Fig.1,a-c shows the distribution of the total electron density and in Fig.1,d-f - distribution of electron density from s- and p-electrons of Sb and Te atoms, obtained by the CDD (charge density difference) method. Fig.1,a and d represent the electron density distribution for the first set of critical points of the bond type, Fig.1,b and e - for the second set and Fig.1, c and f - for the third set. The planes containing critical points of the bond type are drawn parallel to the plane (a, b) of the coordinate system in the hexagonal axes of Sb_2Te_3. On fig.1d and e obtained by the *CDD* method, three critical points are clearly visible in the form of maxima in the electron density distribution. The location of the electron density level lines in Fig.1,f noticeably differs from that in Fig.1,d and e. In this plane, there are no clearly pronounced maxima of the electron density, which provides the connection between the quintets in the Sb_2Te_3 structure. This plane is the cleavage plane for the crystal. The parameters of the critical points and the nature of the charge density distribution in their vicinity indicate the coexistence of several types of chemical bonding in Sb_2Te_3 crystals: covalent, semimetallic, and also a bond type characterized by charge density fluctuations. Van der Waals forces, essential for finding the equilibrium parameters of crystal lattices, affect the charge density distribution and chemical bonding in these crystals. The temperature dependences of the elastic constants in layered crystals revealed a tendency for a more rapid change in the interlayer elastic constants in comparison with the intralayer ones [8]. It is noted that the change in the values of the elastic constants with temperature is an anharmonic phenomenon and occurs due to two processes: phonon-phonon interaction and lattice deformation due to thermal expansion. The anharmonicity of the bond forces between the layers is substantially greater than the anharmonicity of the intralayer forces. In this case, the fraction of the contribution of thermal expansion to this change is much higher for the “interlayer” elastic constant than for the “intralayer” one [8]. Interlayer (inside a five-layer quintet package) bonds in antimony chalcogenides are sensitive to changes in the value of interlayer interaction. The enhancement of the polarity of the bond and the redistribution of the electron density, depending on the broadening of the interlayer distance, can be traced by the shift up the energy scale of the negative CLTE (coefficient of linear thermal expansion) [9-11] values of the doped crystals. The negative CLTE, accompanied by the overlap of the electronic wave functions of neighboring layers within the quintet, is a consequence of the redistribution of the electron density when the parameters of bonds between the metal and the central chalcogen layer are affected. The …-$Sb-Te^{(2)}$-Sb -… connection diagram can explain the mechanism of changes in interatomic distances depending on temperature, as well as the applied uniaxial pressure [12]. At temperatures comparable to the energy of interlayer interaction, this interaction is weakened and the electron density is redistributed into the quintets. The structure of the ion pair can change depending on the temperature, which leads to changes in the perturbing effect of the cation on the electronic system. The shift of the charge to the center of the quintet can lead to an increase in the degree of orbital overlap and an increase in the ionic component of the -$Sb-Te^{(2)}$ bond, since this is energetically favorable, the spin-orbit interaction
can also be enhanced: in an ionic pair, an unpaired electron is partially delocalized on the cation and this leads to an increase spin-orbit interaction. As a result, the elastic properties change due to a decrease in the interatomic distances in the $Te^{(1)}$-Sb-$Te^{(2)}$-Sb-$Te^{(1)}$ quintet. A change bonds in the between several different positions can explain the anomaly in thermal expansion of crystals of the Sb_2Te_3 type and a reduction in interatomic distances. The transformation of the structure during thermally activated processes can lead to the destruction of some bonds and the formation of other bonds, and the presence of metastable and defective centers can enhance this effect. For example, studies of the switching effect in chalcogenide glasses have revealed the competition between the resonance bonds of the crystalline phase and the disorder of the amorphous one [13-15]. A decrease in the interatomic distances in bismuth and antimony chalcogenides [9-11] at negative CLTE values can be associated with fluctuations in the magnitude of the interlayer interaction, which affects the parameters of atomic bonds within the quintet. When activated, defect centers create perturbations and an additional potential that distorts bonds; an increase in disorder leads to disorderly forming of bonds and displacement of atomic positions, thereby affecting the magnitude of the spin-orbit interaction. These centers affect the parameters of the hybrid bond, where the chalcogen ions of the inner layer and bismuth play a decisive role; accordingly, the interaction can be accompanied by the formation or strengthening of chemical bonds. The main elements of the defect centers in Sb_2Te_3 are intralayer defects and interlayer islands: intralayer defects are sources of disorder, interlayer defects are covalent bridges [16].

The phenomena described by the percolation theory refer to the so-called critical phenomena, which are due to the properties of the entire set of particles, and not the individual properties of each particle, and are characterized by the presence of a critical point at which the properties of the system change dramatically.

In percolation theory, this critical point is called the percolation threshold. However, there is a direct analogy between the theory of percolation and the fluctuation theory of phase transitions of the second kind, which are also accompanied by critical phenomena. In both cases, they proceed from the empirical fact of the increase in the inhomogeneity of the substance, which, as it were, breaks up into blocks, the size of which grows indefinitely when approaching the critical point. The percolation threshold in this case is determined by the number and size of interlayer nanoobjects, as well as the density of their distribution, at which they radically affect the interlayer interaction. This ultimately leads to a redistribution of the electron density in the quintet and changes in the interatomic distances.

The broadening of the van der Waals space in these crystals is mainly of two types:

- an increase in the interlayer distance by fractions of an angstrom due to the penetration of a stoichiometric excess or impurities into the interlayer space;
- an increase in the interlayer distance by several nanometers and the formation of defective cavities due to the formation of nanoislands.

A shift of the charge density into the depth of the layer upon broadening of the Van der Waals gap [17], as well as an increase in the number of electrons from donor impurities, can lead to mutual repulsion of lone electron pairs at the Sb-Te$^{(2)}$ bond and a change in the bond angle. As a result of such a charge shift [18], a greater splitting of molecular orbitals of various types occurs, in this case, non-bonding orbitals are involved in the formation of covalent orbitals. The *Sb* orbitals combine with the Te orbitals, with the formation of new bonding orbitals instead of the original nonbonding orbitals, i.e. the bond takes on a metastable ionic-covalent form. When the bonds between the Te$^{(2)}$ and stibium atoms are hybridized, the initial system overlaps with the Te$^{(2)}$ p-orbital and the lone electron pair of stibium is transformed into a conjugated system, accompanied by a redistribution of the electron density.

The AFM images studied on an atomic force microscope are given in Fig.3. Nanoislands formed between quintets in Sb_2Te_3 defective cavities, their formation does not appear in all interquintet layers, which should affect the uniformity of the distribution of electron density level lines containing critical points.

In the process of coalescence and the formation of localized structures, deformations arise that lead to the disruption of van der Waals bonds between quintets. The size distributions of nanoislands, coalescence, and island orientations are analyzed.

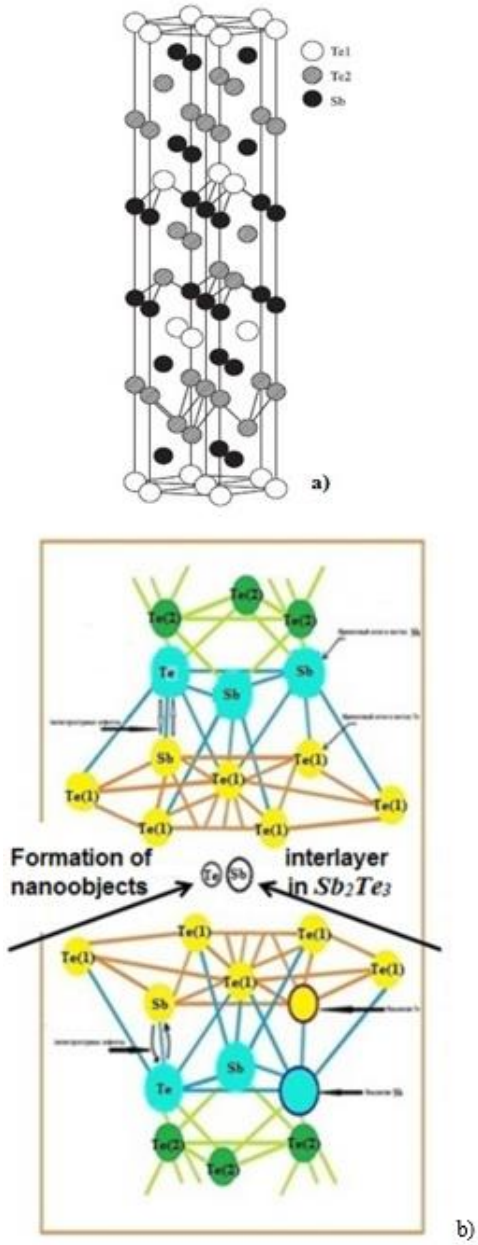


Fig.2 Crystal structure of the Sb_2Te_3 compound in hexagonal coordinate axes. – a. The model of the crystal structure of Sb_2Te_3 with nanodefects, which are shown by fragments of AFM images in *Fig.3*. – b.

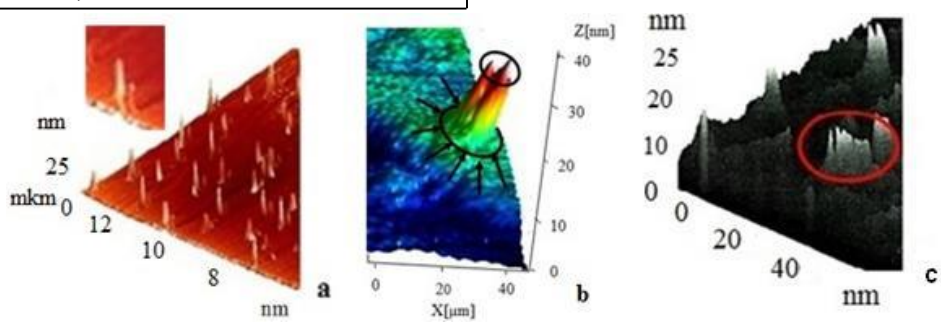


Fig.3. Localized Sb_2Te_3–Se patterns. Nanoislands that are not completely coalesced – a); localized nanoislands (patterns) – b); full localization – c).

We note the following conclusions:

- Critical points in *Sb_2Te_3* atoms appear in planes perpendicular to the "C" axis, in which deformed nanoformations are also formed.
- Apparently, during the formation of nanoislands, deformation occurs, mainly between quintets, which affects the redistribution of the electron density in Sb_2Te_3.

This work was supported by the Foundation for Science Development at the President of the Azerbaijan Republic- grant № EİF/MQM/ Elm-Tehsil-1-2016-1(26)-71/16/1-M-01.

---

[1] *V.G. Orlov, G.S. Sergeev*. Features of the electron density distribution in antimony telluride Sb_2Te_3. Phys. Solid State 59, 1302–09 (2017). https://doi.org/10.1134/S1063783417070162

[2] *R.F.W. Bader*. In: Atoms in Molecules: A Quantum Theory. In: Series of Monographs on Chemistry 22. Oxford Science Publications, Oxford, 1990.

[3] *G.Wang, T. Cagin*. Electronic structure of the thermoelectric materials Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 from first-principles calculations. Phys. Rev. B 76, 075201. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.76.075201

[4] *N.M. Abdullaev, A.Sh. Kakhramanov, K.G.Khalilova, S.R.Azimova*. The formation of slip bands in layered crystal, AJP Fizika, 2018, vol. XXIV №4, p. 3-6.

[5] *H. Uratsuji, M. Kuwahara, Y. Uehara, J. Sakai, S. Hosaka*. Fabrication of nano-structure for Sb_2Te_3. Proceedings of 25th Symposium on Phase Change Oriented Science. PCOS 2013, November, www.jpcos.jp/Paper&Academic_etc/PCOS2013 Papers/Poster/P06.pdf*J*.

[6] J.*Yadav, R. Singh, M.D. Anoop, N. Yadav, N. S.R ao, F. Singh, K. Awasthi, M. Kumar*. Impact of defects on the structural and electrical transport properties of Sb_2Te_3 thin films by SHI irradiation. Materials Letters: X, Vol. 12, December 2021, 100113. https://doi.org/10.1016/j.mlblux.2021.100113

[7] *Ibrahim Y. Erdoğan, Ümit Demir*. Synthesis and characterization of Sb_2Te_3 nanofilms via electrochemical co-deposition method. Journal of Electroanalytical Chemistry. 2009, vol.633, Iss.1, pp.253-258 https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2009.06.010

[8] *N.A. Abdullaev*. Elastic properties of layered crystals. Phys. Solid State 48, 663–669, 2006. https://doi.org/10.1134/S1063783406040081

[9] *X.Chen, H.D.Zhou, A.Kiswandhi, I.Miotkowski, Y.P.Chen, P.A.Sharma, A.L.L.Sharma, M.A.Hek-maty, D.Smirnov, Z.Jiang*. Thermal expansion coefficients of Bi_2Se_3 and Sb_2Te_3 crystals from 10K to270K, Applied Physics Letters, 99, 2011, 261912.

[10] *Y.Kim, X.Chen, Z.Wang, J.Shi, I.Miotkowski, Y.P.Chen, P.A.Sharma, A.L.Lima Sharma, M.A.Hekmaty, Z.Jiang, D.Smirnov*. Temperature dependence of Raman-active optical phonons in Bi_2Se_3 and Sb_2Te_3, Applied Physics Letters, 100, 2012, 071907.

[11] *P.Dutta, D.Bhoi, A.Midya, N.Khan, P.Mandal, S.Shanmukharao Samatham,V.Ganesan*. Anomalous thermal expansion of Sb_2Te_3 topological insulator, Applied Physics Letters, 100, 2012, 251912.

[12] *X.Luo, M.Sullivan, S.Y.Quek*. First principles investigations of the atomic, electronic, and thermoelectric properties of equilibrium and strained Bi_2Se_3 & Bi_2Te_3, with Van der Waals interactions, Physical Review, B 86, 2012, 184111. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.86.184111.

[13] K. *Shportko, S. Kremers, M. Woda, D. Lencer, J.Robertson, M.Wuttig*. Resonant bonding in crystalline phase-change materials. Nature Mater 7, 653–658, 2008. https://doi.org/10.1038/nmat2226

[14] *M.Wuttig*. Phase change materials: Chalcogenides with remarkable properties due to an unconventional bonding mechanism. Phys. Status Solidi B 2012, v. 249, p. 1843. https://doi.org/10.1002/pssb.201200582

[15] *R.E. Simpson, P. Fons, A.V. Kolobov, T. Fukaya, M. Krbal, T. Yagi, J. Tominaga*. Interfacial phase-change memory. Nature Nanotechnology. 2011, v. 6, p. 501-505. https://doi.org/10.1038/nnano.2011.96

[16] *S.Sh. Gahramanov, K.Sh. Gahramanov, N.A. Abdullayev*. Influence of interlayer interaction changes on Bi_2Te_3 layered crystals intralayer bonds. 7th international conference MTP-2021: Modern trends in physics. December 15-17, 2021, Baku, Azerbaijan, proceedings, vol.I, pp. 46-62.

[17] *T.V.Menshchikova, S.V. Eremeev, E.V. Chulkov*. JETP Letters 2011, v, 94, p. 106. http://mi.mathnet.ru/rus/jetpl/v94/i2/p110.

[18] *M.G.Vergniory, T.V.Menshikova, S.V.Eremeev, E.V.Chulkov*. Ab initio study of 2DEG at the surface of topological insulator Bi_2Te_3, JETP Letters, 95, 2012, 213-218. https://doi.org/10.1134/S0021364012040108

MECHANISM OF INFLUENCE OF SURFACE STRUCTURAL DEFECTS ON THE PHOTOVOLTAIC EFFECT IN A UNIAXIAL $CuAlS_2$ CRYSTAL WITH A SUPERLATTICE

GASIMOGLU IBRAHIM
Institute of Physics after name G.M.Abdullayev of MSE, Azerbaijan, AZ1143, Baku, H.Javid ave.131
E-mail: gasımoğlu@yahoo.com

In the presented study, the formation of layered periodic structures with an artificial lattice is reported in the CuAlS2 single crystal, which is a group of uniaxial crystals, during the technological process. It was carried out by measuring the physical parameters of single crystals that meet the modern requirements of nanotechnology and spintronics, photovoltaic effect, photoconductivity, return effect, Volt-Ampere characteristic.

Key words: Chalcopyrite, periodic structure, uniaxial crystal.
PACS: 61.80.Ed.

$CuAlS_2$ single crystal belongs to the group of semiconductor compounds Ai Bii Cvi2 and crystallizes in the chalcopyrite structure, the spatial symmetry group is $\bar{4}2m$. The energy of the closed band is E_g=1.81eV (T=300K). This combination has a great advantage in the manufacture of semiconductor devices, especially in the manufacture of photocells and light recording devices. It is usable for technical purposes. The substance was obtained by the Bridgeman-Stockbarger method. We determined the type of the crystal according to the sign of the electromotive force, which is positive, that is, p-type. Its resistance is R= 8 ohm at room temperature. X-ray and Raman analyzes showed that the obtained substance is a semiconductor (fig.1)

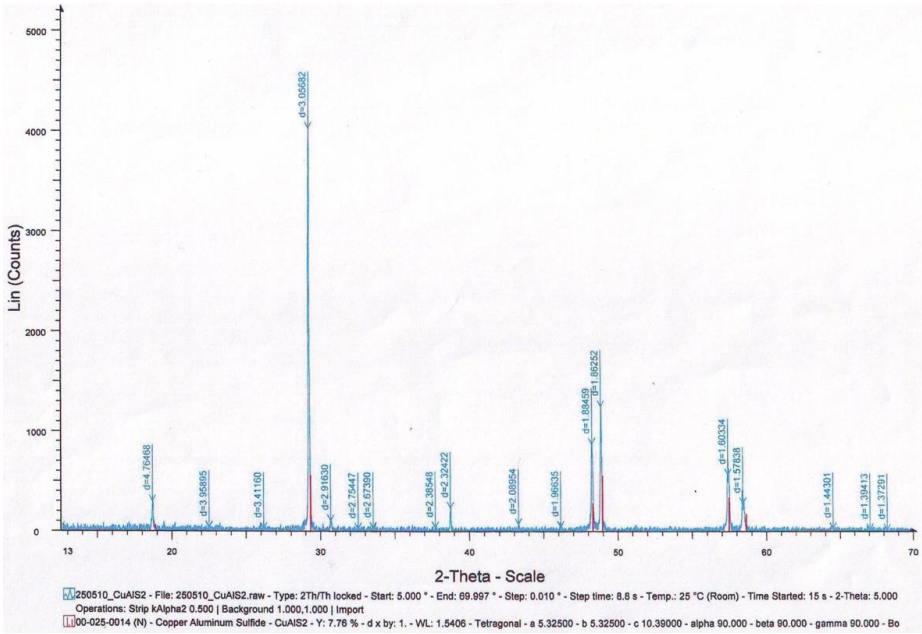


Fig. 1. X-ray analysis spectrum of $CuAlS_2$ single crystal.

Relevance of the topic: In contrast to their double counterparts, the transport processes occurring in triple compounds have not yet been fully studied. The topic is relevant because the harmonic waves formed on the surface due to the layered periodic structures formed during technological processes promise new perspectives. And it is considered important in terms of studying the nature of interactions between the nanostructures formed on the crystal surface and the crystal itself [1].

Case study: A newly obtained compound $CuAlS_2$ single crystal is suitable for practical application. There is a need to apply new technologies and measure new physical parameters to increase the useful work ratio. The reliability and stability of microelectronic devices is determined by their resistance to temperature. Among classical semiconductors, Ge and Si are considered the main materials. The energy of the closed zones is Eg=0.78eV, Eg=1.21eV, respectively. During application, devices made of these semiconductors lose their quality after 100-2000. During the application,

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

attention should be paid to the correct selection of the semiconductor material. We preferred uniaxial, porous, chalcopyrite structural compounds [2]. One of the semiconductors we are experimenting with is $CuAlS_2$. Eg=1.81eV. Since the energy of the closed zone is very valuable, devices made of this semiconductor will be resistant to high temperatures. We believe that these semiconductors will be among the attractive objects of modern microelectronics, since they are crystals that do not have an inversion center due to the creation of an artificial cage during the technological process, porosity, synchronism, pyozeoeffect, double entanglement, and crystals.

Conducting the experiment:

It can be determined from the Volt-Ampere characteristic that the dispersion law of electrons in semiconductors is not quadratic. During the experiment, whether the graph is continuous or discrete, it behaves as an indicator of the processes taking place inside the crystal or on its surface. We can monitor what is happening on the surface of the crystal by measuring the Volt-Ampere characteristic. We can see that the graph expressing conductivity as a function of constant electric field, both in weak fields and in strong fields, is not linear. In crystals with an artificial lattice, the conduction band splits into sub-mini-bands in non-stationary conditions, so we observe anisotropic conduction in the spectra. This type of conductivity is due to lakalization of waves in potential holes on the crystal surface.

The graph obtained in the experiment conducted by the combined scattering method allows us to say that the maxima are caused by free electrons and charged particles whose connection with the main substance is weakened (Figure 2). This suggests that the charged particles are locally formed around the nanostructures in the set [3]. In the volt-ampere characteristic, we observe the resonance maximum, equal, periodically repeating waves (Figure 3). These two properties are empirical indications that the crystal has an artificial lattice. In another experiment, we observe Clone steps. The fact that the graph takes such a shape indicates the movement of the defects created during the technological process, especially during processing with chemical reagents, together with the spiral dislocations towards the surface of the crystal. It is interesting that the energy shown by the axis vertically lowered from the linear part of the spectrum to the voltage axis, which represents recombination, is the same as the energy of the connected zone of the semiconductor (Eg=1.81eV). That is, the energy of the connected zone from the Volt-Ampere characteristic is simple.

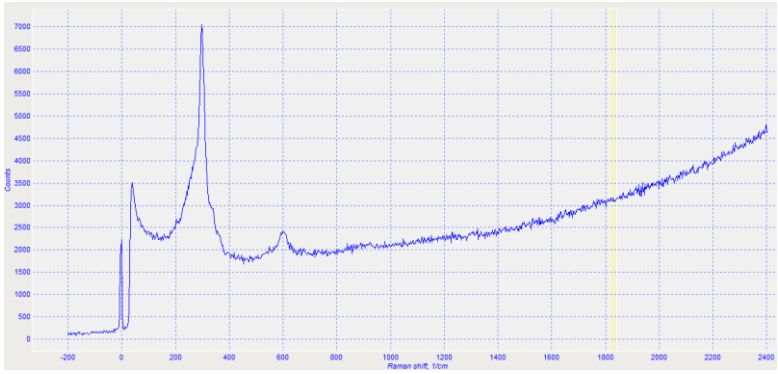


Fig.2. $CuAlS_2$ Raman scattering spectrum.

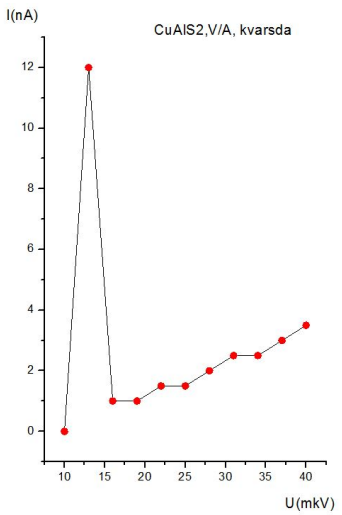


Fig. 3. $CuAlS_2$ single crystal spectrum with resonance maximum on quartz.

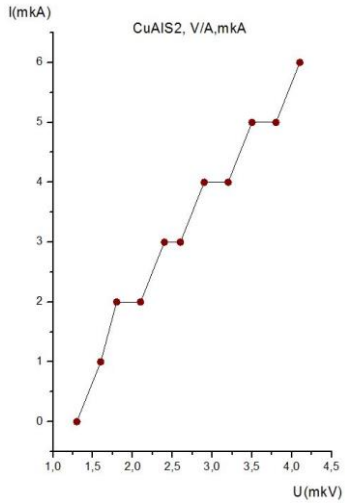


Fig. 4. $CuAlS_2$ single crystal Volt-Ampere characteristic. We determined the energy of the closed zone by drawing a vertical line from the first step to the stress axis.

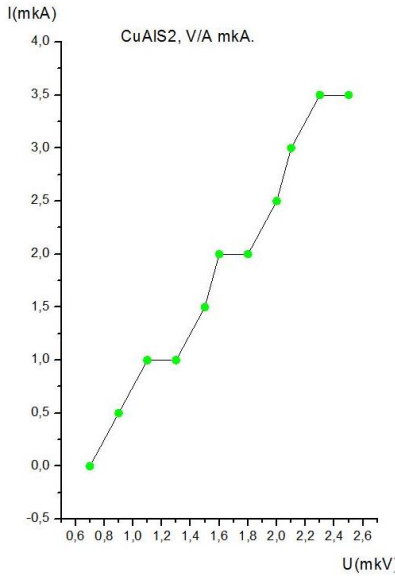


Fig.5. $CuAlS_2$ single crystal Volt-Ampere characteristic. We determined the energy of the closed zone by drawing a vertical line from the second step to the stress axis.

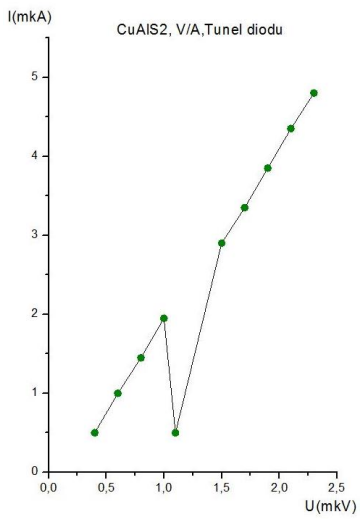


Fig.6. Volt-Ampere Characteristics of a $CuAlS_2$ Single Crystal Tunnel Diode.

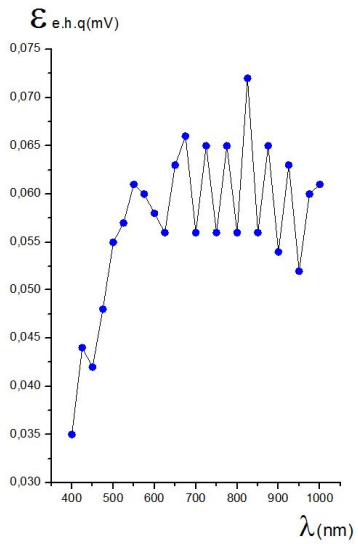


Fig.7. $CuAlS_2$ single crystal. The spectrum of the dependence of the electromotive force on the wavelength of modulated light by the capacitor method. Amplifier mode 100 mV.

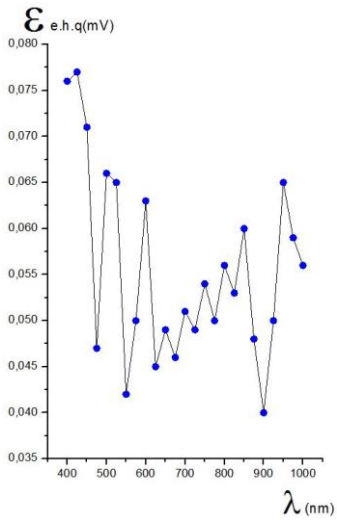


Fig.8. Dependence of electric motive force on wavelength of modulated light by $CuAlS_2$ single crystal capacitor method. Amplifier mode 300mV.

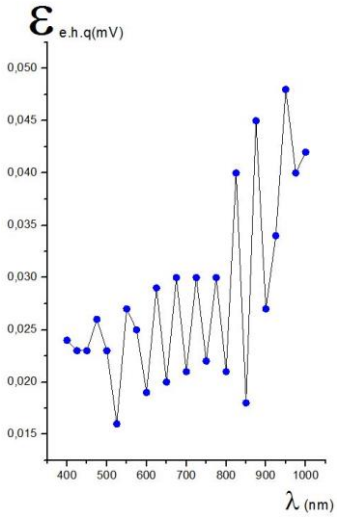


Fig.9. Dependence of the electromotive force on the wavelength of the modulated light by the $CuAlS_2$ single crystal capacitor method. Amplifier mode 1V.

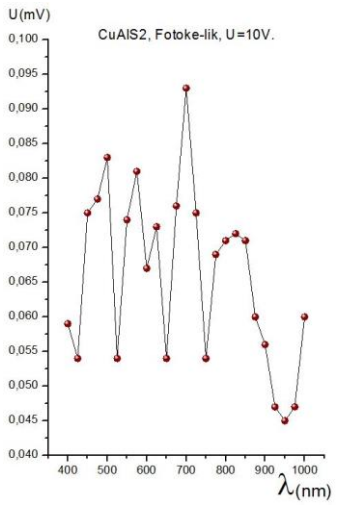


Fig.10. $CuAlS_2$ single crystal photoconductivity. External field U=10V, Amplifier mode

300mV.

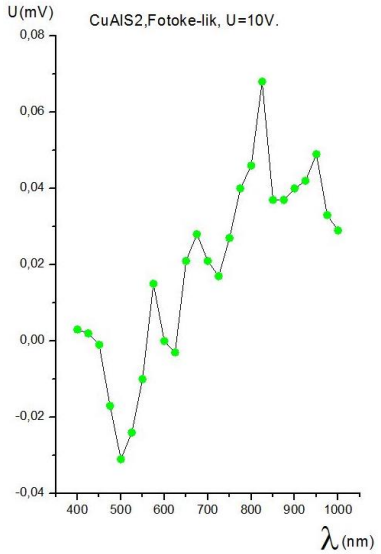


Fig.11. $CuAlS_2$ single crystal photoconductivity. External field U=10V, Amplifier mode 1V.

Final result

1. Using a new technology, a uniaxial triple semiconductor with an artificial lattice and a periodic structure ($CuAlS_2$) was grown. 2. The Volt-Ampere characteristics of the tunnel diodes of photocells that can work at low voltages (mV) were measured. 3. The method of calculating the energy of the Closed zone from the Volt-Ampere characteristic has been developed. And the energy value was calculated (Eg=1.81eV). 4. When reducing the value of the external field to semiconductors by half (U=4.5mkV, U=2.6mkV), the speed of spiral dislocation increased twice. 5. The energy of the zone connected to the spectrum, which expresses the dependence of the electric motive force on the wavelength of the modulated light, was calculated (Eg=1.81eV). 6. It was determined that there is a negative differential resistance from the spectrum of photoconductivity.

[1] *L.A.Golovan, V.Yu.Tymoshenko, P.K.Kashkarov.* Optical properties of nanocomposites based on porous systems. УФН, 2007, т. 177, номер 6, ст. 619-638.

[2] *I. Gasimoglu.* Formation of negative photovoltaic effect in CuGaSe2 single crystal after exposure to ϒ-ray. Physics volume XIX, N1, section: Az. pp. 19-21, 2013.

[3] *F.G. Bass, A.A. Bulgakov, A.P. Tetervov.* High-frequency properties of semiconductors with superlattices. M. 1989 art. 286.

[4] *A.I. Gubanov and F.M. Gashimzade.* Investigation of the symmetry of energy zones of electrons in crystals of the CdIn2Se4 type, AN.SSR, FTT, volume 1, issue 9, article 1411-1416, 1959.

[5] *S.M. Ryvkin.* Photoelectric phenomena in semiconductors. M. 1963. Article 495.

[6] *V.I. Lyashenko, V.G. Litovchenko, I.I. Stenko, V.I. Strikha, L.V. Lyashenko.* Electron phenomena on the surface of semiconductors. Киев-1968.ст.399

ON THE "FUZZY" ESSENCE OF THE MICROCOSM IN THE RADIATION OF AN ABSOLUTELY BLACK BODY: THE TWO-VALUED ARISTOTLE AND THE MANY-VALUED LUTFI ZADE OF LOGIC. PLANCK'S FORMULA

ELMIRA A. ISAYEVA
Institute of Physics of Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Azerbaijan, Baku, H. Javid av. 131, Az-1143,
e-mail: EAIsaeva@mail.ru,

This paper considers the radiation of a completely black body with a deeper look at the essence of the microworld, in which there is a connection between unusual quantum logic and fuzzy logic in Lutfi Zadeh's Fuzzy Set Theory . Max Planck used the concepts of combinatory to study black body radiation. What physicists call today the degree of degeneracy, statistical weight or thermodynamic probability for Boltzmann is his combinations without repetitions C_N^k,, for Gibbs his permutations with repetitions $L_N^{k,l,m}$, for Bose and Einstein combinations with repetitions A_P^N.. For Planck, too, combinations with repetitions of A, but with a completely different sound in them P and N and therefore A_N^P. In this, the fuzziness of Lutfi Zade's logic can be traced. There is no need to justify equal radiation quanta. They themselves come out of this new paradigm and the derivation of Planck's formula is simplified.

Key words: Combinatory, combinations with fnd with out repetitions, permutation, classical and quantum statistics, identically of atoms, statistics of Boltzmann, Gibbs, Bose – Einstein, Planck, black body radiation
PACS: 72.80.Rj, 73.25.+i, 73.61.Wp

INTRODUCTION

It is well known that the Rayleigh-Jeans formula reflects the ultraviolet catastrophe (UV), which is unobservable in the experiment. From the point of view of classical physics, the Rayleigh-Jeans formula is correct. For a short wave, the number $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ is a large value, which means a large number of vibrational degrees of freedom. If each degree has an equal energy *kT/2*, then short waves will have a very large radiation energy, which is the UK.Planck realized that the impeccable classical law of uniform distribution of energy over degrees of freedom does not hold here. Not all degrees of freedom of the short wave will receive energy for radiation.

So, at a given temperature T, inside the cavity of an absolutely black body there is a field of radiant energy of electromagnetic waves, and on its thin wall an oscillating atom emits waves of different lengths and frequencies, which Planck calls resonators. He says that each resonator carries a certain electrical charge. Interacting with the field of radiant energy, emitting or absorbing it, it changes the number of its oscillations. So the energy of the resonator U can increase or decrease over time. In classical physics, the thermodynamic interpretation itself requires an average value for it, because not all rapidly and randomly changing details of the processes of the microcosm are subject to study by a "macroscopic" observer. If there is a uniform distribution of energy over the degrees of freedom of the resonator, then this average U, regardless of the time of "macroscopic" observation t of the microworld, will be possible. And if there is no uniform distribution of energy, then, as Planck says [1]: "Even if the time of "macroscopic" observation t of the microworld can cover many periods of the processes of oscillation of the resonator, but still, if there is no uniform distribution of energy over degrees of freedom, then this time interval t is quite small. Small so that the changes experienced during this interval by the observed quantities could be neglected". For example, the magnitude of black body radiation observed and measured by us. Indeed, we are not observing the resonator itself and its oscillation, but the beam that it emits. We observe rays from many resonators N. Due to the fact that the time interval of "macroscopic" observation of the microworld t is small, the energy of these rays cannot be averaged. It is in this, in the dissimilarity of the values of the energies of the rays, that Planck sees chaos, disorder, the entropy of the system S. He sees the set N of resonators with a total energy U_N and the set P of energy elements for them. Planck is asked: "In how many ways, that is, combinations with repetitions, can the distribution of P energy elements be distributed over N resonators, that is, the number of complexions, using the terminology of Boltzmann?" But Planck's complexions are fundamentally different from Boltzmann's complexions. For Boltzmann this question of Planck does not exist, for him there is only P=1 element of energy. This energy can have K of N resonators. For Boltzmann, statistics begins with the question, how many combinations without repetitions, that is, my complexions, will this result in? The more complexions, the more chaos and entropy in the system. The system tends to it at thermodynamic equilibrium. In this state, with a uniform distribution of energy over degrees of freedom, each complexion, each resonator in it, has a minimum of energy.

Today the Boltzmann complexions are called the thermodynamic probability W, and there is the Boltzmann principle for the measure of chaos, the entropy S:

$$S_N = k\log W \quad , \qquad (1)$$

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

The Boltzmann complexion has become a tool for translating the knowledge of the combinatorics into the microworld.

THE CONCEPTION OF COMPLEXION

The word "complexion" in translation from English "complexion" means "complexion". That the state of the system with energy E, which the device distinguishes - this is the “face” of the system, that is, how many K molecules out of all N molecules are involved in the process. But how many such combinatorial combinations without repetitions K out of N are different "colors" of the same "face", which Boltzmann called the number of complexions.

Boltzmann begins his statistics with them. With the number of microstates, with degeneracy W, which lead to one macrostate of the system with energy E. The larger it is, the more chaos in the system and that it is more likely that it will occur at equilibrium. For Boltzmann, the number of his complexions is the number of combinations without repetitions:

$$W = \mathrm{C}_N^k = \frac{N!}{k!(N-k)!} \qquad (2)$$

There is one energy value at which, for example, K molecules, "yes", have a given energy u, and (N - K) molecules, "no", do not have it. So many "yes +" and so many "no -" in terms of the classical two-valued logic of Aristotle. For example, out of 10 balls (atoms), the number of complexions will be maximum in the case of half and half "yes" and "no". 5 blue (fast) and 5 red (slow), because the number of combinations without repetitions, the number of complexions, its thermodynamic probability will be maximum in this case W=252.

In the thermodynamics this means its 2nd law. An isolated system will eventually come to thermodynamic equilibrium with a maximum of entropy, chaos. But to express this chaos, Boltzmann will say that the total energy of a system is divisible by the number of all its degenerate states, 2^N . This energy value is minimal. This is why the states of the system with lower energy are said to have a higher probability in the Boltzmann distribution. Its maximum part will be taken by the most probable, that is, the most degenerate states. Therefore, the system chooses the minimum potential and maximum thermal energies.

So, for Boltzmann there is a value of the energy u and K of the molecules, "yes", they have it, and (N - K) molecules, "no", they do not. If he were also interested in other “qualities” of the atom, that is, what other energy u_2, u_3, u_4, … received *l, m,* .. molecules from N molecules in the case of “no–”, then here he would use a combinatorial formula for permutations of L with repetitions:

$$L_N^{k,l,m\ldots} = \frac{N!}{k!l!m!\ldots} \qquad (3)$$

Boltzmann was not interested in this, but Gibbs was interested. That is why Gibbs believes that for him, not combinations without repetitions C_N^k, as in Boltzmann, but precisely permutations with repetitions $L_N^{k,l,m..}$ is a thermodynamic probability or statistical weight. These are the Gibbs complexions. The two-valued logic of Aristotle remains in effect.

THE IDENTICALLY OF ATOMS

But Planck says for the first time: "How can permutations and arrangements of atoms matter, if they are identical to us in the invisible microworld?" Only combinations with repetitions matter for the statistics of the microworld. For example, out of 10 balls (atoms) it is possible that all balls are blue (with this energy), all balls are red (with a different energy), 1 blue 9 are red, etc. Variants, that is, the number of combinations with repetitions is $\mathrm{A}_\mathrm{P}^N = 11$. Note that combinations without repetitions for each variant are different, for example, out of 10 balls 2 are red $\mathrm{C}_N^k = 45$. This is the meaning of the degeneracy of states in thermodynamics. Thus, of the three combinatorial measures - permutation, combination and placement - for Planck only combination with repetitions of A remains.

$$\mathrm{A}_\mathrm{P}^N = \mathrm{C}_{N+P-1}^N = \frac{(N+\mathrm{P}-1)!}{(\mathrm{P}-1)!N!} \qquad (4)$$

This formula tells us that it is important to know how many states a system can have. The meaning of P is that even before combinations without repetitions, we announce the qualities of an atom, that is, energies E_1, E_2, E_3 …E_p. . For the balls (atoms) above, in their colors red and blue, (this energy and other energy) P=2.

So, the number P is the number of "qualities" of a micro-object to be in one state or another, and the number N is the "quantity" of the objects themselves. In combinatorics, the categories "quantity" and "quality" in terms of permutation, combination and placement are necessarily with the meaning that the same "quality" can simultaneously have the entire number of objects.

But not vice versa, that one and the same object has simultaneously all the "qualities" of the universe. As we can see, the two-valued logic of Aristotle is necessarily present in combinatorics. It is also present in Planck's vision of the identity of particles of the microworld. Hence, its combinations with repetitions A_P^N were useful to Bose-Einstein, and combinations without repetitions were useful to Fermi-Dirac in their derivation of the distribution of ideal quantum gas molecules. Today these are different statistics – classical and quantum. In them we distinguish between classical particles, fermions and bosons. We repeat that the logic of all these statistics remains classical, Aristotelian, two-valued.

ELEMENTS OF ZADEH’S FUZZY LOGIC

Then where in combinatorics to look for fuzzy logic and it is really present in quantum physics. Is it clear that Schrödinger's cat is both alive and dead at the same time? To this, physicists say that this is a superposition of states. We want to show that Planck

used fuzzy logic when deriving his formula for black body radiation. Therefore, he strongly opposed his quantum theory. He saw that in the statistics of identical particles of the microworld in combination with repetitions, "quantity" is replaced by "quality", and not A_P^N , as above for Bose-Einstein, but A_N^P.

All this does not look like Hegel's dialectic, in which there is a transition of quality into quantity and vice versa.

This is where fuzzy logic comes in

$$A_N^P = C_{N+P-1}^P = \frac{(N+P-1)!}{(N-1)!P!} \quad (5)$$

As we can see, the difference in A_P^N and A_N^P is that P, being a category of the quality of a micro-object, for example, its energy, acquires the meaning of a category of quantity. This is exactly what Lorentz writes [1]: "Planck further calculates the number of ways in which it is possible to carry out the distribution of P elements of energy into N resonators." For example, 5 elements of energy at the same time in one resonator. Then A=1, all these elements of energy are in this resonator. Is it clear? Is this possible in classical physics? Of course not. Always P=1. An object can have only one quality and its contains either 1, or 2, .. or K, ... or N objects, that is, $A_N^1 = N$. They will have this quality, this given energy and not another.

This is the essence of the uniform distribution of energy over degrees of freedom. After all, we are talking about one quality of a micro-object. But how did Planck find himself in such a situation where P > 1 for him?

CHAOS FOR BOLTZMANN AND PLANCK

For identical atoms after combinations, the question of their placement and permutations does not make sense. This is exactly what Boltzmann and Planck believed. But for Boltzmann P=1. Boltzmann chooses one of $A_N^1 = N$, for example, K from N, and the meaning of degeneration, chaos appears for him there - these are combinations without repetitions C_N^k, that is, the number of complexions. So he translates combinatory into the world of atoms. For Boltzmann, an invisible microcosm with identical particles still allows him to combine identical objects taken at random without repetition. "I have chosen an object, it is already marked by me by this act of choice," Boltzmann would say. He can consider each separately any state of the system, because there is a uniform distribution of energy over degrees of freedom. He only needs to decide on chaos in the most chosen state, that is, with the number of complexions W. For Boltzmann, they are the degrees of freedom of the system. The system in the equilibrium state tends to the maximum number of complexins. Each complexion has a chance to "life", to receive its equal portion of energy for all and in balance, although it will be minimal. Indeed, this shows us the Boltzmann distribution. Lower energy states will always have a higher probability of being occupied. This is how Boltzmann approaches the study of his systems.

But not Planck. For Planck, initially chaos is in the very faces of the system, in its states. With a uniform distribution of energy over degrees of freedom, the system has only 1 person. But with its uneven distribution, not all complexions, but only some of them will receive their portion of energy, and this will be the concept of chaos for him. So, a high-frequency resonator, having a large number of degrees of freedom, will want more energy, but without receiving it, it will not be able to radiate. Therefore, UC is not observed in the experiment. For Planck, the essence of the microcosm is that with a limited supply of energy, those particles that are the most animated will eventually receive the least.

It is this that leads to a deviation from the uniform distribution of energy over the vibrational powers of the resonator. No more P=1. Planck sees chaos in this, the entropy of the system S. Therefore, the state of the system, that is, its face, which it acquires, is not unambiguous, chaos manifests itself in this and Planck notices it, introducing his own number of his complexions - the number of combinations with repetitions A.

This means a transition to a new level of understanding, that a micro-object can simultaneously have energies in 1ε, 2ε, 3ε,…, where ε is an energy quantum. This is the superposition of states that Planck came to and which is confirmed by Heisenberg's uncertainty principle.

RESULT

Planck did not like this very much, but he was forced to say: "It is necessary (in this position lies the core of quantum theory) to imagine U_N not as a continuous, indefinitely divisible quantity, but as a discrete quantity, consisting of an integer number of finite, equal parts. If we name one such part, the element of energy, as ε, then at the same time we get

$$U_N = NU = P\varepsilon \ ,$$

where R is a large integer. We leave the question of the value of ε open for the time being." He did not like it very much, and it was artificial for him that ε is an equal indivisible quantum of energy. Artificially, because it did not fit into the framework of the usual classical Aristotelian logic. But it fits into the framework of fuzzy logic in the theory of fuzzy sets of Lutfi Zade. In it, the measure of possibility, in contrast to the measure of probability, allows to be a superposition of states. As we can see, not as in the classical case A_P^N, but A_N^P . In A_P^N, our N objects are distributed to P qualities, but for Planck it is the other way around, P qualities are distributed on N objects, and it turns out the other way around A_N^P. Using the Stirling formula:

$$n! \approx \sqrt{2\pi n}\left(\frac{n}{e}\right)^n .$$

And limiting himself to an approximation sufficient for his purpose, Planck writes down the statistical formula as:

$$W = \xi = \frac{(N+P)^{N+P}}{N^N P^P}$$

As we can see, for counting in statistics it does not matter what to consider A_P^N or A_N^P. Therefore, for Bose and Einstein, without this depth, it is only important that the micro-objects are identical, and hence the combinations with repetitions A_P^N . Statistics are just statistics and their purpose is not to give an idea, but simply to count [3].

Nevertheless, the fact remains that here there is a distribution not of quantity over quality, but, on the contrary, a distribution of quality over quantity. Therefore, Planck called the theory quantum, here the number of quanta of energy. After all, he needed the quality P, which are elements of energy, each of which is ε, to imagine as the number of identical objects, that is, quanta. So, there are quanta ε, and their number P is 1ε, 2ε, 3ε, 4ε, … Pε . They can be represented as the number of states - energy levels. And there are N atoms or resonators - this is already a quality, and here, for example, not a number - 3 atoms, but a quality, that is, the 1st atom, the 2nd atom, the 3rd atom. The picture is not the same as in classical physics, that so many atoms have a given energy, but on the contrary, so many energy quanta have a given atom.

In the classical world, for example, the number of atoms with a given energy decreases, while in the quantum world the number of quanta decreases for a given atom. It goes to radiation in 1ε, 2ε, 3ε, 4ε, ... Pε. In principle, there can be no other portions of radiation. The fact that Planck really disliked the artificiality of an equal portion of ε is automatically removed from us. The derivation of Planck's formula is greatly simplified.

So, the Gibbs'canonical distribution, well known even before Planck, connects the number of atoms of one mode of vibration n with the energy E_n at a certain temperature T. For us, n takes on the meaning of counting the mode itself (1st, 2nd, etc.), the energy E_n takes on the meaning of energy quanta 1ε, 2ε, 3ε, 4ε, … Pε.

$$n = Ae^{\frac{-E_n}{kT}}$$

$$n+1 = Ae^{\frac{-E_{n+1}}{kT}}$$

Where E_{n+1} is already a neighboring energy level. The difference between adjacent levels is the same in all cases n and it goes to radiation.

$$E_n - E_{n+1} = \varepsilon$$

$$\frac{n+1}{n} = 1 + \frac{1}{n} = e^{\frac{E_n - E_{n+1}}{kT}}$$

$$n = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon}{kT}} - 1}$$

If all these n atoms radiate according to the energy quantum ε, then the desired radiation energy U will take place.

$$U = \frac{\varepsilon}{e^{\frac{\varepsilon}{kT}} - 1}$$

This is the Planck's radiation law.

[1] *G.A.Lorents.* «Макс Планк и теория квантов», UFN (УФН), 1926, 6, 2, page 118-146

[2] *N.Y.Vilenkin.* «Комбинаторика». Изд. Наука, 1969. 323 səh. (rus)

[3] *L.Zade.* «Fuzzy Sets». Iformation and Control Journal, 1965, 8, p.338 – 353

[4] *İ.G.Tamm.* «Новые принципы статистической механики Бозе-Эйнштейна в связи с вопросом о физической природе материи» UFN (УФН), 1926, 6, 2, pp. 112-141 (rus)

[5] *E.A.İsayeva* "Human perception of Physical Experiment and the Simplex Interpretation of Quantum Mechanics", Progress in Physics, 2008, №1, pp.47-52

[6] *E.A. İsayeva* "On the Necessity of Aprioristic Thinking in Physics", Progress in Physics, 2008, №3, p.84 -86

[7] *E.A. İsayeva* "The Perception of Micro-and Macrocosms and the Conception of Number in Physics, Quantum Mechanics" Nova Science Publishing, USA, 2011, Editors**:** Jonathan P. Groffe, pp. 353-362

[8] *E.A. Issaeva.* Physics of Particles and Nuclei Letter,2007,vol.4, No.2, pp. 184 – 188

[9] *E.A. İsayeva.* "Rational Thinking and Reasonable Thinking in Physics: The Einstein's Relativity Theory as achievement of reasonable thinking". International Scientific Conference "Physical Interpretations of Relativity Theory", PIRT-2017, Bauman Technical University, Moscow, 3 – 6July, 2017, p.69

[10] *E.A. İsayeva.* "The role of fluctuations in artificial intelligence from Zadeh's fuzzy sets point of view", IFAC Paper on Line, 51-30, p.812-815, 2018.

MAGNETIC PROPERTIES OF TERNARY LAYERED $TlGa_{0.977}Fe_{0.023}Se_2$ DILUTE MAGNETIC SEMICONDUCTOR CRYSTAL

FAIK MIKAILZADE [1*], SERDAR GÖKÇE [1], TOFIG G. MAMMADOV [2], ARZU I. NAJAFOV [2], SAVAŞ BERBER [1], MIRHASAN YU. SEYIDOV [1]

[1] Department of Physics, Gebze Technical University, Gebze, Kocaeli, 41400, Türkiye

[2] Institute of Physics, Ministry of Science and Education, Javid avenue 131, Baku, Azerbaijan

**E - mail address: faik@gtu.edu.tr*

The results of the magnetization studies of Fe doped $TlGaSe_2$ ($TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$) layered magnetic semiconductor grown with $x = 0.023$ are presented. The positive value of the Curie temperature together with the observed antiferromagnetic hysteresis loops as well as with the characteristic temperature dependence of magnetic susceptibility indicates the existence of combined antiferromagnetic and weak ferromagnetic ordering between interacting unpaired spin orbitals of Fe^{3+} ions in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ compounds. Structural stability, electronic and magnetic properties of the Fe – doped $TlGaSe_2$ four – layer slab were explored using density-functional theory (DFT) calculations. It has been found that substituting Fe single dopant atom at the Ga site, and the formation of substitutional $FeSe_4$ complexes due to the strong hybridization between the electronic states of the dopants and the neighboring Se atoms are geometrically and energetically favorable for $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$. The calculations revealed that the magnetic coupling between Fe dopants and the neighboring Se atoms is dominantly ferromagnetic, while weakly antiferromagnetic interactions between Fe – Fe dopants due to the super - exchange mechanism is favorable.

Keywords: Diluted magnetic semiconductors; dopant stability, magnetic exchange coupling, density functional theory, ferromagnetism, antiferromagnetism.
PACS: 73.20.Dx, 75.30.Et, 78.20.Ls, 68.55.Bd. 1

1. INTRODUCTION

Diluted magnetic semiconductors (DMS), where transition metal ions are substituted for the nonmagnetic ions of the host semiconducting material, have attracted considerable interest in recent decades because of their huge potential for applications in spintronics, which studies electronic devices based on the charge of carriers and spins [1–4]. The development of DMS materials with Curie temperature above the room temperature is the key challenge in the establishment of materials for applications in spintronic devices.

In the present paper, the results of the studies of the effect of incorporation of Fe atoms in bulk $TlGaSe_2$ layered semiconducting crystals instead the gallium substitutional site inside $Ga^{3+}Se_4^{2-}$ framework are presented. $TlGaSe_2$ is a native p – type semiconductor with a direct bandgap of $\sim$ 2.1 – 2.2 eV having monoclinic space group of $C_{2h}^6 - C2/c$ at room temperature with the following unit cell parameters: $a = 10.772$ (3) Å, $b = 10.771$ (5) Å, $c = 15.63$ Å, and $\beta = 100°$ [5–7]. The layered crystal structure of $TlGaSe_2$ is composed from the stacking of metal - chalcogen anionic layers in the ab - plane which is perpendicular to the pseudo tetragonal symmetry c^*- axis of the unit cell. Each layer consists of Ga_4Se_{10} polyhedra built adamantine like by corner - connected four $GaSe_4$ tetrahedrons which are bounded together via sharing Se atoms at the common corners. Succeeding layers are stacked along c^*- axis by alternately turning away with 90° and shifted a quarter of a unit along [110] and [1$\bar{1}$0] directions forming trigonal prismatic voids where Tl^+ ions are located [5].

The first objective of this work is to grow Fe – diluted $TlGaSe_2$ single crystal in which magnetic Fe^{3+} impurities are substituted for Ga cation vacancy sites with concentration of ~ 2.3 %. Then the temperature dependence of magnetic susceptibility in zero field cooled (ZFC) and field cooled (FC) regimes as well as the magnetization M versus the magnetic field H curves ($M(H)$ curves) were measured between ~ 10 and ~ 400 K in the present work. To confirm the crystal structure of the Fe – modified $TlGaSe_2$ compound X - ray diffraction (XRD) – analysis and scanning electron microscopy energy dispersive spectroscopy (SEM-EDX) were carried out. Based on the measured data, we will discuss the origin of the magnetic ordering in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ magnetic semiconductor.

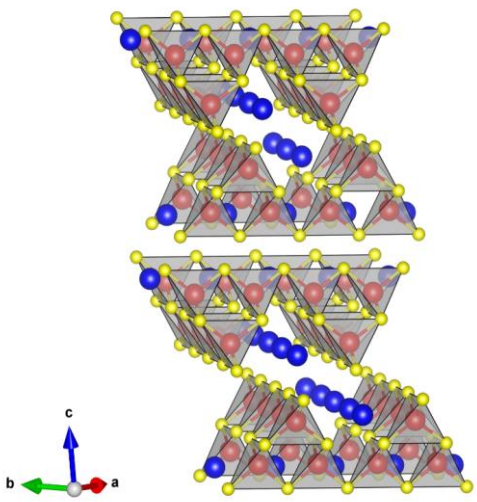


Fig.1. Visualization of the crystal structure of $TlGaSe_2$ compound composed of $GaSe_4$ tetrahedrons. The blue, red and yellow spheres represent Tl, Ga and Se ions, respectively.

2 . EXPERIMENTAL TECHNIQUES

$TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ single crystals were grown with the classical vertical Bridgman - Stockbarger technique. The chemical composition of as – prepared Fe – substituted $TlGaSe_2$ single crystals was determined by using scanning electron microscope *Philips XL 30 SFEG* equipped with energy dispersive X - ray (EDX) spectrometer. EDX measurements were taken point to point on the surface of layer at 30 kV.

Magnetization measurements have been performed by using VSM Magnetometer (PPMS, Quantum Design Corporation) for parallel (H ∥ ab) and perpendicular (H ⊥ ab) alignment of the applied magnetic field with respect to the layer plane in the temperature range of between ~ 10 K and ~ 400 K. The magnetization versus temperature measurements have been performed consecutively in ZFC and FC regimes. In ZFC regime the sample was cooled without applying the magnetic field and then the magnetization values (M) were recorded by raising the temperature up to ~ 400 K under the weak magnetic field of H = 50 Oe and the high magnetic field of H = 5 kOe for parallel alignment. In FC regime the sample is cooled to 10 K under the application of the magnetic field of H = 50 Oe and H = 5 kOe for parallel orientation and then the magnetization values (M) are recorded during heating the sample up to ~ 400 K under the same values of applied magnetic field. For perpendicular alignment, ZFC and FC measurements are performed only by applying the weak magnetic field of H = 50 Oe. Isothermal magnetization versus magnetic field curves were recorded during FC measurements for externals fields between - 20 and 20 kOe.

Structure optimization and spin polarized electronic structure calculations of Fe-doped $TlGaSe_2$ have been performed using density functional theory (DFT) [8,9], employing Perdew-Burke-Ernzerhof (PBE) exchange correlation functional within the Generalized Gradient Approximation (GGA) [10]. In the 2x2x1 supercell of $TlGaSe_2$, we substituted an Fe atom for Ga to simulate the Fe-doped $TlGaSe_2$. Our supercell has 128 atoms, and one out of 32 Ga atoms is substituted, corresponding to x=0.03125 in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ single crystal. We carried out initial structure optimizations by SIESTA [11] computer code using optimized norm-conserving pseudopotentials [12–14] and double-ζ basis set augmented by polarization orbitals (DZP). The basis functions were generated with the energy shift parameter of 50 meV, and the DFT forces were augmented by Grimme's dispersion correction [15]. The structures were optimized in conjugate gradient algorithm until all force components were less than 0.04 eV/Å. The electronic and magnetic structure of the relaxed systems were calculated in OpenMX code using norm-conserving pseudopotentials [16,17], and pseudo-atomic localized basis functions [18,19]. Our calculations correspond to scaler relativistic treatment of collinear spins. Dudarev's GGA+U method [20] with the U value of 4.0 eV for Fe 3d was utilized in both SIESTA structure optimization and OpenMX magnetic structure calculations. In the Brillouin zone of our rather large supercell, a k-point sampling of 5×5×5 was utilized. The electronic temperature was set to 300 K, and the charge density was expressed on a real space grid corresponding to 220 Ry plane wave cutoff. We calculated effective exchange coupling parameters J_{ij} between atoms i and j based on Green's function representation of Liechtenstein formula [21] using 'jx' post-processing code in OpenMX version 3.9 program package [22,23]. We used a denser k-point mesh of 20×20×20 in the post-processing stage of our exchange coupling calculations.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of EDX analysis of $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ are shown in Fig. 2. EDX spectra were collected and used to determine the presence and average Tl, Ga, Se elements concentration as well as nominal degree of Fe substitution in individual crystals. EDX elemental mapping collected from different samples and different regions within individual crystals confirmed the presence of constituted atoms Tl/Ga/Se with atomic ratio nearly close to stoichiometric ones 1:1:2. For $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ single crystal with $x = 0.023$, the real atomic composition ratio of constituent elements Tl/Ga/Se/Fe was detected as 20.57:32.14:46.54:0.75 at %, respectively. The elemental maps obtained from EDX studies showed that both of $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ samples have a deficit of Tl and Se atoms and an excess of Ga atoms with respect to the stoichiometric composition. It is worth noting that there are no additional peaks corresponding to other impurities or contaminants, which confirms the high purity of the prepared single crystal.

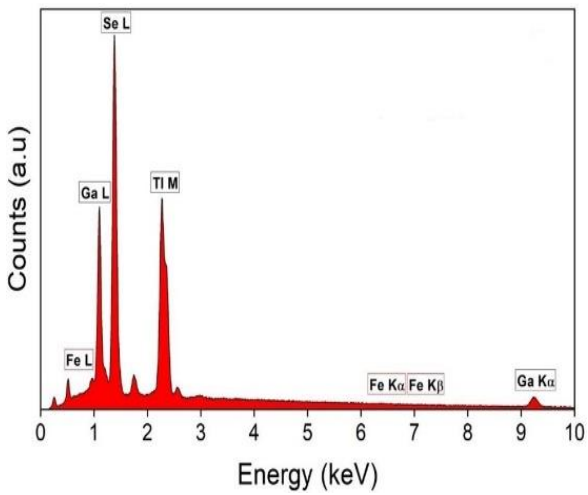


Fig.2. The results of the EDX analysis of $TlGa_{0.977}Fe_{0.023}Se_2$ crystal

The temperature dependencies of mass magnetic susceptibilities $\chi(T)$ of $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ measured in ZFC and FC regimes in the temperature range from ~ 10 to ~ 400 K are shown in Fig. 3. The data were taken in an external dc magnetic field of H = 50 Oe applied to samples in two geometries: parallel ($H_{\parallel}$) and perpendicular ($H_{\perp}$) to the sample surface (ab). At high

temperatures well above ~ 250 K, the Curie – Weiss - like temperature dependences are observed in $\chi(T)$ for $H_{\parallel}$ and $H_{\perp}$. The shape of the $\chi(T)$ curves presented in Fig. 3 indicates the presence of not only both paramagnetic and diamagnetic contributions but also the small long - range ferromagnetic (or antiferromagnetic) one, which becomes most noticeable at temperatures corresponding to a broad maximum of $\chi(T)$ observed for parallel and perpendicular orientations at T_{max} ~ 170 and 155 K, respectively. Thus, the total magnetic susceptibilities of samples represent the sum of the paramagnetic and ferromagnetic (antiferromagnetic) components with the ferromagnetic contribution is rather small than the paramagnetic one.

It should be mentioned that the pristine $TlGaSe_2$ single crystal is a semi – insulating semiconductor which is known to contain several discrete native deep acceptor levels distributed inside the band gap near above the valence band maximum [24]. On the other hand, native deep acceptors are compensated by the shallow donor levels which existed in the energy gap of the undoped $TlGaSe_2$ [25,26]. As a result, $TlGaSe_2$ compound is deeply compensated semiconductor with an extremely low bulk majority charge carrier concentration and poor transport kinetics [27]. For example, the resistivity of $TlGaSe_2$ single crystal at room temperature is in the ~ 10^8-10^{10} $\Omega\cdot$cm range [28]. Obviously, no Pauli paramagnetic contribution from conduction electrons to the temperature dependence of the magnetic susceptibility should be expected. We believe that the magnetic Fe atoms are a single source of paramagnetism in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$. It is conceivable that the Fe atoms are inhomogenously distributed inside of both sample forming local Fe - rich clusters (domains) coexist with paramagnetic Fe - poor areas (less than statistically one Fe^{3+} ion per site). It is possible to conclude with certainty that Fe - poor areas form the paramagnetic matrix in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$. It is obvious that magnetic properties cannot be rigorously approximated using the Curie - Weiss law. However, we will use the Curie - Weiss approximation for experimentally derived temperature dependences of magnetic susceptibility of $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ for evaluating some magnetic parameters.

Above T_{max}, the magnetization curves of both samples can be satisfactory fitted with the Curie - Weiss law [29–31]:

$$[\chi(T)]^{-1} = \frac{(T-\Theta_{CW})}{C} \quad , \qquad (1)$$

where Θ_{CW} is the Curie - Weiss temperature, T is the absolute temperature and C is the Curie constant. Fig. 3 illustrates these behaviors by showing the temperature dependence of the reciprocal susceptibility (χ^{-1}) versus temperature. The magnetic behavior exhibited almost Curie - Weiss behavior (1) in temperature range above ~ 250 K. The Curie - Weiss temperature was estimated as ~ 380 K for $H_{\parallel}$ and ~ 255 K for $H_{\perp}$ measuring geometries.

The fact that magnetic behavior of $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ are completely come from the Fe atoms suggesting that the Weiss molecular - field theory [32] (related to the interactions between total magnetic moment of the isolated Fe atom with its neighbors may be replaced by an effective magnetic field called as the Weiss molecular field) may be qualitatively applied for estimating some quantities related to the interacting magnetic Fe atoms. From the slope C of the linear Curie - Weiss fitting, the effective magnetic moment (per formula unit) $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ semiconductors originated from Fe^{3+} – spin states can be estimated through the well - known relations [29–31]:

$$\mu_{\text{eff}} = \left(\frac{3k_BC}{N_A}\right)^{1/2} \quad , \qquad (2)$$

where k_B is the Boltzmann constant, N_A is the Avogadro number. A magnetic moment of Fe^{3+} ion in the high - spin S = 5/2 state is $\mu = g_{Fe}\sqrt{S(S+1)}\mu_B \sim 5.93\ \mu_B$. Here, μ_B is the Bohr magneton number and g_{Fe} is the Lande gyromagnetic factor, which is approximately equal to ~ 2 for Fe^{3+} ion in the $1s^22s^22p^63s^23p^63d^5$ electron configurations. Using values for μ_{eff} and experimental fitting parameters (C and Θ_{CW}) one can calculate the effective exchange interaction parameter given by the following equation [29–31]:

$$\frac{J_{ex}}{k_B} = \frac{3\Theta_{CW}}{2\langle x\rangle S(S+1)Z_{N-N}} \quad , \qquad (3)$$

where $\langle x\rangle$ is the average atomic fraction of the magnetic Fe^{3+} ions in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ samples which contribute to ferromagnetism and Z_{N-N} is the minimum number of Fe^{3+} nearest neighbor magnetic impurities incorporated into cation sites of host material which may provide an effective magnetic moment due to parallel alignment of interacting the Fe^{3+} $3d$ electron spins. In Eq. (3), $\langle x\rangle$ value in the denominator can be estimated from [29–31]:

$$\langle x\rangle = \frac{M_{Tl}+M_{Ga}+M_{Se}}{S(S+1)[g_{Fe}\mu_B]^2/(3\Theta_{CW}k_B)+M_{Se}-M_{Fe}} \qquad (4)$$

where M_{Tl}, M_{Ga}, M_{Se} and M_{Fe} are the atomic masses of the thallium, gallium cation atoms, selenium anion atom and iron magnetic impurity, respectively.

The calculated average values of J_{ex}/k_B were found to be positive, which confirm our assumption about a weak ferromagnetic ordering in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ at temperatures above ~ 250 K.

It can be seen from the plots of the inverse magnetic susceptibility χ^{-1} versus T that there is a significant temperature range ($T \lesssim 250$ K) over which the Curie constant (the slope of $\chi^{-1}(T)$ curve) of $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ are almost zero for $H_{\parallel}$ orientation, which suggests that all the Fe^{3+} spins are almost paired. This result is unexpected since at higher temperatures the magnetic ordering in $TlGa_{1-x}Fe_xS_2$ samples are expected as a weak ferromagnetic.

On the other hand, from the magnetic susceptibility data plotted in Fig. 3 (that is the shape of susceptibility curves and the minima in the inverse

susceptibility 1/χ vs. T plot) one can assume that the antiferromagnetic contributions from Fe^{3+} impurity moments to the magnetic susceptibility at low temperatures also take place. The data in Fig. 3 clearly show that as the temperature is decreased the χ(T) curves demonstrate the broad maximum inherent probably to the antiferromagnetic transition at T_{max} in both samples [33]. Interestingly, the FC and ZFC magnetization curves for $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ nearly merged in the temperature range from ~ 400 K (the starting temperature of the experiment) to T_{max} and they start to differ faintly at cooling below T_{max} as evident from Fig. 3. Another interesting phenomenon is an absence the bifurcation in the behaviors of FC and ZFC branches at $T \leq T_{max}$.

Additionally, no bifurcation between FC and ZFC data suggests the presence of quasi - two - dimensional short - range spin – spin interatomic correlations between Fe^{3+} ions [34] which determinates non - linearity in 1/χ(T) behavior in the temperature ranges below ~ 250 K.

To complete the investigation of the magnetic properties of $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$, the magnetization (M) versus H curves were measured at various temperature in the magnetic fields up to ~ 50 kOe by a step – by - step increase of H, keeping the speed of the applied field at constant value. The temperature was stabilized at each measuring temperature to within of $\pm 10^{-2}$ K.

Fig. 4 demonstrate a set of M - H curves taken at various temperatures on heating regime. As seen from the figure, the sample exhibits three contributions to the magnetization, namely: an intrinsic diamagnetic contribution from nonmagnetic $TlGaSe_2$ host; a paramagnetic contribution as well as a ferromagnetic contribution due to Fe metal impurities. Corrections for diamagnetic contributions to M - H curves originated from quartz sample holder and thin Teflon tape have been made.

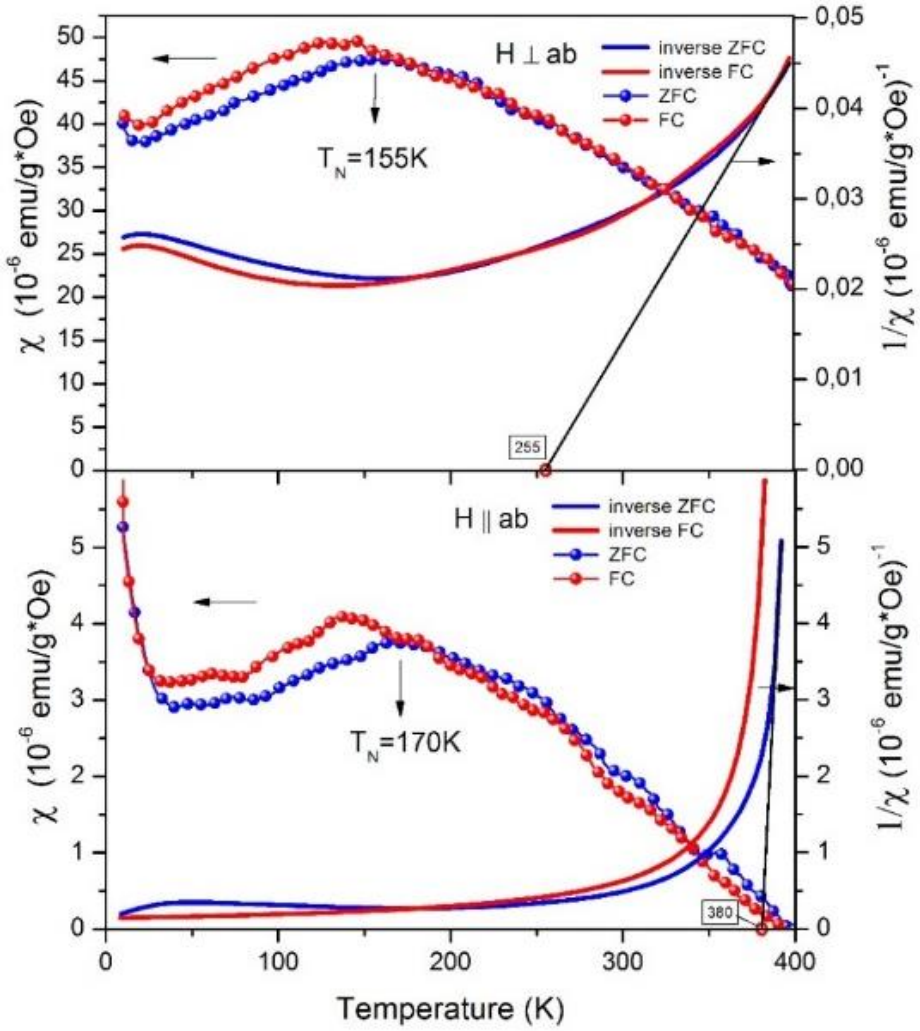


Fig. 3. Temperature dependence of FC, ZFC mass magnetic susceptibility and inverse susceptibility for $TlGa_{0.977}Fe_{0.023}Se_2$ under applied field of H = 50 Oe applied to perpendicular and parallel to *ab* - plane. Susceptibility vs temperature for both samples showing a maximum denoted by T_{max}. The blue and red colored solid circles represent ZFC and FC data, respectively. The blue and red solid line represent the inverse susceptibility of ZFC and FC measurement, respectively. The linear dashed line indicates the Curie - Weiss fit to inverse magnetic susceptibility.

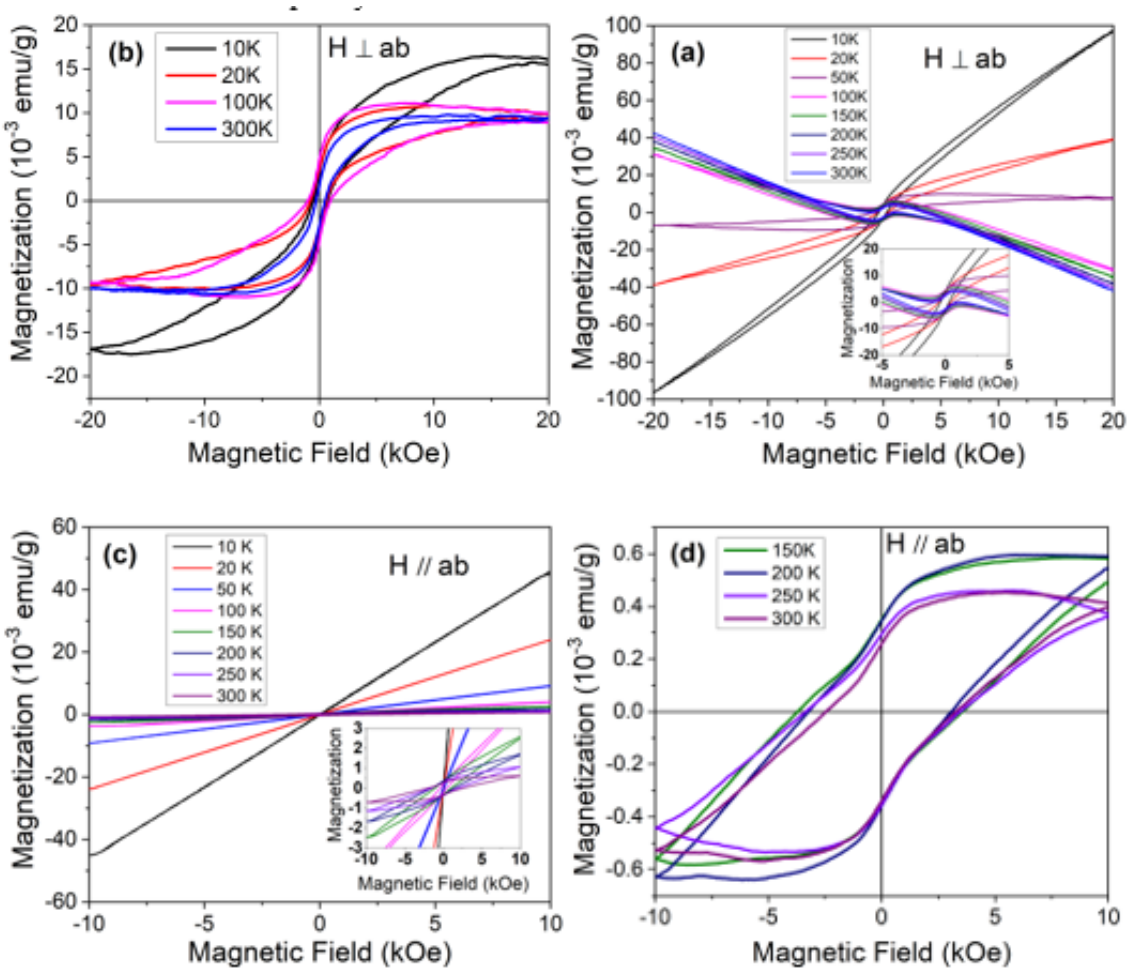


Fig. 4. M - H curves of $TlGa_{0.977}Fe_{0.023}Se_2$ sample taken at different temperatures in the range from ~ 10 to ~ 400 K for various magnetic field amplitudes changing between maximum values of $\pm$ 50 kOe. (a) –and (c) are recorded for H orientations applied to perpendicular and parallel to the ab – sample surface, respectively. The corresponding ferromagnetic component of some loops after subtracting diamagnetic/paramagnetic contribution are displayed in: (b) for perpendicular and (d) parallel magnetic field orientations. The insets display zoomed view of hysteresis loops with linear diamagnetic/paramagnetic contribution.

The traces of ferromagnetic - like symmetric hysteresis loop superimposed on a straight - line component with negative slope (that is typical for diamagnetic contribution) at high temperatures as well as on paramagnetic component at low temperatures are clearly observed from Fig. 4. The hysteresis loops in this figure are zoomed in magnetization scale to compare their shapes within, to some extent, low - field regions. To summarize these analysis, we can make some main conclusions: a) the paramagnetic contribution Fe^{3+} ions becomes more pronounced with decreasing temperature; b) the major part of Fe^{3+} impurities occupies Ga atomic sites are not ferromagnetically ordered; c) by subtraction of straight lines related to diamagnetic and paramagnetic contributions from the data presented in Fig. 4, clear ferromagnetic - like hysteresis loops with well - defined coercive field (H_c) and saturation magnetization (M_s) can be observed over all temperatures.

Fig. 4 shows magnetic hysteresis loops $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ with $x = 0.023$ in out of ab - plane applied magnetic field geometry corrected by the diamagnetic and paramagnetic contributions as a function of temperature. The saturation magnetization of sample at ~ 10 K is found to be about 16.4×10^{-3} emu/g, that is much higher than the values at higher temperatures. The interesting phenomenon observed in Fig. 4 is that the M – H magnetic hysteresis loops have a slightly wasp waisted loop (or pinched off) character which may be related to the antiferromagnetic interaction between some and Fe^{3+} ions.

Similar modulation in magnetic hysteresis loops is also observed for $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ measured along the direction parallel to ab – surface plane at various temperatures (see Fig. 4 (d)). As it is clearly seen from this figure, a very wide and almost rectangular in shape magnetic loops with weakly pinched off at the center exhibiting remarkably high coercivities and quite low M_s values were recorded for $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ especially above ~ 150 K. This behavior may be explained by a reversible motion of a small micro - domain like elements around the individual Fe^{3+} ion requiring stronger magnetic fields for remagnetization. Thus, based on our experimental findings, a possible scenario for magnetic ordering in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ can be suggested. A combination of two independent types of magnetic interactions between trivalent iron impurities introduced into nonmagnetic host lattice positions,

namely, a weak ferromagnetic ordering and antiferromagnetic coupling may be responsible for the magnetic ordering in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$. Depending on the x parameter, the dominant magnetic state between randomly located impurity local moments in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ may be ordered either in a long – range ferromagnetic state or a short - range antiferromagnetic one. In addition, due to local fluctuations of Fe concentration in the host lattice structure of $TlGaSe_2$, Fe - poor areas the paramagnetic matrix

Let us to discuss our model of Fe-doped $TlGaSe_2$ crystal structure suggested for description of magnetic data. We have considered a model $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ structure presented in Fig. 1, in which $GaSe_4$ polyhedrons are indicated by the green color, and $FeSe_4$ ones are colored by the red. We used a 128-atom supercell of $TlGaSe_2$ as the unit cell in our calculations, and a Ga atom in the unit cell was substituted by a Fe atom. Our model system corresponds to x = 0.03125 in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$, where the separation between Fe dopants is larger than 15 Å. To access smaller Fe - Fe distance values for exchange coupling calculations we calculated substitutional double - doped systems.

The structure shown in Fig. 1 was fully relaxed without any symmetry constraints. The substitution does not induce notable structural modifications, and the dopant makes four equal - length Fe - Se bonds of ≅ 2.4 Å. The system remains semiconducting after the single Fe substitution at the Ga site that corresponds to low doping levels. From our DFT modeling we find that the spin polarization per Fe dopant to be 5 μ_B, which corresponds to S = 5/2 for the collinear spin case. This value is nearly consistent with that reported above (5.93 μ_B). Both SIESTA and OpenMX codes give the same magnetic structure. To make sure that our results are not affected by localized basis sets we verified the total magnetic moment by plane wave basis set calculations with Quantum - Espresso computer code [35]. The net spin density $\rho(\uparrow) - \rho(\downarrow)$, defined as the density of majority electrons minus the minority electrons, is depicted as 3D isosurface in Fig. 5, where the density difference $\rho(\uparrow) - \rho(\downarrow)$ is 0.004 electron/bohr^3. The net spin is distributed over the Fe dopant and its neighboring Se atoms, which form the Fe-centered polyhedron. The other atoms in the unit cell have negligible net spin values. The effective exchange coupling J values between the atoms with localized spins are listed in Table 1 as a function of interatomic distances. The exchange coupling $J_{Fe\text{-}Se}$ between the Fe dopant and Se atoms in the unit cell, provided in the left half of Table 2, indicate a ferromagnetic coupling between Fe and Se.

The exchange coupling between Fe - Fe dopants denoted as $J_{Fe\text{-}Fe}$ and listed in the right half of Table 2, indicates antiferromagnetic coupling between Fe dopants. Note that there are two Fe dopants in the unit cell for the distances smaller than 15 Å. At the Fe - Fe distance value of 3.91 Å, there is a bridging Se atom between two Fe dopants. The $J_{Fe\text{-}Fe}$ value of -119 meV for this configuration indicates that Se atoms mediate the antiferromagnetic coupling in the system. The exchange coupling $J_{Fe\text{-}Fe}$ decreases with distance but remains negative. The $J_{Fe\text{-}Fe}$ value for 15.5 Å is essentially the coupling between the Fe dopants in neighboring unit cells of $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ for x=0.03125. The relevant exchange coupling scale between Fe dopants in our system is $J_{Fe\text{-}Fe} = -0.261$ meV since our doping levels are low enough to rule out smaller Fe separations. The electronic and magnetic coupling between the layers is weak, and there are four nearest Fe dopant in a layer. Therefore, the effective exchange coupling experienced by an Fe dopant is approximately -1.0 meV for low doping levels.

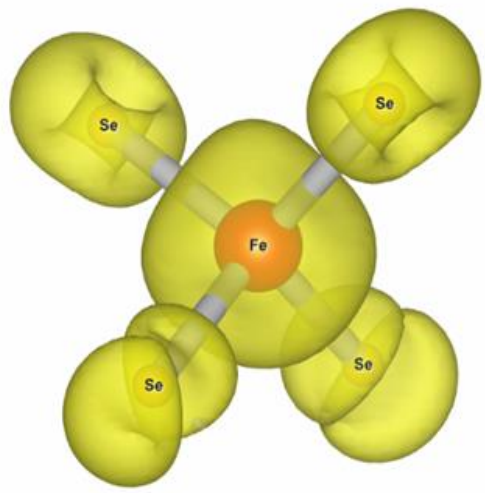


Fig. 5. View of the spin polarization around the single Fe – substituted atom epresented as an isosurface, where the net spin density $\rho(\uparrow) - \rho(\downarrow)$ is 0.004 electron/bohr^3.

The magnetic coupling extends beyond the direct exchange spatial separation range. However, $J_{Fe\text{-}Se}$ beyond the lattice length of 15.48 Å is negligibly small.

Table 1.
Effective exchange coupling between localized spins as a function of distance. $J_{Fe\text{-}Se}$ is the coupling between Fe and Se atoms, $J_{Fe\text{-}Fe}$ between Fe atoms.

distance (Å)	$J_{Fe\text{-}Se}$ (meV)	distance (Å)	$J_{Fe\text{-}Fe}$(meV)
2.41	21.8	3.91	-119
5.98	0.180	7.74	-9.97
9.76	0.0123	15.5	-0.261

Thus, in Fe-doped $TlGaSe_2$, an Fe dopant has ferromagnetic coupling with Se atoms and antiferromagnetic coupling with other Fe dopants. As the exchange coupling decreases with distance, the effective Fe-Se exchange coupling is stronger than Fe-Fe coupling for low doping levels.

4. CONCLUSION

A novel $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ layered magnetic semiconductors diluted with 3 d iron impurities with doping ratio of 2.3 % were grown by using Bridgman - Stockbarger method. The positive value of θ_{CW} obtained from antiferromagnetic curve deduced from VSM magnetic susceptibility χ (T) measurement has been extracted. The obtained hysteresis loops prove the existence of ferromagnetic structure. Through first - principles theoretical calculations, we explore that the $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ compound shows a weak antiferromagnetic order via Fe - Fe linkages

and ferromagnetic coupling via Fe−Se linkages within the layers. There is also a paramagnetic component in $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ which likely arises from the Fe - poor regions. Thus, the Fe - Fe and Fe - Se bond lengths may play an important role in magnetic ordering of $TlGa_{1-x}Fe_xSe_2$ magnetic semiconductor

[1] *G.A. Prinz*, Magnetoelectronics, Science, 282 (1998) 1660–1663.

[2] *H. Ohno*, Making nonmagnetic semiconductors ferromagnetic, Science, 281 (1998) 951–956.

[3] *S.A. Wolf, D.D. Awschalom, R.A. Buhrman, J.M. Daughton, von S. von Molnár, M.L. Roukes, A.Y. Chtchelkanova, D.M. Treger*, Spintronics: a spin-based electronics vision for the future, Science, 294 (2001) 1488–1495.

[4] *Y. Matsumoto, M. Murakami, T. Shono, T. Hasegawa, T. Fukumura, M. Kawasaki, P. Ahmet, T. Chikyow, S. Koshihara, H. Koinuma*, Room-temperature ferromagnetism in transparent transition metal-doped titanium dioxide, Science, 291 (2001) 854–856.

[5] *D. Müller, H. Hahn,* Untersuchungen über ternäre Chalkogenide. XXIV. Zur Struktur des $TlGaSe_2$, Zeitschrift Für Anorg. Und Allg. Chemie. 438 (1978) 258–272.

[6] *A. Cengiz, Y.M. Chumakov, M. Erdem, Y. Şale, F.A. Mikailzade, M.Y. Seyidov*, Origin of the optical absorption of $TlGaSe_2$ layered semiconductor in the visible range, Semicond. Sci. Technol. 33 (2018) 75019.

[7] *S. Yang, M. Wu, H. Wang, H. Cai, L. Huang, C. Jiang, S. Tongay*, Ultrathin ternary semiconductor $TlGaSe_2$ phototransistors with broad-spectral response, 2D Mater. 4 (2017) 35021.

[8] *W. Kohn, L.J. Sham*, Self-consistent equations including exchange and correlation effects, Phys. Rev. 140 (1965) A1133.

[9] *P. Hohenberg, W. Kohn*, Inhomogeneous electron gas, Phys. Rev. 136 (1964) B864.

[10] *J.P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerh* of, Generalized gradient approximation made simple, Phys. Rev. Lett. 77 (1996) 3865.

[11] *J.M. Soler, E. Artacho, J.D. Gale, A. García, J. Junquera, P. Ordejón, D. Sánchez-Portal,* The SIESTA method for ab initio order-N materials simulation, J. Phys. Condens. Matter. 14 (2002) 2745.

[12] *D.R. Hamann,* Optimized norm-conserving Vanderbilt pseudopotentials, Phys. Rev. B. 88 (2013) 85117.

[13] *D.R. Hamann,* Erratum: optimized norm-conserving vanderbilt pseudopotentials, Phys. Rev. B 88, 085117 (2013)], Phys. Rev. B. 95 (2017) 239906.

[14] *M. Schlipf, F. Gygi,* Optimization algorithm for the generation of ONCV pseudopotentials, Comput. Phys. Commun. 196 (2015) 36–44.

[15] *S. Grimme*, Semiempirical GGA-type density functional constructed with a long-range dispersion correction, J. Comput. Chem. 27 (2006) 1787–1799.

[16] *I. Morrison, D.M. Bylander, L. Kleinman,* Nonlocal Hermitian norm-conserving Vanderbilt pseudopotential, Phys. Rev. B. 47 (1993) 6728.

[17] *N. Troullier, J.L. Martins,* Efficient pseudopotentials for plane-wave calculations, Phys. Rev. B. 43 (1991) 1993.

[18] *T. Ozaki,* Variationally optimized atomic orbitals for large-scale electronic structures, Phys. Rev. B. 67 (2003) 155108.

[19] *T. Ozaki, H. Kino,* Numerical atomic basis orbitals from H to Kr, Phys. Rev. B. 69(2004) 195113

[20] *S.L. Dudarev, G.A. Botton, S.Y. Savrasov, C.J. Humphreys, A.P. Sutton*, Electron-energy-loss spectra and the structural stability of nickel oxide: An LSDA+ U study, Phys. Rev. B. 57 (1998) 1505.

[21] *A. Il Liechtenstein, M.I. Katsnelson, V.P. Antropov, V.A. Gubanov*, Local spin density functional approach to the theory of exchange interactions in ferromagnetic metals and alloys, J. Magn. Magn. Mater. 67 (1987) 65–74.

[22] *M.J. Han, T. Ozaki, J. Yu*, Electronic structure, magnetic interactions, and the role of ligands in Mn n (n= 4, 12) single-molecule magnets, Phys. Rev. B. 70 (2004) 184421.

[23] *A. Terasawa, M. Matsumoto, T. Ozaki, Y. Gohda*, Efficient algorithm based on liechtenstein method for computing exchange coupling constants using localized basis set, J. Phys. Soc. Japan. 88 (2019) 114706.

[24] *M.Y. Seyidov, Y. Sahin, M.H. Aslan, R.A. Suleymanov*, Mechanisms of current flow in p-$TlGaSe_2$ single crystals, Semicond. Sci. Technol. 21 (2006) 1633.

[25] *M.Y. Seyidov, F.A. Mikailzade, T. Uzun, A.P. Odrinsky, E. Yakar, V.B. Aliyeva, S.S. Babayev, T.G. Mammadov*, Identification of intrinsic deep level defects responsible for electret behavior in $TlGaSe_2$ layered semiconductor, Phys. B Condens. Matter. 483 (2016) 82–89.

[26] *M.Y. Seyidov, R.A. Suleymanov, E. Balaban, Y. Şale,* Imprint electric field controlled electronic transport in $TlGaSe_2$ crystals, J. Appl. Phys. 114 (2013) 93706.

[27] *M.Y. Seyidov, Y. Sahin, D. Erbahar, R.A. Suleymanov*, Electret states and current oscillations in the ferroelectric semiconductor $TlGaSe_2$, Phys. Status Solidi. 203 (2006) 3781–3787.

[28] *A.K. Fedotov, M.I. Tarasik, I.A. Svito, P. Zhukowski, T.N. Koltunowicz, T.G. Mammadov, M.Y. Seyidov, R.A. Suleymanov, V. Grivickas, V. Bicbaevas*, Electrical properties of the layered

single crystals $TlGaSe_2$ and $TlInS_2$, (2012).

[29] *J.M.D. Coey,* Magnetism and magnetic materials, Cambridge university press, 2010.

[30] *B.D. Cullity, C.D. Graham,* Introduction to Magnetic Materials, A John Wiley & Sons, 2nd Edit., 2009.

[31] *J.K. Furdyna, J. Kossut,* Eds Semiconductors and Semimetals vol. 25 (Boston: Academic) Furdyna JK 1988 J, 1988.

[32] *D.C. Mattis,* Theory Of Magnetism Made Simple, The: An Introduction To Physical Concepts And To Some Useful Mathematical Methods, World Scientific Publishing Company, 2006. https://doi.org/10.1142/5372.

[33] *J.C. Bonner, M.E. Fisher,* Linear magnetic chains with anisotropic coupling, Phys. Rev. 135 (1964) A640. https://doi.org/10.1103/PhysRev.135.A640.

[34] *X. Song, S.N. Schneider, G. Cheng, J.F. Khoury, M. Jovanovic, N. Yao, L.M. Schoop,* Kinetics and Evolution of Magnetism in Soft-Chemical Synthesis of $CrSe_2$ from $KCrSe_2$, Chem. Mater. 33 (2021) 8070–8078. https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.1c02620

[35] *P. Giannozzi, S. Baroni, N. Bonini, M. Calandra, R. Car, C. Cavazzoni, D. Ceresoli, G.L. Chiarotti, M. Cococcioni, I. Dabo,* QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials, J. Phys. Condens. Matter. 21 (2009) 395502.

TUNABLE PHONONIC WAVEGUIDE: FINITE ELEMENT ANALYSIS

ZAFER OZER[1], AMIRULLAH M. MAMEDOV[2-3], EKMEL OZBAY[2]

[1]Mersin University, Mersin Vocational High School, Department of Electronics and Automation, 33160, Mersin, Turkey

[2]Bilkent University, Nanotechnology Research Center, 06800, Ankara, Turkey

[3]Baku State University, International Scientific Center, Baku, Azerbaijan

In this study, the band structure of the phononic crystal with square lattice consisting of piezoelectric cylindrical rods and the transmission loss of finite structure was calculated by the finite element method. The band structure along the *Γ-X-M-Γ* path was obtained by applying Floquet periodicity conditions to the side walls and the free boundary conditions on the top and bottom surfaces of the three-dimensional unit cell, which is periodic in the *x* and *y* directions, infinitely in the *z* direction. A 17x17 array was created from $LiTaO_3$ rods to show transmission losses and adjustable waveguide formation. The perfectly matched layer boundary condition is applied to the beginning and end of the finite structure, and symmetry boundary conditions are applied to the side walls in the *x* direction. The bottom surfaces of all $LiTaO_3$ cylindrical rods are defined as ground potential. To demonstrate the usability of the finite structure as an adjustable waveguide, it has been shown that the wave applied from the input travels along this path by applying a 5V DC voltage to the upper surfaces of the rods in the desired path.

Keywords: Piezoelectric material, Phononic crystal, Tunable waveguide, Finite element analysis

INTRODUCTION

Phononic crystals (PnC), which have interesting properties such as band gap [2], negative refraction [1], wave focus [3,4], are of great interest due to their potential application areas and new properties.

Many studies have been done on the band structures of PnCs [5-8] and PnC based high performance detection systems [9-11]. One of the important features of PnCs is that they have forbidden bands that do not allow waves of certain frequencies to advance.

In the literature, there are many studies using the waveguide obtained by removing some bars in PnCs with wide forbidden bands [12-15]. One of them is the active waveguide made using piezoelectric material [16].

In PnC, instead of the static waveguide made by removing some rods, an adjustable waveguide can be designed by using the coupling feature of piezoelectric materials. In the waveguide where piezoelectric material is used, each bar can be controlled separately and the desired path can be set as a waveguide. In recent years, micrometer scale PnC waveguides and radio frequency (RF) communication and micro electromechanical systems (MEMS) have emerged.

In this study, it has been shown that a wide band gap PnC is designed with finite element method and piezoelectric rods, independent circuits can be controlled and an adjustable waveguide that allows the wave to move along the desired path.

THEORY

Equations 1 and 2 describe the structural equations of piezoelectric materials.

$$T = cS - e^T.E \quad (1)$$

$$D = eS + \varepsilon.E \quad (2)$$

In these equations, *T, S, E, D* are stress, strain, electric field and electric density, *c, e* and *ε* are values of elastic stiffness, piezoelectric coupling and electrical permittivity respectively.

When voltage is applied to rods made of piezoelectric material, the coupling effect "e" in equations 1 and 2 disappears. The dispersion effect of PnC will be different depending on whether the voltage is applied (on) to the piezoelectric rods or not (off). If the piezoelectric rods are arranged periodically in the x-y plane and the polarization is in the z-axis direction, the out-of-plane (in the z-axis direction) displacement will be affected due to the piezoelectric coupling. When no voltage is applied to the circuits connected to the piezoelectric rods, waves with frequencies in forbidden bands cannot propagate in a periodic structure, while when voltage is applied to the circuits, the band will disappear and allow the wave to propagate.

MATERIAL AND METHOD

The lattice constant of the unit cell of the phononic crystal with a square lattice is *a*=30 mm, the cylinder radius is *r*=6 mm, and the height is *h*=0.25×*a* (Figure 1). In order to obtain the band structure of the PnC, the 3-dimensional (3D) unit cell in Figure 1 was used. By applying the Floquet Periodicity Boundary Conditions to the side walls of the unit cell in the *x* and *y* axis direction (surfaces no 1-2, 3-4), the band structure was obtained in the 1st Brillouin region along the Γ-X-M-Γ path. In order to compare the band structure and the transmission losses of PnC, a finite structure consisting of 17×17 $LiTaO_3$ rods placed in the epoxy matrix was used in Figure 2a. *Perfectly Matched Layer* (PML) was applied to the right and left edges, and *Symmetry Boundary Condition* was applied to the lower and upper edges (Figure 2.b and c). Transmission loss was calculated by applying a force of 1 N/mm^2 in the *x*, direction and -1 N/mm^2 in the *z* direction to the left edge of the building in the frequency domain in the

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

frequency domain, in the frequency domain, in the range of 15kHz-55kHz. The bottom of the piezoelectric rods in Figure 2a were defined as ground potential. In Figure 2 b and c, 0V voltage was applied to the upper area of the green bars, 0V then 5V voltage was applied to the upper area of the red rods. It was observed that when a 0V voltage is applied, waves with frequencies in the forbidden bands in the band structure cannot propagate in the structure, while when a 5V voltage is applied to the same rods (red ones), it works as a waveguide where the waves can propagate.

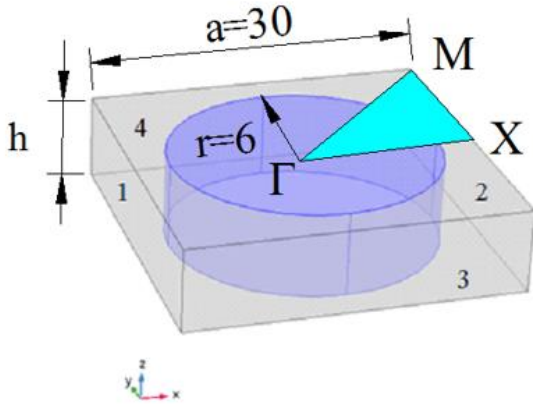


Fig. 1. Three-dimensional unit cell and 1st Brillouin zone

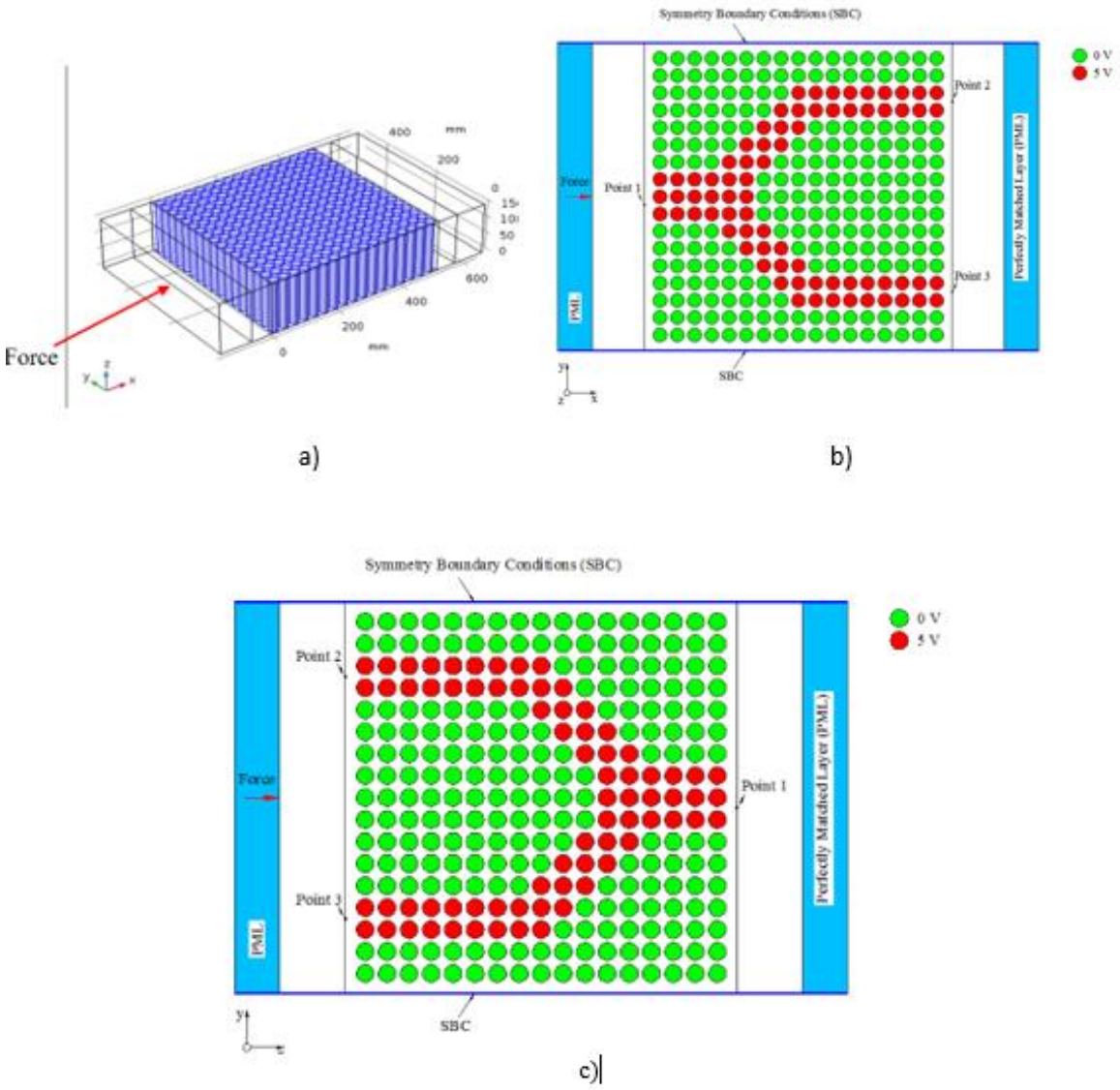


Fig. 2. a) Phononic crystal in finite structure b) appearance of the model 1 waveguide in the *xy* plane c) appearance of the model 2 waveguide in the *xy* plane.

RESULTS AND DISCUSSION

In Figure 3, the band structure obtained by using the unit cell, and in Figures 4 and 5, the transmission losses obtained when I apply 0V (blue graphic) and 5V (green graphic) voltage to the finite PnCs of model 1 and model 2. As it is clearly seen from the figure, waves cannot propagate in the structure when applying 0V voltage, but when 5V voltage is applied to the same rods, the PnC allows the waves to pass by acting as a waveguide.

According to the transmission loss graphs of the finite model 1 and 2 in Figures 4 and 5, the propagation of the 27 and 49 kHz frequency waves in the forbidden band is seen according to the off and on position of the switches applying voltage to the piezoelectric rods (Figure 6-9). As it is clearly seen from the figures, waves cannot move when 0V voltage is applied to the piezoelectric rods in the waveguide, but waves can progress when 5V voltage is applied.

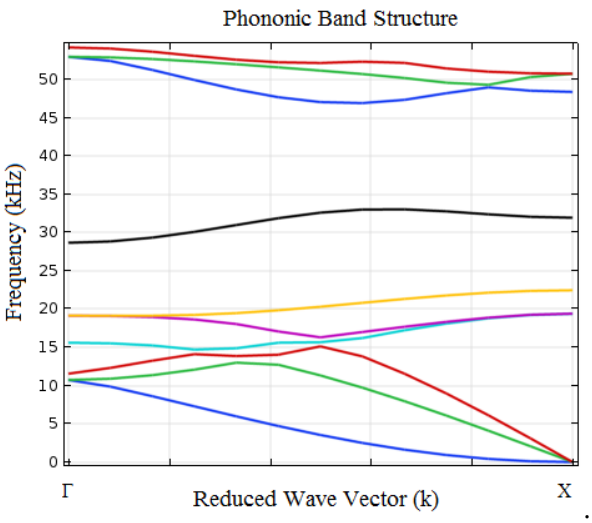


Fig. 3. Band structure of PnC.

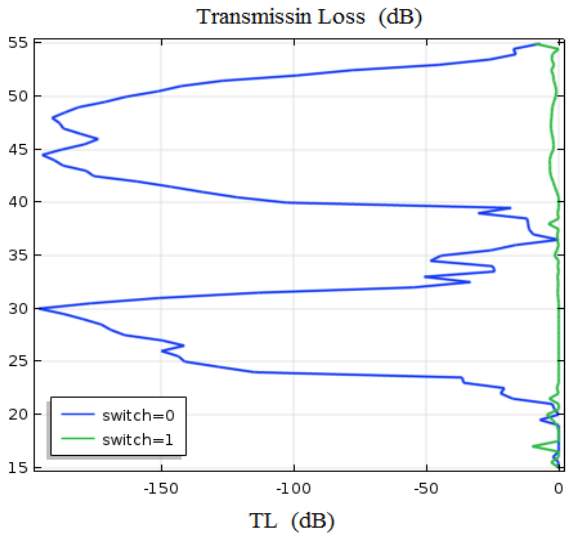


Fig. 4. Transmission loss of the model 1 waveguide.

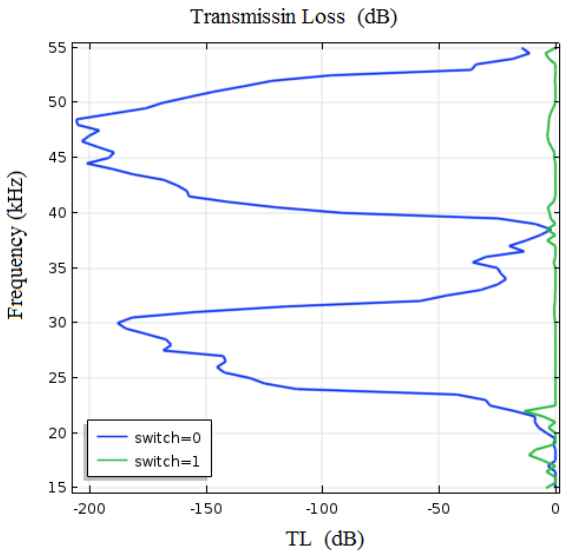


Fig. 5. Transmission loss of the model 2 waveguide.

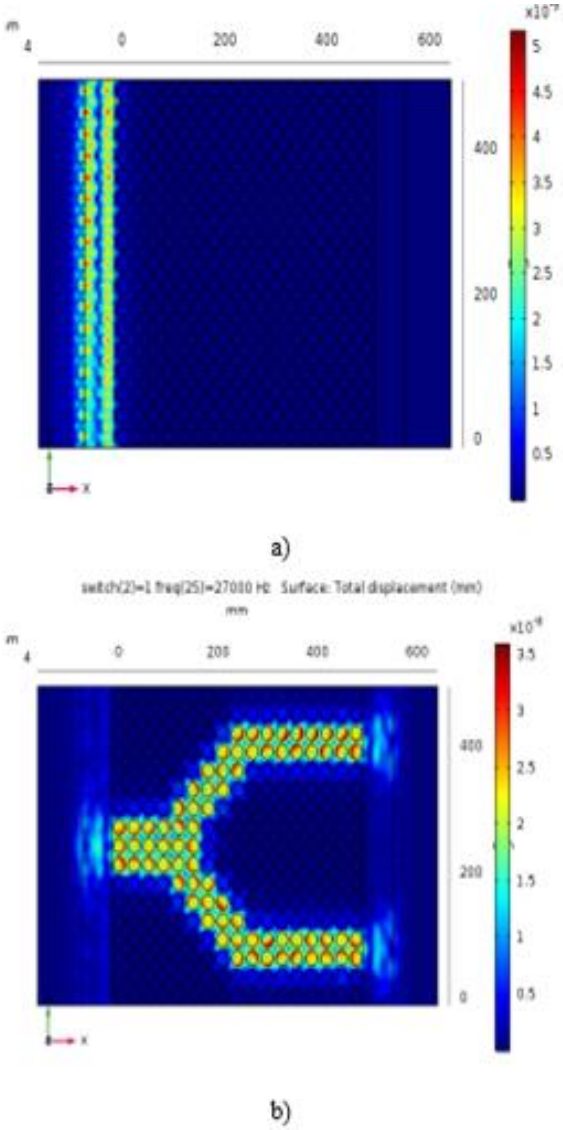


Fig. 6. Propagation of the wave with a frequency of 27 kHz in the model 1 waveguide when a) 0V and b) 5V is applied.

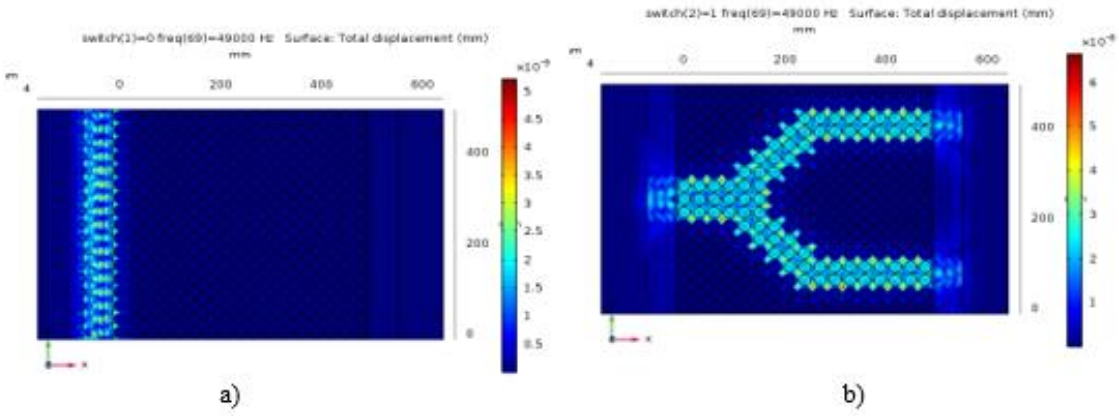


Fig. 7. Propagation of the wave with a frequency of 49 kHz in the model 1 waveguide when a) 0V and b) 5V is applied.

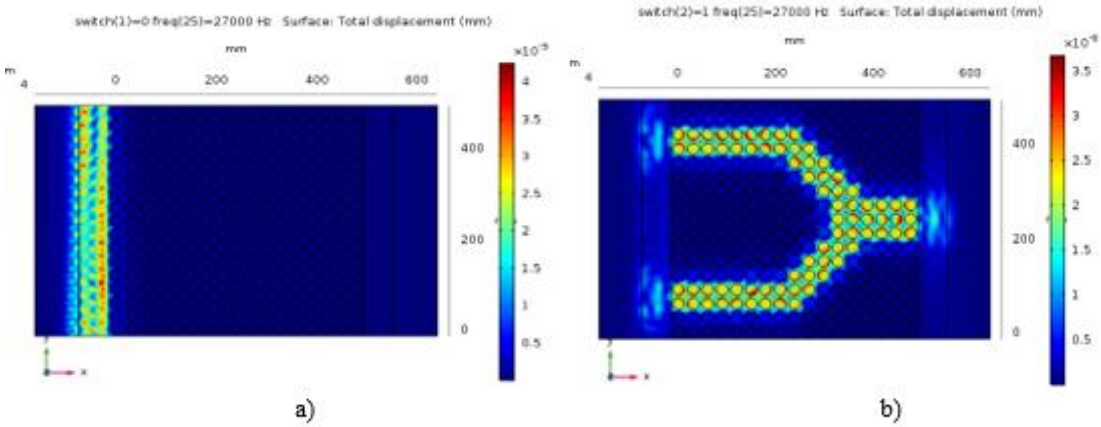


Fig. 8. Propagation of the wave with a frequency of 27 kHz in the model 2 waveguide when a) 0V and b) 5V is applied.

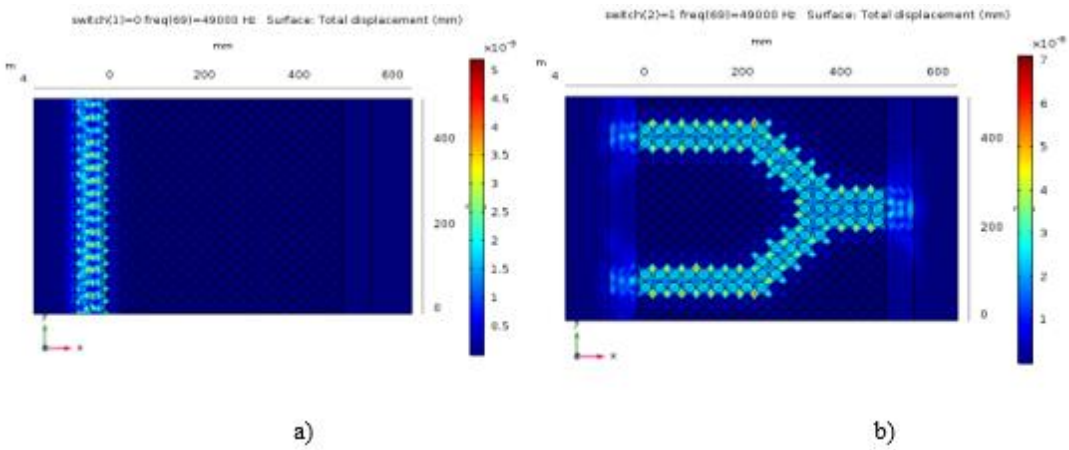


Fig. 9. Propagation of the wave with a frequency of 49 kHz in the model 2 waveguide when a) 0V and b) 5V is applied.

CONCLUSION

The result of this study shows that instead of the static waveguide created by removing the rods in classical PnCs, a PnC consisting of piezoelectric rods can form waveguides that can be dynamically shaped along the desired path. The circuits connected to the piezoelectric rods in the desired path of the wave can be switched and the PnC can be used as an tunable waveguide. PnC, consisting of piezoelectric rods contained in epoxy resin, can work as a waveguide since it has a forbidden band. The piezoelectric rods are connected in separate circuits, making it possible for each to be easily controlled independently, thus precisely guiding the wave. With the wave guiding method designed in this way, integrated elastic waveguiding devices can be developed.

[1] *M.K.Lee, P.S. Ma, I.K. Lee, H.W. Kim and Y.Y.Kim.* Far-field subwavelength imaging for ultrasonic elastic waves in a plate using an elastic hyperlens. Appl. Phys. Lett., 2011, 98, 011909.

[2] *M.S. Kushwaha, P. Halevi, L. Dobrzynski and B. Djafari-Rouhani.* (1993), Acoustic band structure of periodic elastic composites. Phys. Rev. Lett. 71, 2022.

[3] *C.Y. Chiang and P.G. Luan.* Imaging off-plane shear waves with a two-dimensional phononic crystal lens. *J. Phys.: Condens. Matter,* 2010, 22, 055405.

[4] *S.Yang, J.H. Page, Z. Liu, M.L. Cowan, C.T.Chan and P. Sheng.* Focusing of sound in a 3D phononic crystal. Phys. Rev. Lett. 2004, 93, 024301.

[5] *de Miranda Jr EJP.* Santosa JMCD. Complete Band Gaps in Nano-Piezoelectric Phononic Crystals. 2017, Materials Research, 20, 15-38.

[6] *S. Jiang, H. Hu and V. Laude.* Low-frequency band gap in cross-like holey phononic crystal strip. Journal of Physics D, 2018, 51, 4.

[7] *B.J. Ash, S.R. Worsfold, P. Vukusic and G.R.Nash.* A highly attenuating and frequency tailorable annular hole phononic crystal for surface acoustic waves. Nature Communications, 2017, 8, 174.

[8] *Y. Lu, Y. Yang, J.K.Guest & A. Srivastava.* 3-D phononic crystals with ultra-wide band gaps. *Scientific RepoRts,* 2017, 7, 43407.

[9] *H. Gharibi, A. Bahrami.* Phononic crystals for sensing FAMEs with demultiplexed frequencies, Journal of Molecular Liquids, 2020, 305, 112841/ https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112841

[10] *R. Lucklum, J. Li.* Phononic crystals for liquid sensor applications, Measurement Science and Technology, 2009, 20, 12. https://doi.org/10.1088/0957-0233/20/12/124014

[11] *R. Luckluma, M. Keab, M. Zubtsova.* Two-dimensional phononic crystal sensor baed on a cavity mode, Sensors and Actuators B: Chemical, 2012, 171–172, 271-277. https://doi.org/10.1016/j.snb.2012.03.063

[12] *A. Khelif,A.Choujaa,S.Benchabane,B. Djafari-Rouhani and V. Laude.* Guiding and bending of acoustic waves in highly confined phononic crystal waveguides. Appl. Phys. Lett., 2004, 84, 4400.

[13] *J.H. Sun and T.T. Wu,* Analyses of mode coupling in joined parallel phononic crystal waveguides. Phys. Rev., 2005, B, 71, 174303.

[14] *T.C. Wu, T.T. Wu and J.C. Hsu.* Waveguiding and frequency selection of Lamb waves in a plate with a periodic stubbed surface. Phys. Rev. B, 2009, 79, 104306.

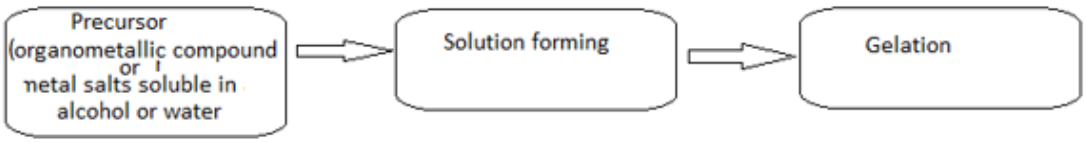
[15] *Y. Pennec, B. Djafari Rouhani, H. Larabi, A. Akjouj, J.Gillet, J. Vasseur and G. Thabet.* Phonon tran sport and waveguiding in a phononic crystal made up of cylindrical dots on a thin homogeneous plate. Phys. Rev. B, 2009, 80, 144302

[16] *J.H. Oh, I.K. Lee, P.S. Ma and Y.Y. Kim.* Active wave-guiding of piezoelectric phononic crystals. Applied Physics Letters, 2011, 99, 083505.

PREPARATION OF THIN FILMS OF SOME SEMICONDUCTOR MATERIALS BY THE SOL-GEL METHOD

MAHARRAM Z. ZARBALIYEV
Physics Department of Harran University, 63300 Sanliurfa, Turkiye
Institute of Physics, National Academy of Science of Azerbaijan, A1143 Baku, Azerbaijan
e-mail: mzarbaliyev@gmail.com

The sol-gel method preparing thin film build on sol-gel processing, as wet chemical method for synthesis of various semiconductor thin films. Let's describe successively the steps for obtaining thin films by this method. First of all, let's give the requirements for the choice of materials. The requirement for the choice of materials is should be soluble in alcohol or water the called sol will be obtained from this material, followed by its transfer to the gel state. The molecular precursor (usually metal alkoxide) is dissolved in water or alcohol and converted to gel by heating and stirring by hydrolysis/alcoholysis. Since the gel obtained from the hydrolysis/alcoholysis process is wet or damp, it should be dried using appropriate methods depending on the desired properties and application of the gel[1] . For example, if you have a solution of an alcoholic content, the process of transition to the gel state occurs by burning out the organic components. After the drying stage, the produced gels are powdered and then calcined. Sol-gel method is a cost effective method. The low temperature required for the reaction provides good control over the chemical composition of the products. This method can be used in the process of making ceramics as a metal oxide a projecting link between thin films of metal oxides as a molding material in various fields of their application. The materials obtained from the sol-gel method are used in various fields as optical, electronic, energy, surface engineering, biosensors, and pharmaceutical and separation technologies (such as chromatography). Sol-gel method is a conventional and industrial method for the synthesis of nanoparticles with different chemical composition. Basis of the sol-gel method is the production of a homogeneous sol from the precursors at first steps and after then its conversion into a gel. The solvent in the gel is then removed from the gel structure and the remaining gel is dried.



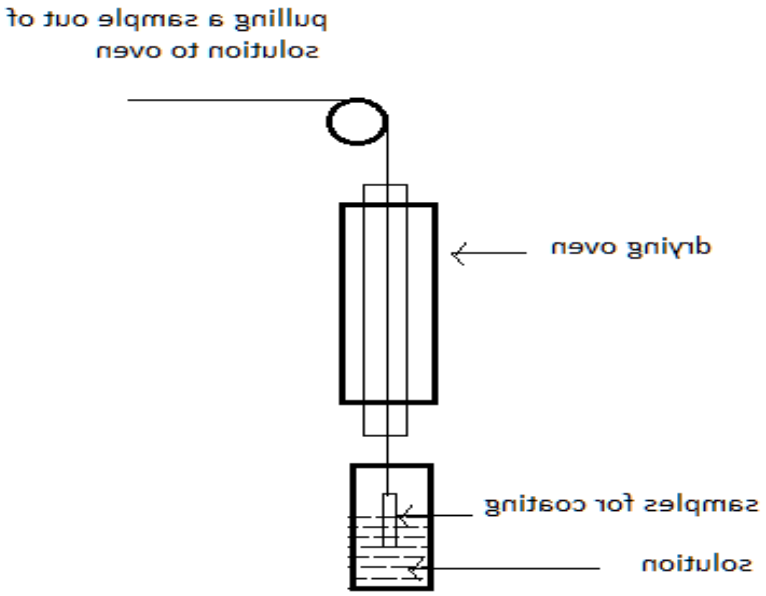
Properties of the gelation products depend significantly on the drying method. In other words, the “removing solvent method” is selected according to the application in which the gel will be used. Dried gels in various ways are used in industries such as surface coating, building insulation, and the production of special clothing. It is worth mentioning that, by grinding the gel by special mills, it is possible to achieve nanoparticles.

The transition from the sol state to the gel state is described for a decided semiconductor thin film.

In our case, we will give a directly executed case of semiconductor products and, based on their parameters, we can study the possibilities of this method. For the first time, we have produced by this method various semiconductor thin films such as In_2Se_3, Ga_2Se_3, $CuInS_2$, In_2S_3 and a number of others [2, 3, 4]. Let's take a look at the fabrication of semiconductor thin film In_2S_3 step by step. As you can see, this is a binary compound and for each element we will prepare a material for making a solution. According to the requirement of sol–gel method for preparation of In_2S_3 semiconductor thin film material should be presence in solution In and S ions which supplied resolution with dissolving of initial materials both for ions In and for ions S separately. First solution for In ions weighted the corresponding quantity from the InCl3 material is obtained and was dissolved in Glacial Acetic Acid or Ethanol one hour stirring. Sulfur ion solution has been prepared separately from powder of Thiourea (CH4N2S), which also weighted according to stoichiometric calculation and solved in ethanol (C2H5OH) and stirring one hour. After then first solution drop by drop added to second solution at stirring. Stirring will continue for 24 hours. Further, with this solution, you can do some actions to prepare the solution for the next stage, that is, the gelation step. After the above steps, the resulting homogeneous solution is considered ready. After that, you can determine the parameters of the solution. These parameters can be the density of the solution, the pH parameter of the solution. The characteristics of the

obtained semiconductor thin films can strongly depend on these parameters.

The next step is coating and gelation. Coating have also several type. For example, deep coating or spin coating.



By repeating the indicated step successively, the required thin film thickness can be obtained.

[1] *Dmitry Bokov, Abduladheem Turki Jalil, Supat Chupradit, Wanich Suksatan, Mohammad Javed Ansari, Iman H. Shewael, Gabdrakhman H. Valiev and Ehsan Kianfar*. Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application, Hindawi Advances in Materials Science and Engineering, Volume 2021, Article ID5102014, 21 pages, https://doi.org/10.1155/2021/5102014

[2] *Maharram Z. Zarbaliyev , Ibrahim H. Mutlu, Ferhat Aslan*. Preparation and characterization of In_2S_3 semiconductor thin films using the sol–gel method, J Sol-Gel Sci Technol (2011) 59:153–157

[3] *Ibrahim H. Mutlu, Maharram Z. Zarbaliyev, Ferhat Aslan*. Preparation of Ga_2Se_3 thin films by sol–gel technique, J Sol-Gel Sci Technol (2009) 50:271–274

[4] *F. Aslan, M.Z. Zarbali, B. Yesilata, I.H. Mutlu*. Effects of Cu/In ratio and annealing temperature on physical properties of dip-coated $CuInS_2$ thin films, Materials Science in Semiconductor Processing 16 (2013) 138=142.

THE STRUCTURAL, MECHANICAL, ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF AMn_7O_{12} (A= Ca, Cd, Sr) PEROVSKITE COMPOUNDS

YILMAZ ŞENER[1], HUSNU KOC[2], AMIRULLAH M. MAMEDOV[3,4], EKMEL OZBAY[3]

[1]*Department of Physics, Faculty of Science and Letters, Siirt University, Siirt, Turkey*
[2]*School of Health, Safety and Health at Work, Siirt University, 56100, Siirt, Turkey*
[3]*Nanotechnology Research Center, Bilkent University, Bilkent, Ankara, Turkey*
[4]*Baku State University, International Scientific Center, Baku, Azerbaijan*
e:mail: hkoc@siirt.edu.tr

The structural, mechanical, electronic, and optical properties of rhombohedral AMn_7O_{12} (A=Ca, Cd, and Sr) compounds are investigated using spin polarized generalized gradient approximation (GGA) for the exchange-correlation energy. For $CaMn_7O_{12}$, $CdMn_7O_{12}$, and $SrMn_7O_{12}$ compounds, the difference between the experimental lattice parameter values used in the calculations and the values obtained as a result of the structural optimization is less than 1%, 1.5%, and 1.4%, respectively. It has been observed that the elastic constants calculated using the stress-strain relationship meet the Born stability criteria for the rhombohedral structure. The elastic modulus and other related quantities have also been calculated and interpreted from these elastic constants. In the spin polarized state, all three compounds have a semi-metal electronic band structure. Finally, the real and imaginary parts of the frequency dependent dielectric function along the x and z axes and other optical functions have been calculated.

Keywords: electronic structure, mechanical properties, optical properties, density functional theory
PACS: 71.20.−b; 62.20.−x; 74.25.Gz; 71.15.Mb

1. INTRODUCTION

The compounds with the general formula $(AA'_3)B_4O_{12}$ (A=Ca, Cd, Na, Sr, and rare earth elements), where the A' (Mn, Co, Pd, Cu) and B (B=Mn, Fe, Cr, Al vb) cations are very close to each other, produce fundamental physics to understand the coupling mechanism of static electricity and magnetism. Moreover, these compounds have attracted great interest in various technological applications due to their interesting physical properties, such as heavy fermion properties, intersite charge transfer, structural phase transitions, giant dielectric constant, linear and nonlinear magnetic order, and multiferroic properties [1-3].

Among AMn_7O_{12} perovskite compounds, the rhombohedral $CaMn_7O_{12}$ compound has received much attention due to its preparation at ambient pressure/or room temperature and its magnetically induced giant ferroelectric polarization (Ps ~ 2870 μC/m^2) [1-5]. When the compound $CaMn_7O_{12}$ is annealed at 450-462 K, it exhibits a structural phase transition from a rhombohedral ($R\bar{3}$) to cubic (space group $Im\bar{3}$) structure. $CdMn_7O_{12}$ and $SrMn_7O_{12}$ compounds have been investigated recently because their structural and physical properties can be prepared at high pressures and temperatures [2-9]. Most of the AMn_7O_{12} (A=Ca, Cd, La, Na, Nd, and Sr) perovskites were studied by Marezio et al. [10] in the 1970s and subsequently extensively studied due to their complex magnetic orders and structural transitions. In the literature review, it was shown that only the electronic properties of the $SrMn_7O_{12}$ compound among these complex compounds have been examined theoretically [11].

As far as we know, the physical properties of these compounds have not been studied theoretically until now, except for the electronic properties of $SrMn_7O_{12}$. In this study, this gap will be filled since the physical properties (structural, mechanical, electronic, and optical properties) of AMn_7O_{12} (A=, Ca, Cd, Sr) perovskite compounds will be examined using the ab-initio method.

2. METHOD

In all of our calculations that were performed using the ab-initio total-energy and molecular-dynamics program VASP (Vienna ab-initio simulation program) [12-15] that was developed within the density functional theory (DFT) [16], the exchange-correlation energy function is treated within the spin polarized GGA (generalized gradient approximation) by the density functional of Perdew et al. [17]. The potentials used for the GGA calculations take into account the $3p^64s^2$ valence electrons of each Ca-, $4d^{10}5s^2$ valence electrons of each Cd-, $4p^65s^2$ valence electrons of each Sr-, $3d^54s^2$ valence electrons of each Mn-, and $2s^22p^4$ valence electrons of each O-atoms. When including a plane-wave basis up to a kinetic-energy cutoff equal to 21.17 Ha for $CaMn_7O_{12}$ and 19.55 Ha for $CdMn_7O_{12}$/$SrMn_7O_{12}$, the properties investigated in this work are well converged. The Brillouin-zone integration was performed using special k points sampled within the Monkhorst-Pack scheme [18]. We found that a mesh of 7x7x3 k points for C2/c, 5x5x4 k points for C2/m, and 6x3x6 k point for $P2_1/m$ was required to describe the structural, mechanical, electronic, and optical properties. This k-point mesh guarantees a violation of charge neutrality less than 0.008e. Such a low value is a good indicator for an adequate convergence of the calculations.

3 RESULT AND DISCUSSION

3.1 STRUCTURAL PROPERTIES

The unit cell structure of AMn_7O_{12} (A=Ca, Sr, Cd) compounds is given in Figure 1. Here, Sr, Mn, and O ions are represented by blue, green, and red colors, respectively. There are three different symmetry regions for Mn ions, labeled Mn_1, Mn_2, and Mn_3. The Mn_1 ions occupied the 9e (0.5, 0, 0) regions, Mn_2 ions 9d (0.5, 0, 0.5) regions, and Mn_3 ions 3b (0, 0, 0.5) regions [4]. It is determined that these materials have an R-3 space group at room temperature and 60 atoms (3 AMn_7O_{12} molecules) in their unit cell.

By using the experimental lattice parameter values given in Table 1 and the atomic positions given in Ref [4, 11, 19], a rhombohedral (R-3) unit cell structure was created for AMn_7O_{12} compounds and the optimization process was performed. As a result of the optimization process, the lattice parameter values of AMn_7O_{12} compounds were calculated. The results that we obtained are given in Table 1 together with the experimental and theoretical results. The differences between the experimental values [1-4, 8, 11, 19-21] that we used in the calculations and the values we calculated are less than about 1.5% for $CaMn_7O_{12}$, less than about 1% for $CaMn_7O_{12}$, and less than about 1.4% for $SrMn_7O_{12}$. This shows that the lattice parameter values that we obtained are reliable and applicable in calculating the physical properties (mechanical and electronic) of AMn_7O_{12} (A=Cd, Sr) compounds.

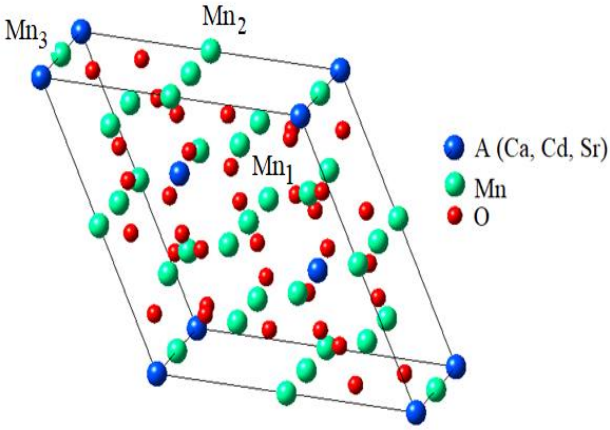


Fig. 1. The rhombohedral crystal structure of AMn_7O_{12} (A=Ca, Sr, Cd).

Table 1.
The calculated equilibrium lattice parameters (a and c) together with the experimental and theoretical values for AMn_7O_{12} (A= Ca, Sr, Cd) compounds

Compounds	a (Å)	c (Å)	V_0 (Å^3)	References
$CaMn_7O_{12}$	10.435	6.432	606.52	Present
	10.443	6.343	599.11	Exp. [20]
	10.442	6.343		Exp. [4]
	10.441	6.340		Exp. [1]
	10.459	6.343	600.86	Exp. [3]
	10.440	6.340		Exp. [8]
	10.630	6.31		Exp. [21]
$CdMn_7O_{12}$	10.455	6.395	605.29	Present
	10.453	6.336	599.56	Exp. [19]
	10.455	6.331	599.35	Exp. [2]
	10.431	6.318		Exp. [7]
$SrMn_7O_{12}$	10.555	6.465	623.79	Present
	10.509	6.384	610.59	Exp. [19]
	10.498	6.380		Exp. [1]
	10.498	6.380	608.92	Exp. [19]
	10.527	6.391		Teori (GGA) [11]

Table 2.
Magnetic moment values of Mn_1, Mn_2 and Mn_3 ions

Magnetic moment	Compounds	Mn_1	Mn_2	Mn_3	References
μB/f.u	$CaMn_7O_{12}$	3.631	3.362	-2.253	Present
		2.31	2.33	2.01	Exp. [22]
	$CdMn_7O_{12}$	3.442	-3.371	2.374	Present
	$SrMn_7O_{12}$	3.675	3.397	2.93	Present
		3.69	3.55	2.93	Teori (GGA) [11]

As a result of spin polarization calculations, magnetic moment values are obtained for AMn_7O_{12} (A=Ca, Sr, Cd) compounds. The magnetic moment values of Mn ions, which contribute the most to the magnetic moments of these compounds, are given in Table 2. When the Mn_1^{+3}, Mn_2^{+3} and Mn_3^{+4} magnetic moment values obtained for the $CaMn_7O_{12}$ compound are compared with the experimental values [22] given

in Table 2, the values of $Mn_1^{+3}$and $Mn_2^{+3}$are slightly larger than the experimental values, while Mn_3^{+4} is compatible in magnitude in opposite direction. The Mn_1^{+3}, Mn_2^{+3}, and Mn_3^{+4} values obtained for the $SrMn_7O_{12}$ compound are 3.675, 3.397 and 2.93, respectively. When these values are compared with the theoretical values [11], it is seen that they are all in agreement.

3.2. MECHANICAL PROPERTIES

The elastic constants are very important parameters to describe the properties of a material. It provides important information about the structural stability, hardness, ductility, nature of bonding between adjacent atomic planes, anisotropy and Debye temperature of materials [23]. In this study, the "stress-strain" method [24] has been used to calculate the elastic constants. The rhombohedral crystal system has six different elastic constants. The elastic constants C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{33}, C_{44}, and C_{66} were calculated and the results are given in Table 3. The elastic constants calculated for AMn_7O_{12} (A=Ca, Cd, Sr) compounds provide the Born stability criteria [25] for the rhombohedral structure. The elastic constants C_{11}, C_{22}, and C_{33} are used to test resistance to linear compression in the x direction [100], y direction [010], and z direction [001], respectively.

Table 3.
The calculated total elastic constants (in GPa) for AMn_7O_{12} (A= Ca, Sr, Cd) compounds.

Compounds	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{33}	C_{44}	C_{66}
$CaMn_7O_{12}$	267.4	105.9	108.9	276.1	80.8	73.7
$CdMn_7O_{12}$	242.6	136.2	137.7	278.6	52.7	48.2
$SrMn_7O_{12}$	296.6	132.4	121.7	282.4	82.6	81.4

It is C_{11}=C_{22} due to the rhombohedral structure. Considering the calculated C_{11} and C_{33} values, it is C_{33}>C_{11} in $CaMn_7O_{12}$ and $CdMn_7O_{12}$ compounds, and C_{11}>C_{33} in $SrMn_7O_{12}$ compounds. These results show that $CaMn_7O_{12}$ and $CdMn_7O_{12}$ compounds are more resistant to linear compression in the z direction, while $SrMn_7O_{12}$ is more resistant to linear compression in the x direction. Since the C_{11} and C_{33} values of $SrMn_7O_{12}$ are greater than the values of the other two compounds, this compound is less compressible in the x and z directions. The large elastic constants C_{44} and C66 relate to a strong resistance to shear distortions in the (100) plane and in the <110> direction, respectively. The calculated C_{44} and C_{66} values for the $SrMn_7O_{12}$ compound are 82.6 and 81.4, respectively. These values are greater than the values obtained for the other two compounds.

Bulk (B) and shear modulus (G), expressing the hardness of a material, can be obtained from elastic constants. We used the Voigt, Reuss, and Hill approximation [26-28] to calculate the bulk and shear modulus of AMn_7O_{12} (A=Ca, Cd, Sr) compounds. Then, other quantities (Young modulus, Poisson ratio, B/G ratio, anisotropic factors, sound velocities, and Debye temperature) were calculated using elastic constants, bulk modulus, and shear modulus values. The calculation results are given in Table 4.

Table 4.
The calculated isotropic bulk modulus (B, in GPa), shear modulus (G, in GPa), Young's modulus (E, in GPa), and Poisson's ratio for AMn_7O_{12} (A= Ca, Sr, Cd) compounds.

Compounds	B_R	B_V	B_H	G_R	G_V	G_H	E	υ	B/G
$CaMn_7O_{12}$	161.97	162.03	162.00	77.95	78.13	78.04	201.73	0.292	2.076
$CdMn_7O_{12}$	175.52	176.33	175.93	52.89	53.20	52.89	144.22	0.363	3.326
$SrMn_7O_{12}$	180.52	180.80	180.54	82.46	82.50	82.48	214.75	0.302	2.190

The Bulk modulus (B) represents the ratio of the stress- strain applied to the unit volume, while the Shear modulus (G) represents the ratio of the stress- strain applied to the unit surface. Young's modulus (E) is the ratio between stress-strain and reflects the material's ability to resist strain [29]. As can be seen in Table 4, the largest and smallest bulk modulus values are obtained as 180.54 GPa for $SrMn_7O_{12}$ and 162.00 GPa for $CaMn_7O_{12}$, respectively, while the largest and smallest shear modulus values were obtained as 82.48 GPa for $SrMn_7O_{12}$ and 52.20 GPa for $CdMn_7O_{12}$, respectively. Among the three compounds, SrMn7O12 has the highest Young's modulus value. Therefore, the SrMn7O12 compound is a harder material than other compounds. The Poisson's ratio reveals the nature of mechanical bonds as well as the interatomic forces in various bonds [30-32]. Poisson's ratio of υ = 0.1 indicates that covalent bonds dominate in the solid, while υ = 0.25 indicates that ionic bonds dominate. The υ values for the compounds $CaMn_7O_{12}$, $CdMn_7O_{12}$, and $SrMn_7O_{12}$ are 0.292, 0.363 and 0.302, respectively. It is seen that the ionic contribution is dominant in all three compounds, but the contribution in the $CdMn_7O_{12}$ compound is slightly higher than the other two compounds. The B/G ratio can be used to determine whether a material is brittle (B/G <1.75) or ductile

(B/G>1.75) [33, 34]. The B/G value of all three materials is more than 1.75. When Table 4 is examined, it will be seen that the $CdMn_7O_{12}$ compound is a more ductile material than the other two compounds.

The elastic anisotropy is an important physical parameter related to the mechanical properties of solids. Anisotropy factors for rhombohedral compounds are $A_1=2C_{66}/(C_{11}-C_{12})$ for (100) planes and $A_3=4C_{44}/(C_{11}+C_{33}-2C_{13})$ for (001) planes [35]. If the value of the anisotropy factors is equal to 1, the material is isotropic, and if it is greater or less than 1, it has anisotropic character. When Table 5 is examined, it is seen that the A_1 and A_2 values of the $CdMn_7O_{12}$ compound are less than 1 compared to the other two compounds.

Therefore, this compound has more anisotropic character than the other two compounds. The elastic bulk and shear modulus also contribute to anisotropy.

Table 5.

The calculated anisotropic factors, sound velocities ($\upsilon_t, \upsilon_l, \upsilon_m$), and the Debye temperatures for AMn_7O_{12} (A= Ca, Sr, Cd) compounds.

Compounds	A_1	A_3	A_B	A_G	v_t(m/s)	v_l (m/s)	v_m (m/s)	θ_D (K)
$CaMn_7O_{12}$	0.992	0.913	0.019	0.114	3926	7248	4381	870
$CdMn_7O_{12}$	0.865	0.905	0.250	0.593	3054	6593	3440	684
$SrMn_7O_{12}$	0.991	0.976	0.070	0.024	3943	7401	4406	867

The percentages of elastic A_B and A_G anisotropy due to linear bulk and shear stress are calculated using the $A_B=(B_V-B_R)/(B_V+B_R)x100$ and $A_G=(G_V-G_R)/(G_V+G_R)x100$ equations [36, 37]. The elastic A_B and A_G anisotropy percentages are zero for isotropic materials and different from zero for anisotropic materials. 100% corresponds to the highest anisotropy value. As can be seen in Table 5, the $CdMn_7O_{12}$ compound has the largest A_B and A_G values. Consistent with the above result, the compound $CdMn_7O_{12}$ has the most anisotropic character.

The Debye temperature is the characteristic temperature of a material at which the atoms have maximum modes of oscillation with respect to their equilibrium positions. Elastic vibration is caused by acoustic vibration mode at low temperature limit. At low temperature, the Debye temperature (θ_D (K)) and elastic wave velocities (transverse (υ_t), longitudinal (υ_l), and mean (υ_m)) were calculated using the equations in Ref [38-40]. The results are given in Table 5. When Table 5 is examined, it is seen that the $CdMn_7O_{12}$ compound has the highest Debye temperature value.

3.3. ELECTRONIC PROPERTIES

The electronic band structure gives the shape of the energy distributions of electrons and holes in a crystal structure. The fundamental properties of a material are determined by its electronic band structure. Since the calculated compounds have magnetic properties, the electronic structure calculations are made in the spin polarized state. In this study under zero pressure, electronic band structures of AMn_7O_{12} (A=Ca, Sr, Cd) compounds have been calculated along different high symmetry points (Γ (0,0,0)→L (0,1/2,0)→Z (1/2,1/2,1/2)→Γ (0,0,0)). The spin up and spin down electronic band structures obtained as a result of the calculation and the partial state densities (PDOS) corresponding to these band structures are given in the Figure 3-Figure 6. The horizontal dashed lines in the figures are the Fermi energy level (E_F).

The electronic band structures calculated in the spin polarized state are given in Figure 2. Figure 2 shows that all three compounds have a semi-metal structure. We obtained this result for the $SrMn_7O_{12}$ compound and it is in agreement with the result stated by Liu et al. [11]. Considering the spin up and spin down electronic band structures (See Figure 3) calculated for all three compounds, the compounds $CaMn_7O_{12}$ and $SrMn_7O_{12}$ in the spin up state and the $CdMn_7O_{12}$ compound in the spin down state are in semi-metal structure. When the spin down band graph for the $CaMn_7O_{12}$ compound is examined, it is seen that the maximum of the valence band is at the L point while the minimum of the conduction band is at the Γ point. Therefore, the transitions between the bands are indirect and the calculated E_g value is 1.227 eV.

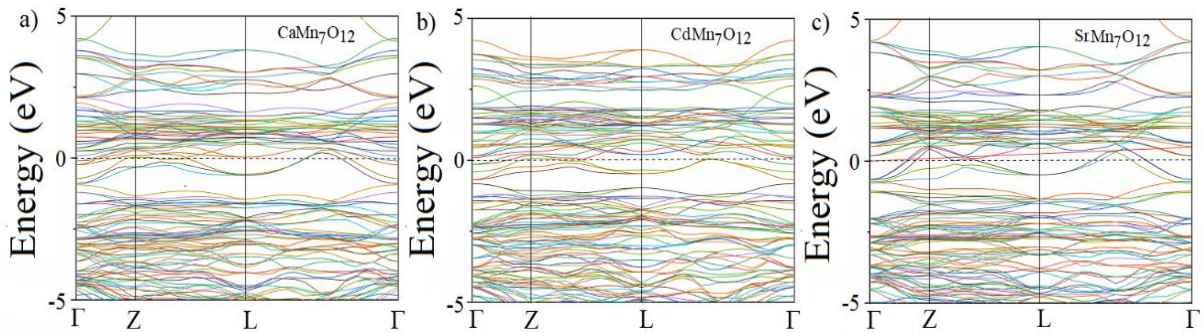


Fig. 2. Electronic band structures calculated for a) $CaMn_7O_{12}$, b) $CdMn_7O_{12}$, and c) $SrMn_7O_{12}$ in the spin

polarized state.

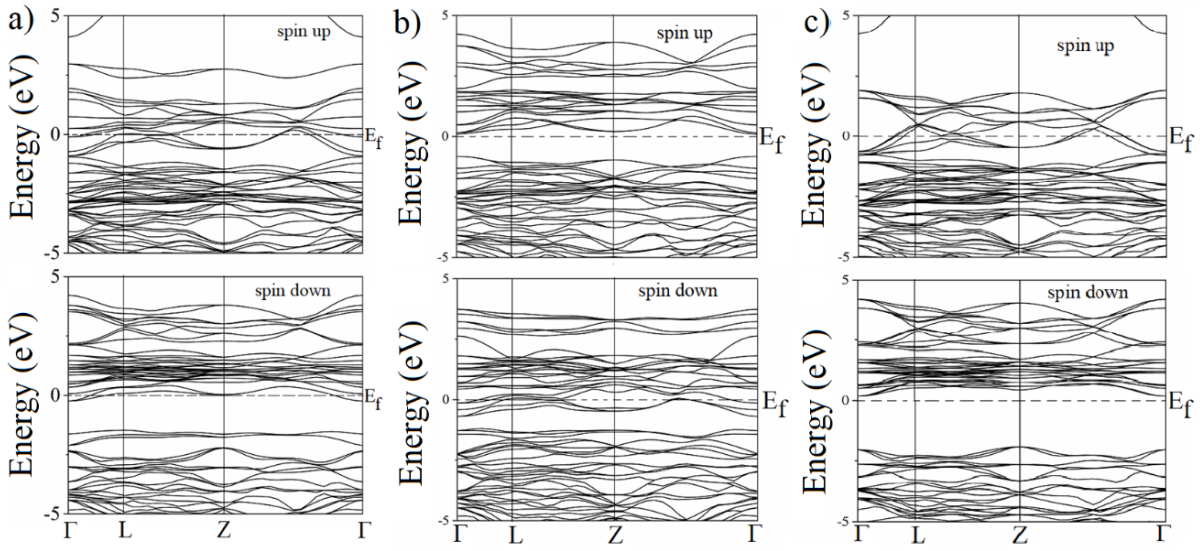


Fig. 3. The calculated electronic band structures for the spin up and spin down of a) $CaMn_7O_{12}$, b) $CdMn_7O_{12}$, and c) $SrMn_7O_{12}$ compounds.

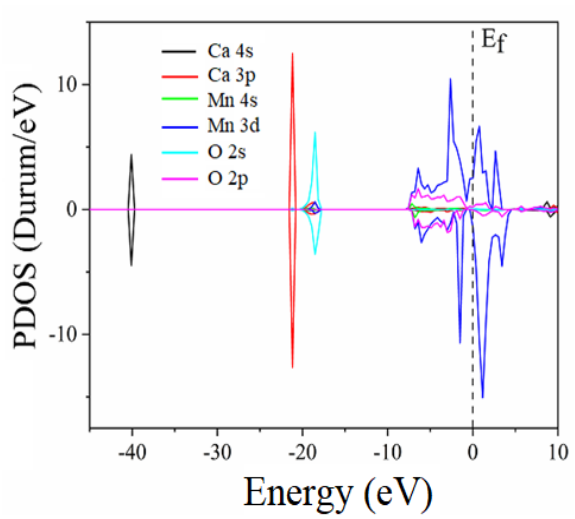


Fig. 4. The projected density of states for the $CaMn_7O_{12}$ compound.

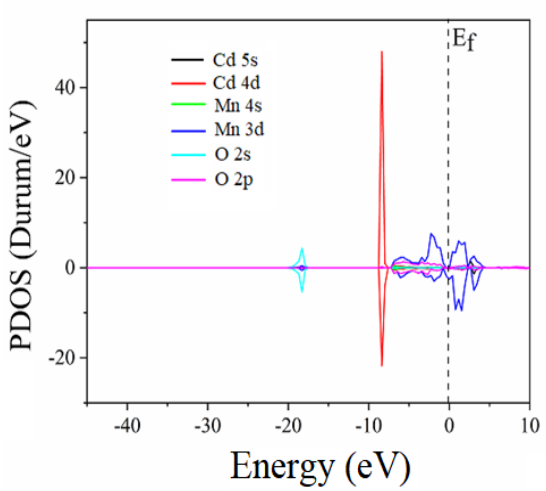


Fig. 5. The projected density of states for the $CdMn_7O_{12}$ compound.

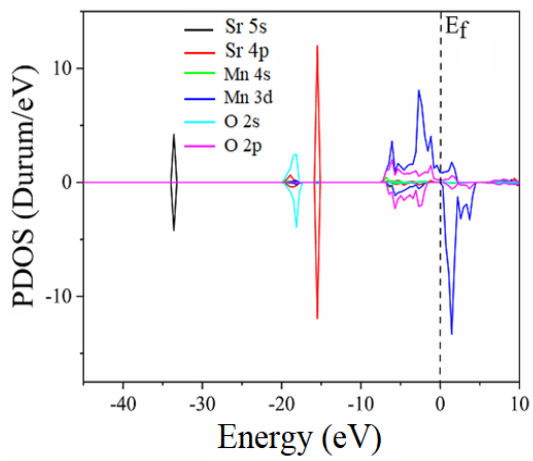


Fig. 6. The projected density of states for the $SrMn_7O_{12}$ compound.

When the spin up band graph for the $CdMn_7O_{12}$ compound is examined, it is seen that the maximum of the valence band and the minimum of the conduction band are at the same k-point, that is, at the Γ point. In the spin up state, the transitions between bands are direct and the calculated E_g value is 0.917 eV. In the spin down band graph of $SrMn_7O_{12}$, the maximum of the valence band and the minimum of the conduction band are at the Γ point, as in the spin up graph of $CdMn_7O_{12}$. Therefore, the transitions between the bands are direct and the calculated E_g value is 2.214 eV.

The spin-dependent partial density of states corresponding to the electronic band structures of $CaMn_7O_{12}$, $CdMn_7O_{12}$, and $SrMn_7O_{12}$ compounds are given in Figure 4, Figure 5, and Figure 6, respectively.

When Figure 4 is examined, in both spin states, the contribution to the lowest valence bands (-45-40 eV) comes from Ca 4s states, the contribution to the bands just above these bands comes from Ca 3p, and the contribution to the bands between -20-15 eV comes

mainly from O 2s states, although the contribution of other states is small. Although the contribution of O 2p states to the valence bands just below the Fermi level (-8-0 eV) and the conduction bands just above it in both spin states cannot be ignored, it is seen that the main contribution comes from the Mn 3d states. This means that there is relatively strong p-d hybridization in the bands. When Figure 5 is examined, in both spin states, the highest contribution to the lowest valence bands comes from the O 2s states and the contribution to the bands just above it comes from the Cd 4d states. Although the contribution of O 2p states to the valence bands just below the Fermi level (-8-0 eV) and the conduction bands just above it in both spin states is very small, it is seen that the predominant contribution comes from Mn 3d states. In these bands, it means that there is weak p-d hybridization. Finally, when Figure 6 is examined in both spin states, the contribution to the lowest valence bands (-35-30 eV) comes from the Sr 5s states, the contribution to the bands just above these bands comes mainly from the O 2s states, although the contribution of the other states is small, and the contribution to the bands between -20-15 eV comes from the Sr 4p states. As in the $CaMn_7O_{12}$ compound, although the contribution of O 2p states to the valence bands just below the Fermi level (-8-0 eV) and the conduction bands just above it in both spin states cannot be ignored, it is seen that the main contribution comes from the Mn 3d states. This means that there is also relatively strong p-d hybridization in these bands.

3.4. OPTICAL PROPERTIES

Optical properties are studied to predict how a material will behave when exposed to electromagnetic radiation. The optical response of a material exposed to radiation is a function of energy or a range of frequencies. Optical properties are related to the electronic band structure of the material. Interactions between a charge carrier on the surface of the material and incident photons cause optical properties to emerge. First, the imaginary part of the dielectric function ($\varepsilon_2(\omega)$) is calculated from the band structure of the materials. Then, the real part of the dielectric function ($\varepsilon_1(\omega)$) is obtained from $\varepsilon_2(\omega)$ using the Kramers-Kronig relationship [41, 42]. Other optical properties are calculated using the

Due to the symmetry of the rhombohedral structure, the real ($\varepsilon_1(\omega)$) and imaginary parts ($\varepsilon_2(\omega)$) of the dielectric function for AMn_7O_{12} (A=Ca, Sr, Cd) compounds were calculated in the x and z directions. Data between 0 and 120 eV was obtained for the real and imaginary parts of the dielectric function, but it was deemed appropriate to use data between 0 and 12 eV in graphic drawings. The calculation results are given in Figure 7-Figure 9. As can be seen in the figures, the real part of the dielectric function takes zero values in transitions from a positive value to negative value ($(d\varepsilon_1)/dE<0$) and from negative value to positive value ($(d\varepsilon_1)/dE>0$). The values of ε_1 in the x- and z-directions are given in Table 6. These values are the values where the reflection decreases.

Table 6.
Some of the principal features and singularities of the linear optical responses for AMn_7O_{12} (A= Ca, Sr, Cd) compounds.

Compounds	$\varepsilon_1(eV)$	$d\varepsilon_1/dE<0$			$d\varepsilon_1/dE>0$			$\varepsilon_2^{maks}(eV)$	
$CaMn_7O_{12}$	ε_1^x	0.246	20.456	27.026	11.158	21.571	29.506	ε_2^x	0.372
	ε_1^z	0.246	20.332	27.150	11.282	23.103	29.506	ε_2^z	0.372
$CdMn_7O_{12}$	ε_1^x	0.374	5.245		0.874	7.119		ε_2^x	0.249
	ε_1^z	0.249	5.120		1.373	6.994		ε_2^z	0.249
$SrMn_7O_{12}$	ε_1^x	0.245	10.122	22.837	8.887	10.493	26.663	ε_2^x	0.123
	ε_1^z	0.245	10.246	22.960	8.887	10.493	26.663	ε_2^z	0.123

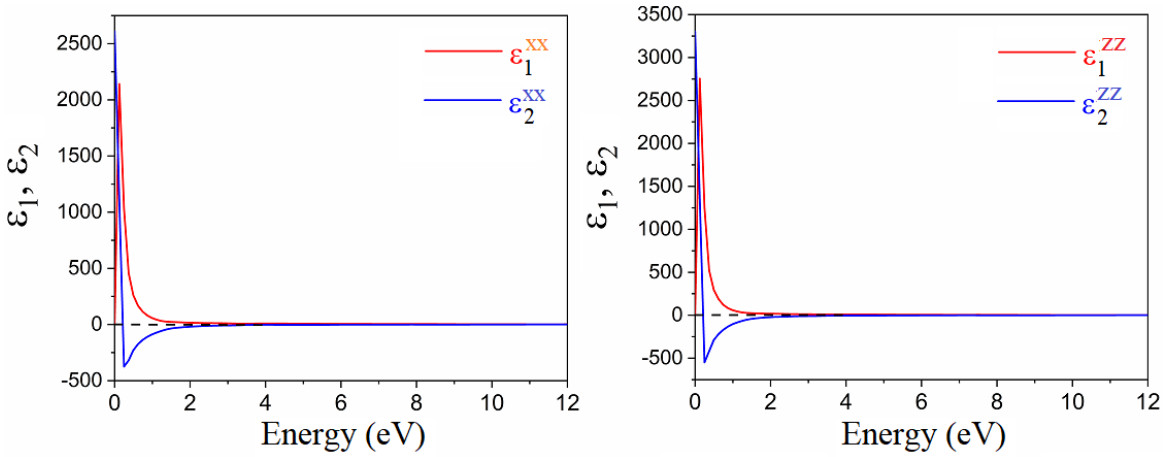


Fig. 7. The calculated reel and imaginary parts of dielectric functions for the $CaMn_7O_{12}$ compound.

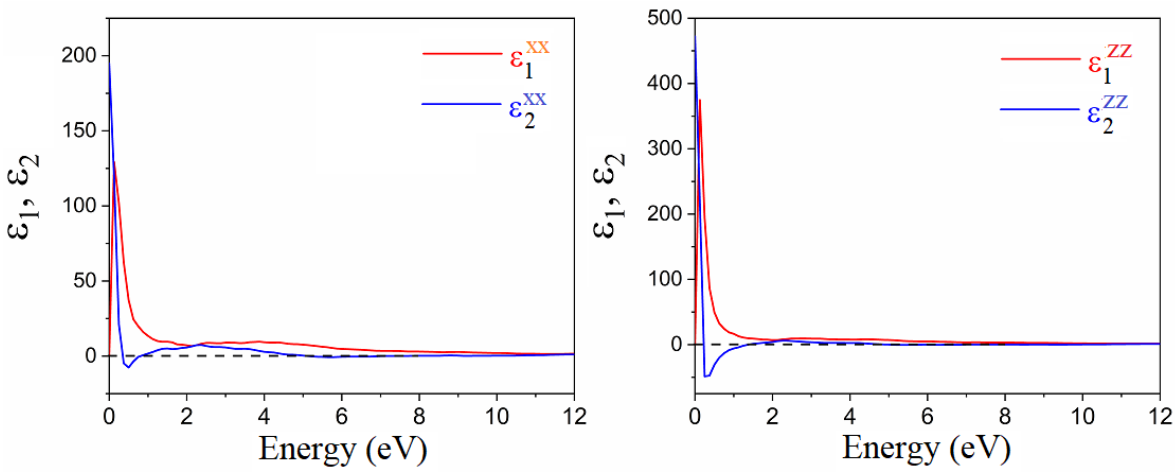


Fig. 8. The calculated reel and imaginary parts of dielectric functions for the $CdMn_7O_{12}$ compound.

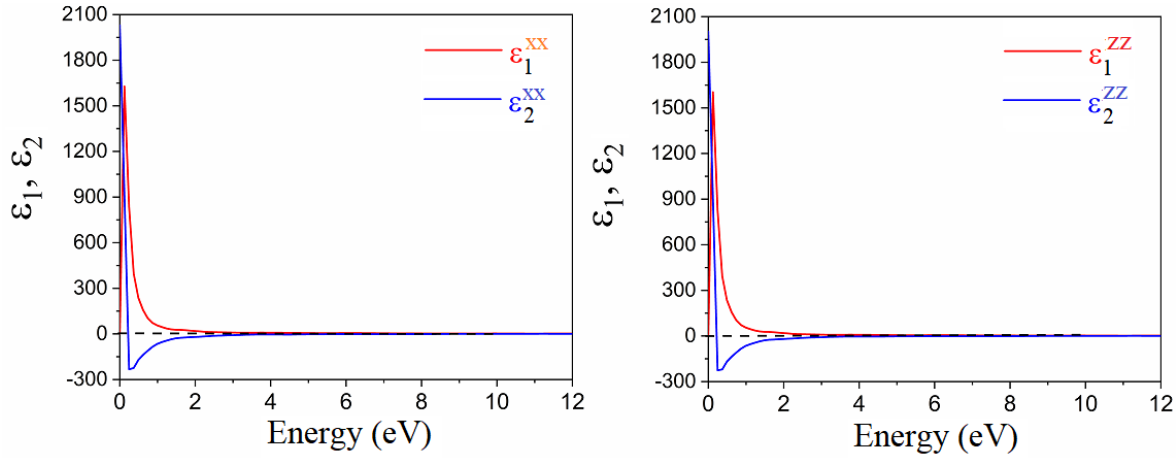


Fig. 9. The calculated reel and imaginary parts of dielectric functions for the $SrMn_7O_{12}$ compound.

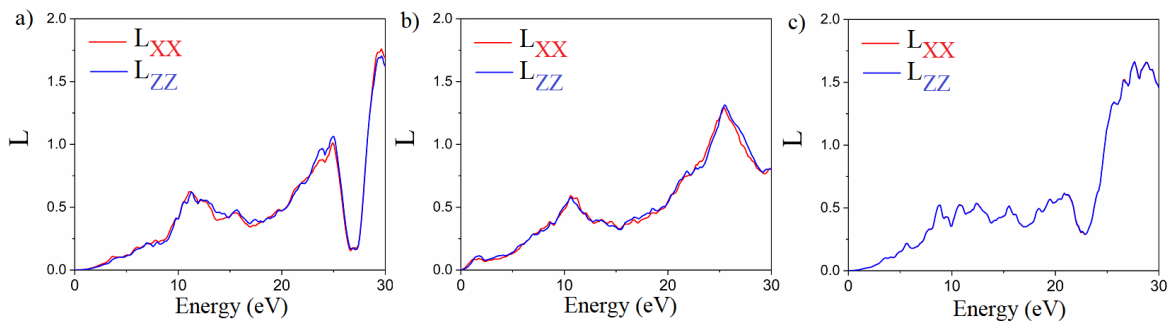


Fig. 10. The energy-loss spectrum (L) for a) $CaMn_7O_{12}$, b) $CdMn_7O_{12}$, and c) $SrMn_7O_{12}$.

When Figure 7-Figure 9 graphs are examined, it is determined that the value of ε_1 decreases with increasing energy between 0.12 and 0.38 eV in the $CaMn_7O_{12}$ compound, between 0.12 and 0.50 eV as well as 2.38 and 5.75 eV in the $CdMn_7O_{12}$ compound and between 0 and 0.38 eV and 9.75 and 10.36 eV in the $SrMn_7O_{12}$ compound. In these energy regions where the real part of the dielectric function decreases, anomalous dispersion characteristics are observed. In cases where the energy is zero (E=0 eV), $\varepsilon(\omega) = \varepsilon_1(0)$. Here, $\varepsilon_1(0)$ is the static dielectric constant. The calculated static dielectric constants for $CaMn_7O_{12}$, $CdMn_7O_{12}$, and $SrMn_7O_{12}$ compounds in the x(z) directions are 2610.8 (3302.3), 195.0 (472.27), and 2030.4 (2003.2), respectively. As seen in the Figure 7-Figure 9 graphs, the significant peak values of the imaginary part of the dielectric function are approximately in the 0-1 eV region. The maximum peak values (ε_2^{maks}) of the imaginary part of the dielectric function for the $CaMn_7O_{12}$, $CdMn_7O_{12}$, and $SrMn_7O_{12}$ compounds were determined as 0.372, 0.249 and 0.123 eV, respectively. It is seen that ε_2 increases until these peak values, and then it decreases. In this energy range, where ε_2 has significant peak values, there is a lot of contribution to the interband transitions. As indicated in the Figure 4-Figure 6 PDOS graphs, these energy regions where the interband transition is very high correspond to relatively strong p-d hybridization (O 2p-Mn 3d).

Plasmon vibrations occur in energy states where ε_1 part of the dielectric function is 0 eV and ε_2 part is minimum. The energy regions where plasmon

vibrations occur are associated with the collective vibrations of valence electrons and energy losses are maximum in these regions [43]. For the rhombohedral AMn_7O_{12} (A=Ca, Sr, Cd) compounds, energy loss functions (L) in the x- and z-directions were calculated using the $L(w) = \varepsilon_1(w)/(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)$ equation. The calculation results are given in Figure 10. In the L_X and L_Z function plots for all three compounds, sharp maxima are observed above approximately 11 eV, 25 eV, and 25 eV. Plasmon vibrations are observed in these energy regions where energy losses are maximum.

4. CONCLUSION

We have performed the structural, mechanical, electronic, and optical properties of rhombohedral AMn_7O_{12} (A=Ca, Cd, and Sr) perovskite compounds using spin polarized generalized gradient approximation. The elastic constants calculated for AMn_7O_{12} (A=Ca, Cd, Sr) compounds provide the Born stability criteria. Using the calculated elastic constants, first the bulk and shear modulus values of AMn7O12 (A=Ca, Cd, Sr) compounds were calculated and then the other quantities were calculated. From the calculated elastic modulus values, it is determined that the $SrMn_7O_{12}$ compound is a harder material than the other compounds. In all three compounds the ionic contribution is dominant and these materials are ductile. Compared to the other two compounds, ionic contribution and ductility are higher in $CdMn_7O_{12}$. Among the calculated isotropic factor values, $CdMn_7O_{12}$ compound has the most anisotropic character. In the spin polarized state, all three compounds are semi-metals. The E_g values calculated from the spin up and spin down band graphs for the $CaMn_7O_{12}$, $CdMn_7O_{12}$, and $SrMn_7O_{12}$ compounds are 1.277 eV (indirect, in the spin down state), 0.917 eV (direct in the spin up state), and 2.214 eV (direct in the spin down state), respectively. The real and imaginary parts of the frequency dependent dielectric function along the x and z axes as well as the energy loss functions are calculated and interpreted.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work is supported by the projects DPT-HAMIT and NATO-SET-193. One of the authors (Ekmel Ozbay) acknowledges partial support from the Turkish Academy of Sciences.

[1] *P. Jain, J. Saha, L.C. Gupta, S. Patnaik, A.K. Ganguli, R. Chatterjee*. 2017. Dramatic variation of the multiferroic properties in Sr doped $Ca_{1-x}Sr_xMn_7O_{12}$. *AIP Advances*, 7, 055832.

[2] *Y.S. Glazkova, N. Terada, Y. Matsushita, Y. Katsuya, M. Tanaka, A.V. Sobolev, I.G. Presniakov, A.A. Belik*. 2015. High-pressure synthesis, crystal structures, and properties of $CdMn_7O_{12}$ and $SrMn_7O_{12}$ perovskites. *Inorganic Chemistry*, 54, 90881–9091.

[3] *A.A. Belik, Y.S. Glazkova, Y. Yatsuya, M. Tanaka, A.V. Sobolev, I.A. Presniakov*. 2016. Low-temperature structural modulations in $CdMn_7O_{12}$, $CaMn_7O_{12}$, $SrMn_7O_{12}$, and $PbMn_7O_{12}$ perovskites studied by synchrotron X-ray powder diffraction and Mössbauer spectroscopy. The *Journal of Physical Chemistry C*, 120, 8278−8288.

[4] *B. Bochu, J.L. Buevoz, J. Chenavas, A. Collomb, J.C. Joubert, M. Marezio*. 1980. Bond lengths in '$CaMn_3$'$(Mn_4)O_{12}$: A new Jahn-Teller distortion of Mn^{3+} octahedra. *Solid State Communications*, 36, 133−138.

[5] *N.J. Perks, R.D. Johnson, C. Martin, L.C. Chapon, P.G. Radaelli*. 2012. Magneto-orbital helices as a route to coupling magnetism and ferroelectricity in multiferroic $CaMn_7O_{12}$. *Nature Communications*, 3, 1277−1282.

[6] *S. Kamba, V. Goian, F. Kadlec, D. Nuzhnyy, C. Kadlec, J. Vít, F. Borodavka, I.S. Glazkova, A.A. Belik*. 2019. Changes in spin and lattice dynamics induced by magnetic and structural phase transitions in multiferroic $SrMn_7O_{12}$. *Physical Review B*, 99, 184108.

[7] *H. Guo, M.T. Fernández-Díaz, L. Zhou, Y. Yin, Y. Long, A.C. Komarek*. 2017. Non-collinear magnetic structure of manganese quadruple perovskite $CdMn_7O_{12}$. Scientific Reports, 7, 45939.

[8] *G. Zhang, S. Dong, Z. Yan, Y. Guo, Q. Zhang, S. Yunoki, E. Dagotto, J.M. Liu*. 2011. Multiferroic properties of $CaMn_7O_{12}$. *Physical Review B*, 84, 174413.

[9] *R.D. Johnson, L.C. Chapon, D.D. Khalyavin, P. Manuel, P.G. Radaelli, C. Martin*. 2012. Giant improper ferroelectricity in the ferroaxial magnet $CaMn_7O_{12}$. *Physical Review Letters*, 108, 067201

[10] *M. Marezio, P.D. Dernier, J. Chenavas, J.C.J. Joubert. 1973*. Pressure synthesis and crystal structure of $NaMn_7O_{12}$. *Solid State Chemistry*, 6, 16−20.

[11] *H.M. Liu, S. Dong, Z.Z Du, P. Chu, J.M. Liu*. 2014. Giant electronic polarization induced by a helical spin order in $SrMn_7O_{12}$: First-principles calculations. EPL, 108, 67012.

[12] *G. Kresse, J. Hafner*. 1993. Ab initio molecular dynamics for liquid metals. *Physical Review B*, 47, 558 (R).

[13] G. *Kresse, J. Furthmüller*. 1996. Efficiency ab-initio total energy calculations for metals and semiconductors using a plane-wave basis set. *Computational Materials Science*, 6, 15-50.

[14] *G. Kresse, D. Joubert*. 1999. From ultrasoft pseudopotentials to the projector augmented-wave method. *Physical Review B*, 59, 1758.

[15] *G. Kresse, J. Furthmüller.* 1996. Efficient iterative schemes for ab initio total- energy calculations using a plane-wave basis set. *Physical Review B*, 54, 11169.

[16] *P. Hohenberg, W. Kohn.* 1964. Inhomogeneous Electron Gas. Physical Review, 136, A1133.

[17] *J.P. Perdew, K. Burke, M. Ernzerhof.* 1996. Generalized gradient approximation made simple. *Physical Review Letters*, 77, 3865.

[18] *H.J. Monkhorst, J.D. Pack.* 1976. Special points for Brillouin-zone integrations. *Physical Review B*, 13, 5188.

[19] *B. Bochu, J. Chenavas, J. C. Joubert, M. Marezio.* 1974. High pressure synthesis and crystal structure of a new series of perovskite-like compounds CMn_7O_{12} (C = Na, Ca, Cd, Sr, La, Nd). *Journal of Solid State Chemistry*, 11, 88-93.

[20] *W. Sławin´ski, R. Przeniosło, I. Sosnowska, M. Bieringer, I. Margiolakic, E. Suard.* Modulation of atomic positions in $CaCu_xMn_{7-x}O_{12}$ (x < 0.1). *Acta Crystallographica*, B65, 535–542.

[21] *J. Sannigrahi, S. Chattopadhyay, D. Dutta, S. Giri, S. Majumdar.* 2013. Magnetic and electric properties of $CaMn_7O_{12}$ based multiferroic compounds: effect of electron doping. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 25, 246001.

[22] *R.D. Johnson, L.C. Chapon, D.D. Khalyavin, P. Manuel, P.G. Radaelli, C. Martin.* 2012. Giant Improper Ferroelectricity in the Ferroaxial Magnet $CaMn_7O_{12}$. *PRL*, 108, 067201.

[23] *H. Koc, E. Deligoz, Amirullah M. Mamedov.* 2011. The elastic, electronic, and optical properties of PtSi and PtGe compounds. *Philosophical Magazine*, 91, 3093–3107.

[24] *Y.L Page, P. Saxe.* 2001. Symmetry-general least-squares extraction of elastic coefficients from ab initio total energy. *Physical Review B*, 63, 174103.

[25] *J.J. Wang, F.Y. Meng, X.Q. Ma, M.X. Xu, L.Q. Chen.* 2010. Lattice, elastic, polarization, and electrostrictive properties of from first-principles. *Journal of Applied Physics*, 108, 034107.

[26] *W. Voight.* 1928. Lehrbook der kristallphysik, Leipsig: Teubner, pp. 962.

[27] *A. Reuss.* 1929. Berechnung der fließgrenze von mischkristallen auf grund der plastizitatsbedingung für einkristalle. *Zeitschrift für Angewante Mathematik und Mechanik*, 9, 49-58.

[28] *R. Hill*. 1952. The elastic behavior of crystalline aggregate. *Proceedings of the Physical Society Section A*, 65, 349-354.

[29] *W. Liu, Y.D. Gan, F.S. Liu, B. Tang, S.H. Zhu, Q.J. Liu.* 2022. First-principles study of sructural, electronic, and elastic properties of Sb_2S_3 under pressure. *Physics Status Solidi* B, 259, 2100234.

[30] *V.V. Bannikov, I.R. Shein, A.L. Ivanovskii.* 2007. Electronic structure, chemical bonding and elastic properties of the first thorium-containing nitride perovskite $TaThN_3$. *Physica Status Solidi (RRL)*, 3, 89-91.

[31] *H. Koc, A. Yildirim, E. Tetik, E. Deligoz.* 2012. Ab initio calculation of the structural, elastik, electronic, and *linear optical properties of ZrPtSi and TiPtSi ternary compounds. Computational Materials Science, 62, 235-242.*

[32] *H. Koc, A.M. Mamedov, E. Deligoz, H. Ozisik.* 2012. First principles prediction of the elastic, electronic, and optical properties of Sb_2S_3 and Sb_2Se_3 compounds. *Solid State Science*, 14, 1211-1220.

[33] *I.R. Shein, A.L. Ivanovskii*. 2008. Elastic properties of mono- and polycrystalline hexagonal AlB_2-like diborides of s, p and d metals from first-principles calculations. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 20, 415218.

[34] *F. Pogh.* 1954. Relations between the elastic moduli and the plastic properties of polycrystalline pure metals. *Philosophical Magazine*, 45, 823-843.

[35] *P. Ravindran, L. Fast, P.A. Korzhavyi, B. Johansson, J. Wills, O. Erikson.* 1998. Density functional theory for calculation of elastic properties of orthorhombic crystals: application to $TiSi_2$. *Journal of Applied Physics*, 84, 4891-4904.

[36] *H. Zhai, X. Li, J. Du.* 2012. First-principles calculations on elasticity and anisotropy of tetragonal tungsten dinitride under pressure. *Materials Transactions*, 53, 1247-1251.

[37] *D.H. Chung, W.R. Buessem.* 1968. In: Vahldiek FW, Mersol SA, editors: Anisotropy in single crystal refractory compounds, New York: Plenum, p 217.

[38] *O.L. Anderson.* 1963. A simplified method for calculating the Debye temperature from elastic constants. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 24, 909-917.

[39] *I. Johnston, G. Keeler, R. Rollins, S. Spicklemire.* 1996. Solids state physics simulations, the consortium for upper level physics software, New York: Wiley.

[40] *E. Schreiber, O.L. Anderson, N. Soga.* 1973. Elastic constants and their measurements, New York: McGraw-Hill.

[41] *H.R. Philipp, H. Ehrenreich.* 1963. Optical properties of semiconductors. *Physical Review*, 129, 1550-1560.

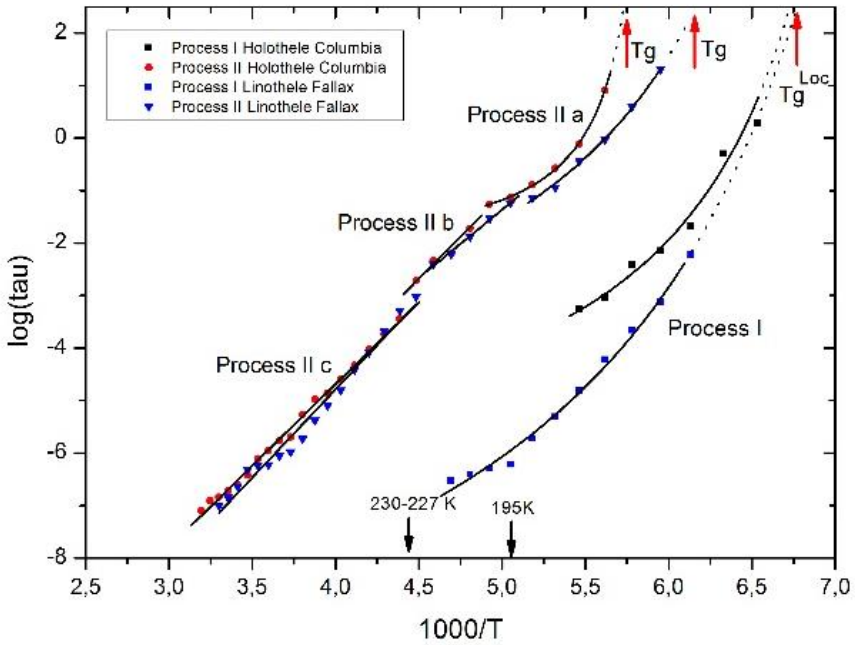
[42] *H. Koc, A.M. Mamedov, E. Deligoz, H. Ozisik.* 2012. First principles prediction of the elastic, electronic, and optical properties of Sb_2S_3 and Sb_2Se_3 compounds. *Solid State Sciences*, 14, 1211-1220.

[43] *L. Marton.* 1956. Experiments on low-energy electron scattering and energy losses. *Reviews of Modern Physics*, 28, 172-183.

DIELECTRIC SPECTROSCOPY STUDY OF NATIVE SPIDER SILK: PHASE TRANSITIONS IN PROTEIN CHAINS

F.M. SALEHLI
Physics Engineering Department of Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey.
salehli@itu.edu.tr

Keywords: spider silk, protein, water, dielectric permittivity, dielectric loss, relaxation time.



The study of dynamic properties of proteins and water-protein interactions is currently a hot-point for understanding the functionality of protein macromolecular systems. Over 400 million years, spiders have been living on their webs using them as a hunting tool. The vitality of spider silk is ensured by unique composition of repeating amino acids molecules such as glycine, alanine, serine and β-sheets forming nanofibers, followed by self-assemble microfibers. Flexibility and extensibility of spider silk are provided by water molecules confined in silk fibroin act as a plasticizer. In the present investigation, the molecular dynamics of native spider silk have been studied in a wide temperature range using broadband dielectric spectroscopy in the interval of 10^{-2}-10^{9} Hz for the first time. The water-protein interactions were performed by the temperature-dependent FTIR spectroscopy. It has been found that the water confined in the web plays decisive role in the physical properties of silk fibroin. There are at least two kinds of bonded water in the water-protein chains of fibroins: i) the tight-bond water with amide groups and ii) weakly bond water forming a hydration shell in nanofiber.

The temperature dependence of real part of permittivity exhibit three main anomalies at ~190K, ~225K and ~315K indicating that phase transitions are associated with a change in dipole moment in the water-protein chains. The transition in the region of 190K is associated with a partial softening of protein chains due to the local melting of tetrahedral water molecules confined in the hydration shell. Increasing dipole contribution to the ε′(T) occurs due to dipolar reorientations as a result of thawing of protein chains.

A considerable change in the ε′(T), namely a triggering of strong dispersion, was found in the region of 220-230K in all studied samples of spider silk. This phenomenon indicates that the dipolar water-protein chains at different lengths appear in the silk fibroins at T > 220K. The temperature dependence of the relaxation times of water-protein molecules have been obtained from the spectra of ε′′(T) using Havriliak-Negami fitting formula (figure). The slowing down of the cooperative motions of water-protein dipoles is associated with glassy dynamics and it results the glass transition temperature (T_g) of water-protein molecules at $\tau = 10^2$s in low temperature part. Cooperativity of molecular motions break down in the region of 190K due to melting of nano-confined water. Two parts of Arrhenius evolution of relaxation times separated at ~225K have different activation energies. The observed Arrhenius behavior is the evidence of unconstrained molecular motions at T > 190K. Thus, the acquiring of the structural plasticity and the enhancement of the functionality of webs occur due to the violation of hydrogen bonds of water shell and bonding water at LDL-HDL transition in the physiological temperature range of spidroins.

131, H.Javid ave, AZ-1143, Baku
Institute of Physics
E-mail: jophphysics@gmail.com

Türkiyədə fizika sahəsində çalışan azərbaycanlı fiziklərin qısa tərcümeyi-halı

(əlifba sırası ilə)

ALLAHVERDİYEV ƏHƏD ORUC OĞLU

Alahverdiyev Ə.O. 1978-cü ildə S.M. Kirov adına Azərbaycan Dövlət Universitetinin fizika fakultəsini bitirmişdir və həmin ildən Y. Məmmədəliyev adına . Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının "Ulduz atmosferləri fizikası" laboratoriyasında əmək fəaliyyətinə başlamışdır.

O, 1982-ci ildən Azərbaycan EA Fizika institutunun Astrofizika laboratoriyasında işləyir. O astrofizika sahəsində tanınmış yüksək səviyyəli bir professionaldır. Onun əsas tədqiqat obyektləri ulduz təkamülünün son məhsulları olan neytron ulduzları (pulsarlar), supernovalar və supernova qalıqları, planetar dumanlıqlar, ağ cırtdanlar və Qalaktikadakı uluzlararası mühitdir. İşlədiyi müddət ərzində bu sahədə çoxu beynəlxalq xarici jurnallarda çap olunmuş 60-dan çox məqalə və məruzə çap etdirmişdir. Bu məqalələrə 150-dən çox istinad vardır. Allahverdiyev Ə.O. öz müəllimi, 3 dəfə Sosoalist Əməyi Qəhrəmanı, akademik Y.B.Zeldoviçin istedadlı tələbəsi Oktay Hüseynovla uzun müddətli elmi əməkdaşlıq sayəsində astrofizikanın bir çox sahələrində uğurlu tədqiqatlar aparmış və bu tədqiqatlar dünya elmi ictimaiyyəti tərəfindən yüksək qiymətləndirilmişdir. Yeri gəlmişkən, O, dünya şöhrətli astrofizik, Azərbaycanda relyativistik astrofizika məktəbinin banisi Oktay Hüsenovla ən uzun müddət ərzinə birgə çalışmlş əməkdaş olaraq, Türkiyədə də Oktay müəllimlə bərabər çalışmaya davam etmişdir.

Azərbaycan öz müstəqilliyini qazandıqdan sonra Allahverdiyev Ə.O. radioastronomiya sahəsində birgə elmi tədqiqatlar aparmaq üçün qardaş Türkiyədəki həmkarları ilə əməkdaşlıq etməyə başlamışdır. 1995-ci ildə Türkiyə Bilimsəl və Texnik Araşdırma Kurumu (TÜBİTAK) və AMEA Fizika institutu arasında praktik radioastronomiya sahəsində birgə tədqiqatlar aparmaq məqsədilə mühüm bir saziş imzalandı və bu saziş çərçivəsində Allahverdiyev Ə.O. Türkiyəyə dəvət edildi. Bu ezamiyyət müddətində Allahverdiyev Ə.O. Marmara Radio Teleskopunun (MRT-2) layihələşdirilməsi, inşaası, nizamlanması və çalışdırılmasında yaxından iştirak etmiş və bu teleskopda alınmış ilk müşahidə materiallarının emalında fəal iştirak etmişdir. Bu işlərdən Türkiyədə ilk dəfə olraq İstanbul üzərində ozon təbəqəsinin incələnməsini göstərmək olar. Türkiyədə olduğu müddətdə Allahverdiyev Ə.O. Türkiiyənin tanınmış elm adamları ilə yanaşı həm də Türkiyə xaricində yaşayan aparıcı elm adamları ilə bərabər həm nəzəri və həm də praktik astrofizika sahəsində elmi tədqiqatlar aparmış və bu sahədə görülmüş işləri Azərbaycana döndükdən sonra da davam etdirmişdir. O hal-hazırda da bu sahədə uğurlu tədqiqatlarını davam etdirir.

AZƏRBAYCAN DÖVLƏT MÜKAFATÇISI, PROF. KƏRİM RƏHİM OĞLU ALLAHVERDİYEV

e-mail: kerim.allahverdi@gmail.com

Allahverdiyev Kərim Rəhim oğlu 1 aprel 1944-cü ildə Qərbi Azərbaycanın İrəvan şəhərində anadan olmuşdur. 1960-cı ildə Bakı şəhəri 26 saylı orta məktəbini bitirib. 1961-1967-ci illərdə Moskva Energetika İnistitutunun Elektromexanika fakültəsində ali təhsil almışdır. 1967-ci ildən Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutunda (əvəlki AMEA Fizika İnstitutu) çalışan K.R. Allahverdiyev, 1969-1972-ci illərdə aspiranturanı bitirmiş, 1972-ci ildə namizədlik (Lebedev adına Fizika İnstitutu, Moskva), dissertasiyasını müdafiə etmiş və fizika-riyaziyyat elmləri namizədi elmi dərəcəsi almışdır, 1974-1975-ci illərdə İngiltərənin Oksford Universitetinin Klarendon laboratoriyasında postdoctoral təhsil almış və işləmişdir. 1982-ci ildə isə doktorluq dissertasiyasını müdafiə etmiş və fizika-riyaziyyat elmləri doktoru elmi dərəcəsi, 1985-ci ildə isə professor elmi adı almışdır.

Prof. K.R.Allahverdiyev 1982-1998-ci illərdə AMEA Fizika İnstitutunun "Optoelektronika" laboratoriyasının müdiri vəzifəsində işləmişdir.

Prof. K.R.Allahverdiyevin elmi tədqiqat işlərinin əsas istiqamətləri aşağıdakılardır: Ekspremental optika, kiçik ölçülü xalkogenid kristalların (həmçinin yüksək təyziq altında) və müasir qeyri-xətti materialların və xırda kristalların (həmçinin nano) fizikası və texnologiyası; 3-lü xalkogenid kristallarda elektrolümenessensiya; Bərk cisim lazerləri və lazer texnologiyası; Bərk cisim fizikası, optika, lazerlər və lidarlar sahəsi; Materialların tədqiqi üçün yeni eksperiment metodlarının tətbiqi; Tələbələrin optoelektronika, lazer spektroskopiyası, bərk cisim fizikası, qeyri xətti optika sahəsində hazırlanması və müşahidəsi; LİDAR və tətbiqi.

Prof. K.R.Allahverdiyev dünyanın bir sıra nüfuzlu Universitetlərində və elmi tədqiqat mərkəzlərində o, cümlədən: Maks-Plank İnstututu, Bərk Cisim Fizikası, Almanya, (avqust 1985 – may 1986), Aaxen Texniki Universiteti, Yarımkeçiricilər Elektronika İnstitutu, Almaniya, (noyabr 1988 – may 1989), Təcrübi Fizika üzrə Bayroyt Universiteti, Almaniya, (yanvar 1990 – may 1990 ; 2005; fevral-mart 2006), ABŞ Hava Qüvvələri WP Lab., Dayton, ABŞ, (may 1996; iyul 2001), Şeffild Universiteti, Fizika fakültəsi, İngiltərə, (avqust 1997 - sentyabr 1997; noyabr 1998 – dekabr 1998), Oksford Universiteti, Yer Elmləri fakültəsi, İngiltərə, (iyun 1999 – iyul 1999), "Elm və

Texnika Proqramı" çərçivəsində, Tsukuba Universiteti, Yaponiya, (sentyabr 1999 - dekabr 1999; sentyabr 2000 - dekabr 2000) dəvvətli professor və böyük elmi işçi kimi elmi tədqiqat işləri ilə məşgul olmuşdur.

Azərbaycan müstəqillik qazandıdan sonra Türkiyə Respublikası universitetlərində və elmi-tədqiqat mərkəzlərində elm və təhsilin inkişaf etdirilməsi məqsədilə Azərbaycan alimlərinin elmi potensialından istifadə etməyə başlamış, Fizika İnstitutunun 60-a yaxın alimi də Türkiyədə işləmək üçün dəvət olunmuş və Türkiyədə elm və təhsilin inkişafına öz layiqli töhvələrini vermişlər.

Prof. K.R.Allahverdiyev 1992-ci ildə Türkiyənin Orta Doğu Texniki Universitetindən dəvət almış, 1995-ci ilə kimi universitetin fizika fakültəsində professor kimi fəaliyyət göstərmiş və bundan sonra Türkiyyə Cümhuriyyətinin müxtəlif elmi tədqiqat mərkəzlərində 1995-1998-ci illərdə TUBİTAK, Elektronika İnstitutunda böyük elmi işçi, 1998-2013-cü illərdə TUBİTAK Mərmərə Araşdırma Mərkəzində böyük elmi işçi, şöbə müdiri kimi elmi tədqiqat işləri ilə məşğul olmuş, 2013-2018-ci illərdə Mərmərə Araşdırma Mərkəzində elmi məsləhətçi kimi elmi fəaliyyətini davam etdirmişdir.

Prof. K.R.Allahverdiyev Türkiyədə elmi fəaliyyəti dövründə (1992-2013) bir sıra layihələrin rəhbəri və icraçısı olmuşdur. Bunlardan aşağıdakıları qeyd etmək olar:

"A^3B^6 və $A^3B^3C_2^6$ laylı yarımkeçiricilərin optik xarakteristikları" layihəsinin rəhbəri və aparıcı tədqiqatçısı, Ankara, Orta Doğu Texniki Universiteti Türkiyə, 1993-1994; "GaSe kristalının böyüdülməsi və xüsusiyyətləri" layihəsinin aparıcı tədqiqatçısı və rəhbəri, ABŞ Hava Qüvvələri, Orta Doğu Texniki Universiteti, Türkiyə, 1995-1996; "$C0_2$ lazerinin effektiv ikinin harmonikası" layihəsinin aparıcı tədqiqatçısı və rəhbəri, ABŞ Hava Qüvvələri, Marmara Araşdırma Mərkəzi, TUBİTAK, Türkiyə, 1996-1988; "Yeni yarımkeçiricilərin istifadə olunduğu işıq diodları" layihəsinin aparıcı tədqiqatçısı və rəhbəri, Marmara Araşdırma Mərkəzi, TUBİTAK, Türkiyə,1997-1999; "GaSe optik xüsusiyyətlərində anizotropiya effekti" layihəsinin aparıcı tədqiqatçısı və rəhbəri, ABŞ Hava Qüvvətləri. Marmara Araşdırma Mərkəzi, TUBİTAK, Türkiyə. 2002-2003; "Kiçik ölçülü yarımkeçiricilərdə nano mühəndislik və onların əsasında Li Batareyaları" layihəsinin aparıcı tədqiqatçısı və rəhbəri, Marmara Araşdırma Mərkəzi, TUBİTAK, Türkiyə, 2002-2004; "Kristalların böyüdülməsinin texnologiyası və tətbiqi" layihəsinin aparıcı tədqiqatcısı və rəhbəri, Marmara Araşdırma Mərkəzi, TUBİTAK, Türkiyə, 2005; "Türkiyədə optik linzaların istehsalının texnologiyası və metodu" layihəsinin aparıcı tədqiqatcısı və rəhbəri, Sivas, Türkiyə, 2005-2006; "Konfokal Raman lazer mikroskopunun işlənməsi və tətbiqi" layihəsinin aparıcı tədqiqatcısı və rəhbəri, Marmara Araşdırma Mərkəzi, TUBİTAK, Türkiyə, 2007; "Ətraf mühitin tətqiqi üçün LİDAR-ın yaradıması və tətbiqi" layihəsinin aparıcı tədqiqatcısı və rəhbəri, Marmara Araşdırma Mərkəzi, TUBİTAK,Türkiyə, 2008-2011; "Yüksək güclü Lazer sistemlərinin tətbiqi" layihəsinin elmi işçisi, Marmara Araşdırma Mərkəzi, TUBİTAK, Türkiyə, 2011-2012; "Azərbaycan və Avropanın elm sahəsində əlaqələrinin möhkəmləndirilməsi və yaxşılaşdırılması" layihəsinin elmi işçisi, Avropa proqramı FP7, 2012-2014; "Lazer və lazer texnologiyaları" layihəsinin elmi işçisi, Marmara Araşdırma Mərkəzi, TUBİTAK, Türkiyə, 2012-2013.

Prof. K.R.Allahverdiyevin elmi nailiyyətlərinin qısa icmalı aşağıdakı kimidir:

GaSe və GaS yarımkeçiricilərin qeyri-xətti optik xüsusiyyətlərin öyrənilməsi və tətbiqi; 3 qat xalkogenid materialların optik xüsusiyyətlərinin araşdırılması; A^3B^6 tip kristallarda ultraqısa lazer impulslarının (40fs) optik keçid udulmaya təsirinin eksperimental tətqiqi; A^3B^6 və $A^3B^3C^6_2$ tip birləşmələrin vibrasiya spektrlərinin İnfra Qırmızı udulma (əks olma) və Raman səpilməsi vasitəsi ilə eksperimental tədqiqi; GaSe-nin Raman səpilməsində Davıdov dubletlərinin müşahidəsi; GaSe-nin 10,6 mkm və 1579 nm-də ikinci harmonikasının eksperimental tədqiqi; GaSe ikinci harmonikasında eksiton generasiyasının müşahidəsi; Konfokal Raman mikroskopiyası və tətbiqi; LİDAR və tətbiqi.

Prof. K.R.Allahverdiyev müasir spektroskopiya (həmçinin təyziq altında, Raman səpilməsi, qeyri-xətti harmonikaların generasiyası və dalğa yerdəyişməsi, foto və elektrolümenessensiya, eksiton udulması və.s), lazerlər və lazer texnologiyaları, monokristalların, nanokristalların və polokristalların (lazer kristalları daxil olmaqla) böyüdülməsi və xarakteristikası, elmlər namizədlərinin və elmlər doktorlarının hazırlanması, layihələrin yüksək idarə olunması bacarığı sahəsində geniş praktiki təcrübəyə malikdir.

Prof. K.R.Allahverdiyev respublika, beynəlxalq və bir çox xarici ölkələrin elmi qurumlarının üzvüdür: Azərbaycan Fizika Cəmiyyətinin üzvü (1982), Türkiyə Fizika Cəmiyyətinin üzv (1992), Nyu-York Elmlər Akademiyasının üzvü (1998), Azərbaycan Milli Yaradıcılıq Akademiyasının üzvü (1988), Avropanın Yüksək Təyziq Tədqiqat Komitəsinin üzvü (1987-1990; 1991-1994; 1996-1999), A.M. Proxorov adına Rusiya Mühəndislik Akdemiyasının üzvü (2007), Avropa Elmlər Akadmeyasının üzvü (2008), Amerika Optika Cəmiyyətinin üzvüdür (2008).

Bundan başqa, alim "Turkish Journal of Physics" jurnalının redaksiya heyyətinin üzvü (1994), Amerika Optika Cəmiyyətinin jurnallarında rəyçi (2002), "Applied Physics" jurnalında rəyçi (2004), "AJP Fizika" jurnalının redaksiya heyyətinin üzvü (2009), "Energy and Engineering" (ABŞ) jurnalının redaksiya heyyətinin üzvü (2010), "Modern Physics" (ABŞ) jurnalının redaksiya heyyətinin üzvü (2011), "American Journal of Physical Sciences" jurnalının redaksiya heyyətinin üzvü (2014), Elm və Ətraf mühit üzrə tətbiqi nailiyyətlər konfransının redaksiya heyyətinin (Tayland, 2015) üzvüdür.

Prof. K.R.Allahverdiyev 1988-ci ildə Azərbaycan dövlət mükafatına (elm sahəsində), 1989-cu ildə Aachen Texniki Universitetinin "Krupp təqaüdü" mükafatına, 1987-1989-cu illərdə Avropa Aerokosmik tədqiqatları ofisi tərəfindən ziyarətçi professor olaraq Krallıq Cəmiyyəti mükafatına, əldə etdiyi nailiyyətlərinə görə SSRİ Elmlər Akademiyası tərəfindən ilin ən önəmli alimi Fəxri adına, 1996 və 2001-ci illərdə ABŞ Hava Qüvvələri mükafatına,

2017-ci ildə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, ilin alimi nominasiyası üzrə Nəsrəddin Tusi adına mükafatına layiq görüimüşdür.

Hal-hazırda prof. K.R.Allahverdiyevin dünyanın 40-dan artıq universitet və elmi-tədqiqat mərkəzi ilə elmi əlaqəsi vardır. Bu elmi-mərkəz və universitetlər arasında Moskva Dövlət Universiteti (Rusiya), məşhur Oksford, Kembric, Şeffild, London, İmperial Universitetləri (Böyük Britaniya), MPI FKF, Stuttqart, RWTH Aachen, Bochum, Bayreuth və Hamburg Universitetləri (Almaniya), ABŞ Hava Qüvvələri Wright Patterson Laboratoriyası, Kolorado Əyalət Universiteti, Tsukuba Universiteti (Yaponiya), Orta Doğu Texniki Universiteti, TÜBİTAK, Marmra Araşdırma Mərkəzi, TÜBİTAK, Elektronika İnstitutu, və Madrid Universitetini (İspaniya) və digər nüfuzlu universitetlərin adlarını çəkmək olar. İndiyə kimi prof. K.R.Allahverdiyevin elmi rəhbərliyi altında 20-dən çox fizika-riyaziyyat elmlər namizədi, 5-dən çox fizika-riyaziyyat elmlər doktorluğu dissertasiyası müdafiə edilib. Azərbaycanda və xaricdə müdafiə olunmuş onlarca doktorluq dissertasiyasının rəsmi opponent kimi çıxış edib.

Prof. K.R.Allahverdiyevin 320-dən çox elmi məqaləsi müxtəlif beynəlxalq elmi jurnallarda və digər nəşrlərdə dərc olunub. Həmçinin 2 monoqrafiya, 7 icmal məqaləsi və 6 patentin müəllifidir. Alim elmi fəaliyyəti dövründə onlarla beynəlxalq konfrans, simpozium, konqres və seminarlarda məruzələrlə çıxışlar etmişdir.

Prof. K.R.Allahverdiyev öz elmi məktəbini yaratmağa nail olmuşdur. Alimin elmi məktəbinin yetirmələri təkcə Azərbaycanda deyil, xarici ölkələrdə də, o cümlədən, Türkiyənin də müxtəlif universitetlərində elm və təhsil sahəsində işlərini davam etdirirlər.

Prof. K.R.Allahverdiyev hal-hazırda Milli Aviasiya Akademiyası ETNAPİ-da "Elmi-texniki informasiya və patent" şöbəsinin rəhbəri vəzifəsində işləyir, SOCAR-ın dəstəklədiyi "LİDAR Vasitəsi ilə Abşeron Yarımadasının Müxtəlif Zonalarında Çıxarılan Neftlərin Raman Spektr Bankının Yaradılması" layihəsinin rəhbəri, icraçısı və gənc elmi kadrların yetişdirilməsi sahəsində fəaliyyətini davam etdirir.

PROF. DR. İSKENDER ASKEROĞLU
(ƏSKƏROV İSKƏNDƏR MEHRALI OĞLU)

Əskərov İskəndər Mehralı oğlu 06 aprel 1949-cu ildə Tovuz rayonunun Əhmədabad kəndində anadan olmuşdur.1956-cı ildə Əhmədabad kend orta mektəbinin birinci sinfinə getmiş və 1966-cı ildə Gədəbəy rayonu Nəriman kənd orrta məktəbini bitirmişdir. 1966-1971-cı illərdə Bakı Dövlət Universtetinin Fizika fakultəsində fizik-fizka müəllimi ixtisası üzrə ali təhsil almışdır. 01.07.1971-25.05.1979-cu illər arasında Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunda baş labarant və kiçik elmi işçi vəzifələrində işləmişdir. Eyni zamanda 1971-1975-ci illərdə Fizika İnstitutunun aspiranturasında istehsalatdan ayrılmamaq şərti ilə təhsil almış və dissertasiya işini uğurla tamamlamışdır.

İ.M.Əskərov 1975-ci ildə "Ga_2Se_3 monokristallarında elektrik keçiriciliyinin, keçid effektinin və optik udulmanın güclü elektrik sahəsində tədqiqi" mövzusunda dissertasiya işini müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, 1992-ci ildə isə "$A_2^3B_3^6$ növ defektli kristallarda keçid və nadir torpaq aşkar elementlərin elektron quruluşu" mövzusunda dissertasiya işini müdafiə edərək "Yarımkeçiricilər və dielektriklər fizikası" ixtisası üzrə fizika-riyaziyyat elmləri doktoru alimlik elmi dərəcəsini almışdır. İ.M. Əskerova Azərbaycan Respublikası Ali Attestasiya Komissiyasının 25 Aprel 1997–ci il

(Protokol № 13) Qərarı ilə Fizika kafedrası üzrə professor elmi adı verilmiştir.

İ.M.Əskərovun doktorluq dissertasiyasının mövzusu, Fizika sahəsində 32 yaşında ən gənç Nobel mükafatını alan, Rudolf Ludwig Messsbauerin adı ilə bağlı olmuşdur. Nüvə Gamma Rezonans və ya Messbauer effektinin ilk dəfə aşkarlı yarımkeciricilərdə həyata keçirilməsi ideyasına, Messsbauerin özü ilə iki dəfə Bakı şəhərində və 1983-cü ildə Alma-Ata şəhərində görüşdüyündə onun tövsiyyələri əsasında doktorluq işinin mövzusu yarandı. Messbauer effekti tibbdə tətbiq edilən EMAR, MRG və NMR metodlarının əsasını teşkil edir. Bu mövzuda Türkiyə də işlədiyi Universitetlərdə magistr və doktor tələbələrini müdafiə etdirmişdir. Dissertasiyaların nəticələri tələbələri ilə birlikdə SCI-yə daxil olan jurnallarda dərc olunmuşdur. Həmçinin onun bu mövzulara aid tək müəllifli məqalələri ən mühüm "Journal of magnetism and magnetic materials" jurnalında 2004 və 2007-ci illərdə dərc olunmuşdur.

25.05.1979-03.10.1997-ci il tarixləri arasında Azərbaycan İnşaat- Mühəndisləri Universtetinin Fizika kafedrasında assisent, dosent və professor vəzifələrində işləmişdir.

İ.M.Əskərov ilk dəfə 1997-ci ilin noyabr ayında Türkiyə Cumhuriyətinin Kütahya Dumlupınar Universitetinə professor kimi dəvvət olunmuş və həmin Universitetin Mühəndislik fakültəsinin Elektrik Elektronika bölməsində 2000-ci ilin sonuna kimi elmi tədqiqat işləri ilə məşğul olmuş və tələbələrə fizika fənnindən dərs vermişdir. 2001-ci ildən başlayaraq Tokat Qaziosmanpaşa Universiteti Fən-Ədebiyat Fakultəsi, Fizika bölməsində əcnəbi professor vəzifəsində çalışmış, 2004-cü ilin 16 iyun tarixindən Fizika kafedrasına daimi professor vəzifəsinə təyin olunmuş və bu tarixdən 2011-ci ilin noyabr ayına qədər Fizika kafedrasının müdiri vəzifəsində işləmişdir.

2005-ci ildə Fizika kafedrasında PhD proqramı açılmış və kafedra 2006-cı ildə bir professor-müəllim heyətinə düşən elmi məqalələrin sayına görə Türkiyənin Dövlət Universitetləri arasında ikinci yeri tutmuşdur. 2006-2010-cu illər arasında Qaziosmanpaşa Universitetin İdarə Heyətinin üzvü və 2005-2011-ci illət arasında Fən-Ədəbiyyat Fakültəsinin Fakültə İdarə Heyətinin üzvü olmuşdur. Universitetin İdarə Heyətinin üzvü olduğu müddətdə

minnəttarlıq və təşəkkürnamə almışdır. Qaziosmanpaşa Universiteti Rektorluğu tərəfindən Beynəlxalq sitat indksləri ilə skan edilmiş jurnallarda dərc olunmuş elmi işlərinə görə 17.03.2005-ci il tarixli 1305 saylı Təşəkkür Sertikatı və Universitet İdarə Heyətinin üzvü olduğu müddətdə təqdirəlayiq və ciddi fəaliyyətinə görə 25.02.2010-cu il tarixli 682 saylı Minnətdarlıq Sertifikatı ilə təltif edilmişdir.

Türkiyədə işlədiyi dövrdən etibarən 15-dən çox magistr tələbəsinə və 3-dən çox fəlsəfə doktoru tələbəsinə elmi rəhbərlik etmişdir. Bu müddet ərzində bakalavr, magistr və fəlsəfə doktoru tələbələrinə Ümumi Fizika, Bərk Cism Fizikası, Elektromaqnetik Nəzəriyyəsi I və II, Maqnetizm və Tətbiqləri, Yarımkeçiricilər Optikası I və II, Kvant Optikası, Kristal Dinamikası, Kvant Elektronkası və digər ixtisas fənn dərslərini tədris etmişdir.

2015-ci il sentyabr ayından etibarən Prof. Dr. İ.M.Askeroğlu Giresun Universitetinin Fən-Ədəbiyat Fakültəsinin Fizika bölməsində professor vəzifəsində işləyir. Vəzifəyə təyin edildikdən sonra Fizika bölməsində fəlsəfə doktoru proqramı açılmışdır.

Prof. Dr. İ.M. Askeroğlunun elmi tədqiqat fəaliyətlərinin nəticələri, 100-dən çox məqalə şəklində yerli və xarici SCI-yə daxil olan elmi jurnallarda derc olunmuştur.Yerli və xarici ölkələr olmaqla çoxlu sayda konfrans və elmi toplantılarda iştirak etmişdir. Eyni zamanda 6 müəlliflik şəhadətnaməsi almışdır.

iskender.askeroglu@hotmail.com

PROF. DR. ARİF BABANLI
(BABAYEV ARİF MİRİ OĞLU)

Arif Babayev 01.12.1959-cu ildə Qərbi Azərbaycanın Krasnoselo rayonu Çaykənd kəndində anadan olub. 1981-cu ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsini bitirmişdir. Təyinatla Kənd Təsərrüfatı Əkinçilik Elmi Tədqiqat İnstitutunda, sonra isə Kosmik Tədqiqatlar Elm İstehsalat mərkəzində işləmişdir..

1992 ci ildə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademiki Prof.F.M.Həşimzadənin rəhbərliyi ilə "Genelləşmiş izotrop Keyn modelində almaz tipli yarımkeçiricilərdə elektron və deşiklərin enerji spektrləri" mövzusunda namizədlik dissertasiyası müdafiə etmısdır.1994-cü ildən 2004-cü ilə qədər Fizika İnstitutunda, Azerbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademiki Prof.F.M.Həşimzadənin laboratoriyasında çalışmışdır.

Arif Babayev 2007-ci ildə akademik F.M. Haşımzadənin elmi məsləhətçiliyi ilə "Aşağı ölçülü kvant sistemlərində elektron və deşiklərin enerji spektrləri " Doktorluq dissertasiyasını müdafiə etmişdir.

Prof.Dr. A.Babanlı 2002-cü ildə TUBİTAK bursu ilə Türkiyə Cümhuriyəti, Süleyman Demirəl Universiteti, Fən Ədəbiyyat Fakültəsinin Fizika bölümündə çalışmış, 2009-cü ildən həmin Universitetdə Riyazi fizika kafedrasının müdiridir. 7 fəlsəfə doktorunun elmi rəhbəri olmuşdur.

2013-cü ildə Türkiyə Cumhiriyəti Ali Təhsil Şurasının Təqaüdü ilə Almanyanın Jülisch şəhərində olan Araştırma mərkəzində çalışmışdır.

Prof.Dr. A.Babanlı hal-hazırda aşağıölçülü kvant sistemlərinin termodinamik, optik və maqnit xassələrinin nəzəri tədqiqini davam etdirir.

e-mail: arifbabanli@sdu.edu.tr

Dr. CAMAL BAĞIROV
(CAMAL BAĞIROV ABUBƏKIR OĞLU)

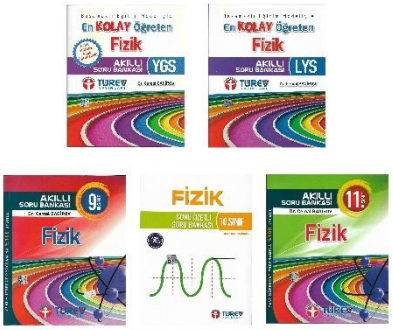
Camal Bağırov 25.03.1952-ci il tarixində Azərbaycanın Qusar rayonunun Xulux kəndində anadan olub. 1968-1969-cu illərdə Bakı şəhərindəki Fizika-Riyaziyyat Təmayüllü İnternat məktəbini bitirmişdir. 1969-1975-ci illərdə Bakı Dövlət Üniversitetində təhsil almışdır. Diplom işi üçün Sankt Peterburqdakı Fizika Texnologiya İnstitutuna göndərilmişdir. 1978-1981-ci illərdə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda aspiranturanı bitirmiş, 1987-ci ildə "$AgBiTe_2$ kristalının termoelektrik xassələrinin araşdırılması" mövzusunda fizika-riyaziyyat elmləri namizədlik dissertasıyasını tamamlamışdır. 1987-1994-cü illərdə Fizika İnstitutunda elmi işçi olarak işləmişdir.

1994-cü ilin iyun ayında TED (Türkiye Eğitim Derneği) Zonquldak kollecindən gələn təkliflə Türkiyəyə getmişdir. 1994-1998-ci illərdə TED kollecində təbiət elmləri rəhbəri (Fen Zümre Başkanı) olaraq işləmişdir. 1999-cu ildən etibarən "Zonguldaq Algı Dersanesinin" qurucularından biri olaraq təbiət elmləri rəhbəri və fizika müəllimi vəzifəsində işləməyə davam etmişdir. 2005-ci ildən etibarən Ankaraya köçmüş və "Özel Gelişim Eğitim Kurumlarında" işləməyə başlamış və bu qurumda 9, 10, 11-ci siniflər üçün izahlı fizika sualları kitabları və 12-ci siniflər üçün izahlı fizika modulları kimi

köməkçi dərs vəsaitlərini yazmışdır. Bu dönəmdə Camal Bağırov yazma, çizmə və animasiya hazırlama proqramları olarak Kuark, İndesign, Freehand, İllustrator, AutoCad, 3dMax, Actionscript 3 və sairə kompüter proqramlarını öyrənmiş və yazdığı bütün test, kitab və modullarında bütün şəkillərin və illüstrasiyaların hamısını bu proqramların köməyilə özü hazırlamışdır. Nümunələrdən biri aşağıdakı Şəkil 1- də verilmişdir.

Şəkil 1

2006 – 2011-ci illərdə "Uğur Eğitim Kurumları", "Sınav Eğitim Kurumları", "Açı Eğitim Kurumlarına" aid kollec və kurslarda fizika bölüm rəhbəri və fizika müəllimi kimi işləmişdir. Bu müddət ərzində fizika dərslərinə aid çox sayda izahlı kitablar və test kitabları, o cümlədən test və təcrübə imtahanları üçün məqalə və dərs vəsaitləri qələmə almış, fizikanın bir çox mövzularına aid animasiyalar hazırlamışdır. "Açı Yayınlarında" yazdığı kitabların bəzı nümunələri Şəkil 2- də verilmişdir.



Şəkil 2

Şəkil 3

"Esen Yayınları" Türkiyədə 30 ildən də artıq bir vaxt ərzində kollec və kurslar üçün köməkçi dərs vəsaitləri hazırlayan qurum-lardan biridir. Bu qurumun fəaliyyətinin 30-cu ilində Dr. Camal Bağırovun yazdığı kitabların bəzı nümunələri şəkil 3-də verilmişdir.

AKADEMİK TƏYYAR CÜMŞÜD OĞLU CƏFƏROV

Tanılmış fizik, akademik, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor, Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutunda laboratoriya rəhbəri vəzifəsində isləyir.

Cəfərov Təyyar Cümşüd oğlu 18 iyul 1939-cu ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur. 1961-ci ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsini bitirərək təyinatla Azərbaycan Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutuna göndərilən T.C. Cəfərov, elə həmin il SSRİ Elmlər Akademiyasının Leninqrad şəhərində (indiki Sankt-Peterburq) yerləşən Yarımkeçiricilər İnstitutunun aspiranturasına daxil olmuş, burada "Diffuziya prosesləri" laboratoriyasının müdiri, professor B.İ.Boltaksın rəhbərliyi ilə "Xarici və daxili elektrik sahələrinin yarımkeçiricilərdə diffuziyaya təsiri" mövzusunda namizədlik dissertasiyasını yerinə yetirərək həmin İnstitutunun İixtisaslaşdırılmış Şurasının iclasında müdafiə etmişdir.

Müdafiədən sonra o, professor B.İ.Boltaksın təklifi və Yarımkeçiricilər İnstitutunun direktoru professor A.R.Regelin dəstəyi ilə yarımkeçirici strukturlarda diffuziya hadisələrinin tədqiqi ilə əlaqədar başlanmış işin davamı üçün burada işə qəbul edilmişdir. İşlədiyi dövrdə SSRİ Elmlər Akademiyasının A.F. İoffe adına Fizika-Texnika İnstitutunda (1972-1978), 1972-ci ildə Yarımkeçiricilər İnstitutu A.F. İoffe adına Fizika-Texnika İnstitutu ilə birləşdirimiş və T.C.Cəfərov 1978-ci ilədək Fizika - Texnika İnstitutunun Diffuziya prosesləri laboratoriyasına rəhbərlik etmişdir. T.C.Cəfərov burada 1974-cü ildə "Yarımkeçiricilərdə aşqarlar arası əlaqənin və defektlərin diffuziyaya təsiri" mövzusunda doktorluq dissertasiyasını müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri doktoru elmi dərəcəsinə layiq görülmüşdür. Doktorluq dissertasiyasının nəticələri rəsmi opponentlər - Nobel mükafatı laureatı akademik J.İ.Alferov, professor V.İ.Fistul və professor Y.İ.Uxanov tərəfindən yüksək qiymətləndirilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, T.C.Cəfərov ilk və hələ də yeganə azərbaycanlıdır ki, A.F.İoffe adına Fizika-Texnika İnstitutunda laboratoriya rəhbəri vəzifəsində işləyib.

T.C.Cəfərovun Yarımkeçiricilər, sonra isə A.İ. İoffe adına Fizika-Texnika İnstitutunda 20 illik fəaliyyəti dövründə professor B.İ.Boltaks və digər görkəmli alimlərlə ünsiyyəti nəticəsində onun dünyagörüşü, elmi maraqlarının inkişafı və elmi tədqiqatlara bağlılığı formalaşmışdır. Onun epitaksial strukturlarda defektlərin əmələ gəlməsi və onların diffuziyaya təsiri ilə bağlı, dünya ədəbiyyatında bu sahədə ilk olan, keçmiş Sovet və xarici ölkə tədqiqatçılarının nəticələrini ümumiləşdirən "Epitaksial strukturlarda defekt və diffuziya" adlı

Azərbaycan Elmlər Akademiyasının prezidenti, Fizika İnstitutunun direktoru, akademik H.M.Abdullayevin dəvəti ilə T.C.Cəfərov1978-ci ildən etibarən, Fizika İnstitutunda özünün yaratdığı Diffuziya prosesləri laboratoriyasının rəhbəri və Fizika İnstitutunun elmi katibi kimi fəaliyyətə başlayaraq sonradan 1981-1994 illərdə laboratoriya rəhbəri olmaqla bərabər Fizika İnstitutunun elmi işlər üzrə direktor müavini vəzifəsində işləmiş, 2009-cu ildən isə Günəş və hidrogen elementləri laboratoriyasının müdiridir.

T.C.Cəfərovun tədqiqatlarının əsas istiqamətləri Yarımkeçiricilərdə və yarımkeçirici quruluşlarda diffuziya, habelə Fotovoltaik günəş elementləri və nano quruluşlu silisium əsasında hidrogen yanacaq elementləridir.

Onun elmi rəhbərliyi altında işıq və radiasiya şüalanmasının aşqarların diffuziyasına, elektrik daşınmasına və yarımkeçirici heterokeçidlərdə şüalanma proseslərinə təsirləri üzrə kompleks tədqiqatlar həyata keçirilmiş, aşqar və defektlərin miqrasiyası mexanizmi müəyyən edilmiş və stabil parametrləri olan bir sıra qurğular (heterolazerlər (AlGaAs-GaAs, $CuInS_2$), LED-lər (CdS, CdTe, məsaməli Si), detektorlar (ZnS), tunel diodları (GaAs və s.) hazırlanmış və tətbiq edilmişdir

Nano-məsaməli silisium əsasında, effektiv günəş elementləri və batareyaları, hidrogenin kimyəvi enerjisini elektrik enerjisinə çevirən ekoloji cəhətdən təmiz hidrogen yanacaq elementləri hazırlanmış, daxilinə fulleren yeləşdirilmiş məsaməli silisiumda işıq şüalanmasının 200 dəfəyədək artımı əldə edilmiş və izah olunmuşdur.

1996-2006-cı illərdə T.C.Cəfərov Karadeniz Texniki Universiteti (Trabzon, Türkiyə) və Yıldız Texniki Universitetində (İstanbul, Türkiyə) dəvət olunmuş professor kimi çalışmışdır. Məsaməli səth sahəsinin nümunə həcminə nisbəti böyük olan (təxminən 1000 m^2/sm^3) nano (mikro) - "süngər" quruluşa malik məsaməli silisium hidrogen elementləri və qaz sensorları istehsalı üçün çox münasib materialdır. T.C.Cəfərovun rəhbərliyi ilə Yıldız Texniki Universitetinin alimləri məsaməli silisium (Au (Ag və ya Cu) / Məsaməli silisium (PS / Si) - Şotky tipli quruluşlar əsasında hidrogen tərkibli qazlar və mayelərdən istifadə etməklə otaq temperaturunda işləyən yeni tipli aşağı güclü hidrogen yanacaq elementləri hazırlamışlar. Hidrogen tərkibli bir mühitdə (etan, metan, qlükoza, bor turşusu, natrium borohidrid, ammiak, hidrogen xlorid, Qara dənizin suyu və s.) yerləşdirilən bu cür quruluşlar təxminən 500 mV gərginlik və 30 W / m^2 -na qədər elektrik enerjisi sıxlığı yaradır. Bu nəticələr portativ elektronika və tibbi tətbiqetmələr üçün ucuz enerji mənbələrinin yaradılması və inkişafını nümayiş etdirir. Bundan əlavə, Au/PS/Si-strukturları xarici enerji mənbəyi olmadan işləyən hidrogenə həssas sensorlar kimi istifadə olunur. T.C.Cəfərov metal/məsaməli silisium strukturtar əsasında, hidrogenin kimyəvi enerjisini elektrik enerjisinə çevirən və ətraf mühiti çirkləndirməyən, PEM (Proton Exchange Membrane) tipli yeni hidrogen elementlərin əldə etmə texnologiyasını işləmiş, hidrogen yanacaq elementlərində olan fiziki hadisələrin mexanizmlərini araşdırmış və göstərmişdir ki, bu növ elementlər təmiz elektrik mənbəyi kimi istifadə edilə bilər.

T.C.Cəfərov fəal elmi işi pedaqoji fəaliyyətlə uğurla birləşdirir. O, 1980-1993-cü illərdə Azərbaycan Neft Akademiyasında əvəzçiliklə professor vəzifəsində işləyərək "Ümumi fizika" və "Yarımkeçiricilər elektronikası" fənləri, 1996-2004-cü illərdə Yıldız Texniki Universitetində (İstanbul) dəvət edilmiş professor olaraq "Bərk maddələrdə diffuziya", "Yarımkeçiricilər fizikası", "Optoelektronika" və "Yüksək temperaturlu ifrat keçiricilik" fənləri üzrə mühazirələr oxumuşdur.

T.C.Cəfərov 25-ə yaxın elmlər doktoru və elmlər namizədi hazırlayıb. O, günəş elementlərinin, hidrogen yanacaq elementlərinin, infraqırmızı detektorların, yüksək temperaturlu ifrat keçiricilərin və s. tədqiqi və hazırlanması ilə əlaqəli bir sıra beynəlxalq qrantlar (NATO, TUBİTAK, SOROS, STCU, DPT və s.) qazanmışdır.

2014-cü ildə T.C.Cəfərov Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademiki seçilmişdir. 2006-2008-ci illərdə Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının "Fizika" ixtisası üzrə Ekspert Şurasının sədri, 2009-2011-ci illərdə Fizika İnstitutu nəzdində fiziki ixtisası üzrə Dissertasiya Şurasının sədr müavini olmuşdur.

T.C.Cəfərov Per la Ricerca Di Base Universitetinin (Molise, İtaliya) fəxri professoru, həmçinin MDB Elmlər Akademiyaları Beynəlxalq Assosiasiyasının Funksional materiallar bölməsinin üzvüdür.

T.C.Cəfərov Rusiyada (Nauka, Enerqoatomizdat), ABŞ-da (Harwood Akademik Publishers), Almaniyada (Springer), Xorvatiyada (İntech), Türkiyədə (Yıldız Texniki Universiteti), Azərbaycanda (Milli Aviasiya

Akademiyası) nəşr olunmuş 13 monoqrafiyanın, 350 elmi işin (o cümlədən 140-a yaxın məqalə impakt-faktorlu beynəlxalq jurnallarda çap olunmuşdur) və 15 patentin müəllifidir.

T.C. Cəfərov 2020-ci ildə elmin inkisafıda xidmətlərinə görə Şöhrət orteni ilə təltif edilib. O AMEA-in Rəyasət Heyətinin və Rusya Elmlər Akademiyasının Fəxri fərmanları ilə təltif edilmişdir.

DOSENT DR. VİLAYƏT ƏLƏKBƏR OĞLU ƏLƏKBƏROV

Vilayət Ələkbər oğlu Ələkbərov 01.07.1948-ci ildə Azərbaycanın Gədəbəy rayonunda anadan olmuşdur. 1970-ci ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin Fizika fakultəsini bitirmişdir. 1975-ci ildən Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda mühəndis kimi işə başlamışdır. 1986-cı ildə "Polietilenin elektrik və mexaniki dağılmasının kinetikasına və molekulyar proseslərə selen əlavəsinin təsiri" mövzusunda dissertasiya işini bitirərək müdafiə etmişdir.

1997-ci ildə İstanbul şəhərində Yıldız Texnik Universitetinin (YTU) Fənn Ədəbiyyat fakultəsinin Fizika bölümündə elmi tədqiqat polimer laboratoriyasının qurulması məqsədi ilə dəvət edilmişdir. Qısa bir müddət ərzində Fizika İnstitutunun yardımı ilə laboratoriya qurulmuşdur. Maraqlı cəhət ondan ibarətdir ki, sintetik polimerlərin xam maddəsi neft və qaz məhsullarıdır və Türkiyənin bu məhsullarla heç bir əlaqəsi yoxdur. Baxmayaraq ki, neft və qaz məhsulları istehsal olunmur, İstanbul şəhərinin hər yerində çox sayda müasir cihazlarla təchiz olunmuş zəngin laboratoriyası olan polimer zavodlar vardır. İstehsal olunan plastik su boruları (təmiz və kirli), plastik pəncərələr və çərçivələri, məişət əşyaları, avtomobil hissələri və s. dünyanın hər bir yerinə ixrac edilir.

Yeni qurulan "Polimer Fizikası" laboratoriyasının əməkdaşları "Dizayn qrup" plastik boru zavodunun laboratoriyasından istifadə edirdilər. V. Ələkbərov 1998-2003-cü illərdə "Dizayn qrup" plastik boru zavodunda məsləhətçi vəzifəsində çalışmışdır. Ümumiyyətlə, plastik boru və izolyasiya kabelləri istehsal edən zavodların tədqiqat laboratoriyalarında ani mexaniki qırılmalar və ani elektrik deşilmələri tədqiq edirdilər. Reallıqda isə plastik borular və izolyasiya materialları müxtəlif şəraitdə, müxtəlif yük və elektrik gərginliyi altında uzun illər qalırlar. "Polimer Fizikası" laboratoriyasının əsas istiqaməti müxtəlif şərtlərdə mexaniki və elektrik yaşama müddətini müəyyən etməklə, xarici amillərin təsiri ilə quruluşda baş verə bilən dəyişiklikləri mexaniki və elektrik xassələri ilə qarşılaşdıraraq möhkəmliyi artırmaq yollarını araşdırmaqdan ibarət idi.

V. Ələkbərovun layihə rəhbəri və tədqiqatçı kimi işlədiyi əsas tədqiqat layihələri:

1. Poliolefinlər Temelinde Yapılan Polimer kompozitlərində Mexaniki və Elektrik Gerilimlerinin Aynı Anda Etkilerinin İncelenmesi. YTÜ Araşdırma Fonu Projesi, 99-01-01-01, Proje araşdırmacısı, 1999-2001.
2. Development of Thermoelectric Materials and Creation of Devices for Various Purposes on their Base, NATO projesi, PST. CLG.976815, Proje Araştırmacısı, 2000-2001.
3. Fibrilyar Biopolimerlerde ve Elyaf Katkılı Sintetik Polimer Kompozitlerinde Farklı Dış Faktörlerin, Elektrik ve Mexanik Gerilimlerin, Nemin, UV- işinlarin ve Çözeltilerin Etkisi Altında Yıpranma Olayları, DPT01-01-01, Proje Yöneticisi, 2003-2005.
4. Saint Petersburq State University of Technology and Design ile Yıldız Texnik Üniversitesi Fizik Bölümü arasında Yapılan Bilim-texnik işbirliği Anlaşması, Yönetici, 2005-2009.
5. Biyogüvenlik Kapsamında Transqenik Gidaların Belirlenmesine Yönelik Sistemlerinin oluşturulması , DPT Texnolojik Araştırma Projesi (23-DPT-07- 04-01) , Proje Araştırmacısı, 01-01-2003-01-01-2006.
6. Polimerik kompozitlerin Mekanik ve elektrik özelliklerinin Kararlı Hale Getirici ve Yıpratıcı Faktörlerin Etkisi Altında İncelenmesi, YTÜ Araştırma Fonu Projesi, 27-01-01-02, Proje Yöneticisi, 2007-2010.

V.Ələkbərov, YTU Fizika Bölümündə Professor vəzifəsində işləyərkən bakalavr tələbələrinə ümumi fizika kursunu (Fizika 1 və Fizika 2), magistratura və aspirant tələbələrə " Polimer Fizikasına Giriş" , "Dielektrik Fizikası" , " Yüksəkmolekullu birləşmələrdə spektroskopiya metodu" kurslarını tədris etmişdir. Magistr və doktorluq dissertasiyasiyalarına rəhbərlik edərək 2 magistr və 5 doktorluq dissertasiyaları müdafiə etdirmişdir.

Universitetin Fizika bölümündə çalışan müəllimlərdən biri də Prof. Dr. Şaval Məmmədov idi. Laboratoriyanın yaradılmasına rəhbərlik edirdi. 2003-cü ildə xəstəliyi səbəbi ilə vəfat etdi. Bir çox magistr və doktorluq dissertasiyalarına rəhbərlik etmiş, Fizika bölümündə özəl kurslardan dərs verirdi. Universitet rəhbərliyinin qərarı ilə yeni yaradılan laboratoriyaya Şaval müəllimin adı verildi.Hal-hazırda həmin laboratoriyanın qapısına "Prof. Dr. Şaval Mamedov adına Polimer Fiziği" Laboratoriyası lövhəsi vurulmuş və Şaval müəllimin adını daşıyır. Allah rəhmət eləsin.

V. Ələkbərov və tələbələrinin Fizika bölümündə Science Citation İndex (SCI) və digər resenziyalı elmi jurnallarda 16 məqalə yayınlanmışdır. Milli və Beynəlxalq simpoziumlarda, konfranslarda 17 tezislə iştirak etmiş və konfrans kitablarında çap olunmuşdur. 2010-cu ildən Fizika İnstitutunda aparıcı elmi işçi vəzifəsində əmək fəaliyyətini davam etdirir. Allah uzun ömür versin.

vilayet_elekberov@mail.ru (Tel: 055 827 54 48)

PROF. DR. İMAN ƏSGƏRZADƏ

Prof. Dr. İman Novruz oğlu Əsgərzadə, 1962-ci ildə Ağcabədi rayonu Kəbirli kəndində müəllim ailəsində anadan olmuşdur. 1979-cu ildə Respublika 1 saylı fizika-riyaziyyat təmayüllü məktəbi bitirmiş və həmin il Respublika Fizika Olimpiadasının galibi olmuşdur. 1979-cu ildə M.V. Lomonosov adına Moskva Dövlət Universitetinin Fizika fakultəsinə daxil olmuş və 1985-ci ildə bitirərək təyinatla Kosmik Tədqiqatlar İnstitutunda çalışmışdır. 1987-1989-cu illərdə Moskva Dövlət Univertsitetinin fizika fakültəsində dünya şöhrətli professor K.K.Likharevin rəhbərlik etdiyi laboratoriyada staj keçmiş və orada uzunmüddətli ezamiyyətdə olmuşdur. 1993-cü ildən etibarən Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun "Bərk cisim nəzəriyyəsi" laboratoriyasında işləyir.

1995-ci ildə Fizika İnstitutunda "Josephson əlaqəli laylı sistemlərdə ifratkeçiricilik" mövzusunda namizədlik (rəhbər: akademik F.M.Haşımzadə) və 2004-cü ildə "Laylı sistemlərdə ifratkeçiricilik və onlar əsasında gurulmuş Jozefson strukturlarının dinamik xassələri" mövzusunda doktorluq dissertasiyası müdafiə etmişdir.

İman Novruz oğlu Əsgərzadə 2012-ci ildən etibarən Ankara Universitetinin professoru və komputer mühəndisliyi kafedrasının müdiridir. Həmçinin bu Universitetdəki İfratkeçiricilik Araştırma Mərkəzinin direktor müavinidir. Tədqiqat obyektləri yeni sinif laylı və coxzonalı ifratkeçiricilər, Jozefson elementi dövrələr və onlar əsasında qurulmuş kvant bitler, Jozefson soliton dinamikası və son illər qeyri-səlis məntiq, süni intellekt sahəsidir.

2000-ci ildən etibarən fərqli tədqiqat qrantları müsabiqələrində qalib gələrək (CRDF (Amerika), DAAD (Almaniya), NATO postdoc (Türkiyə), NATO reinteqration (Amerika), CNRS-ANAS (Fransa), TUBİTAK (Türkiyə)) dünyanın müxtəlif Universitetlərində və elmi mərkəzlərində uzunmüddətli ezamiyyətlərdə olmuşdur. 2002-2011-ci il tarixləri arasında Abdus Salam Beynəlxalq Nəzəri Fizika Mərkəzinin müxbir üzvü seçilmiş və orada (Italiyanın Triyest şəhəri) tam bir ilə yaxın müddətdə tədqiqat ilə məşgul olmuşdur.

Prof. İ.N. Əsgərzadə ilk dəfə Ginzburg-Landau nəzəriyyəsini iki zonalı hal üçün fərqli bir şəkildə tədqiq etmişdir. İfratkeçiricilərin fundamental fiziki parametrlərinin temperatura və xarici maqnit sahəsinə görə dəyişməsini hesablanmışdır. Əldə olunan nəticələr son illər kəşf olunmuş yeni ifratkeçirici birləşmələr-borokarbidlər (1994), maqnezium diborid (2001) və dəmir-arsenid əsaslı (2008) maddələrə tətbiq olunmuşdur. Bundan əlavə qeyri-stasionar ikizonalı Ginzburq-Landau tənlikləri ədədi üsullarla həll edilərək Abrikosov burulğanlarının dinamikası araşdırılmışdır. Bu tədqiqatlara Nobel mükafatı laureatı, akademik V.L.Ginzburqun kitabında ("Superconductivity and Superfluidity", Springer, 2009) yüksək qiymət verilmiş və istinad etmişdir. Bundan əlavə onun əsərləri bərk cisim fizikası sahəsində məşhur alimlər--W.Pickett, A.Gurevich, V.G.Kogan, I.Felner, S.L.Drechsler, V.Moshchalkov və diğərləri tərəfindən yüksək dəyərləndirilmiş və istinad edilmişdir. Həmçinin mikroskopik Eliashberg-Bardeen-Cooper-Schrieffer nəzərəyyəsi daxilində laylı ifratkeçiricilərin kritik temperaturu hesablanmış, onun yükdaşıyıcılarının sıxlığından asılılığı tədqiq olunmuşdur. Sonlu qalınlığa malik laylı sistemlərdə Kulon dəfetməsinin kritik temperatura təsiri, belə ifratkeçiricilərdə plazma spektri araşdırılmışdır. İ.N. Əsgərzadənin ifratkeçiricilik sahəsindəki tədqiqatları Azərbaycanda ilk dəfə olaraq "Успехи Физических Наук" jurnalında iki icmal məqalədə öz əksini tapmışdır.

İ.N. Əsgərzadə ifratkeçiricilər elektronikası sahəsində Jozefson elementli çeviricilər-stroboskopların nəzəri əsaslarının yaradıcılarından biridir. Onun əsərlərində Jozefson elementli çeviricilər-stroboskopların zamana görə ayırdetmə qabiliyyətinin dəyərləndirilməsi üçün ilk dəfə olaraq xətti nəzəriyyə işlənib hazirlanmiş və onların həssaslıgının 2 pikosaniyə tərtibində olduğu göstərilmişdir. Bu araşdirmalar nəticəsində bir icmal məqalə çap olunmuşdur. Yüksək temperaturlu ifratkeçiricilərdən qurulan və anharmonik cərəyan-faza ifadəsinə malik olan Jozefson elementlərinin volt-amper xarakteristikası, plazma tezliyi hesablanmışdır. Həmçinin anharmonizmin Jozefson elementləri əsasında qurulmuş kvant bitlərin xarakteristikasına təsiri ilk dəfə İ.N. Əsgərzadə tərəfindən tədqiq edilmişdir. Yük və faza kvant bitlərinin enerji spektri hesablanmış və spektrdəki enerji aralığının sistemin parametlərindən asılılığı araşdırılmışdır. İfratkeçirici kvant bitlərin idarə olunan xarakteristikaya sahib olan ən uyğun bitlər olduğu göstərilmişdir. Ən son olaraq Jozefson soliton dinamikası sahəsində araşdırmalar həyata keçirilməkdədir. Son illər böyük maraq kəsb edən multiterminal Jozefson sistemlərinin xassələri tədqiq olunmaqdadır.

Bundan əlavə son zamanlar İ.N. Əsgərzadə qeyri-səlis məntiqin tətbiqi mövzusunda tədqiqatlar həyata keçirmişdir. Çoxdəyişənli qeyri-səlis funksiyaların maksimumunun tapılması üçün Lagrange metodu ümumiləşdirilmişdir. Qeyri-səlis məntiq bir sıra mühəndislik problemlərinə (qida mühəndisliyi, tibb və d.) tətbiq olunmuş və əsaslı nəticələr əldə olunmuşdur. Onun süni intellektin tətbiqi olaraq həyata keçirdiyi tədqiqatlar komputer mühəndisliyi sahəsində təhlükəsizlik, elektronik pulların istifadəsi və digərləri ilə baglıdır.

İ.N. Əsgərzadə 50-dən yuxarı Beynəlxalq Konfranslarin Təşkilat Komitəsinin üzvü və plenar mərüzəçisi olmuşdur. 2005 və 2009-cu illərdə Abdus Salam Mərkəzinə ezamiyyəti zamanı oradakı kitab kolleksiyasından Fizika İnstitutunun kitabxanasına 150-yə yaxın qiymətli kitabın və jurnalın göndərilməsinə nail olmuşdur. Onun rəhbəri olduğu Beynəlxalq qrantlar daxilində Fizika İnstitutuna xüsusi maliyyə dəstəyi verilmişdir. Türkiyədə iki ildən bir keçirilən İfratkeçiricilərə aid Beynəlxalq Konfransin Təşkilat Komitəsinin üzvü kimi cox sayda Azərbaycan və Orta Asiya aliminə dəstək verilməsinə nail olmuşdur. Son illər Azərbaycan və Özbəkistan fiziklərinin real əlaqələrinin

yaradılmasına önəmli dəstək vermişdir. Ən son olaraq 2022-ci ildə Volkswagen Araştırma Mərkəzinin BDU-da kvant texnologiyasına aid gənc alimlər üçün keçirdiyi Beynəlxalq Yaz Məktəbinin-Konfransın təşkilatçılarından biri olmuşdur.

Prof. İ.N. Əsgərzadə ingiliscə cap olunan Fundamental and Applied Superconductivity (Rusiya, FIAN), Ankara University Communications (Türkiyə), Advanced Physical Research (Azərbaycan) və Proceedings of Institute of Applied Mathematics (Azərbaycan) elmi jurnallarının redaksiya heyətinin üzvudür. Bundan əlavə o bir sıra tanınmış Beynəlxalq jurnallarda (International J. of Modern Physics B, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, J. of Physics Condensed Matter, J. of Physics and Chemistry of Solids, Modern Physics Letters B, J. of Superconductivity and Novel Magnetism, Physics Letters A, Advances in Condensed Matter Physics, Physica C Superconductivity, Turkish J. of Physics, The European Physical Journal B, Applied and computational mathematics,Turkish J. of Electrical Engineering and Computer Sciences, Computer Modeling in Engineering and Sciences, Solid State Communications, Sadhana) rəyci olaraq fəaliyyət göstərir.

Prof. İ.N. Əsgərzadənin rəhbərliyi altında 5 namizədlik və 1 doktorluq dissertasiyası yerinə yetirilib müvəffəqiyyətlə müdafiə olunmuş və 21 magistr dissertasiyasına rəhbərlik etmişdir. O, 232 məqalə, 1 dərs kitabı və 2 monoqrafiyanın müəllifidir. Məqalələrinin 210-u xarici jurnallarda (bunlardan 140 məqalə SCI-WoS sıyahısına daxildir) dərc olunmusdur. “Успехи Физических Наук” jurnalında iki, “Техническая Физика” jurnalında bir və “Low Temperature Physics” jurnalında isə bir icmal məqalənin müəllifidir. “Unconventional superconductors: anisotropy and multiband effects” adlı monoqrafiyası 2012-ci ildə, “Modern aspects of Josephson dynamics and superconductivity electronics” adlı monoqrafiyası 2017-ci ildə Springer-Verlag nəşrtiyyatında çap olunmuşdur. Əsərlərinə edilən cəmi istinadların sayı 2000-ə yaxındır. Hirsh faktoru isə 23-dür.

PROF. DR. OKTAY HÜSEYİN
(OQTAY XANHÜSEYİN OĞLU GUSEİNOV)

КОММЕНТАРИЙ АКАД. Я.Б ЗЕЛЬДОВИЧА К СТАТЬЕ “КОЛЛАПСИРОВАВШИЕ ЗВЕЗДЫ В СОСТАВЕ ДВОЙНЫХ”
(написана совместно с О.Х. Гусейновым)

Работа, вызвавшая в свое время громадный резонанс и способствовавшая постановке большого числа наблюдательных программ в ряде обсерваторий. Следуя идеям комментируемой статьи, В. Тримбл и К. Торн составили обширный список «кандидатов в черные дыры». Следует тем не менее отметить, что благодаря успехам рентгеновской астрономии поиск черных дыр пошел иным путем. Однако для того, чтобы отличить черную дыру от нейтронной звезды, и в настоящее время пользуются критерием массы, превышающей определенный предел, около 3 масс Солнца.
Вместе с замечанием о роли аккреции на нейтронные звезды комментируемая работа стимулировала теорию и наблюдения конечных продуктов эволюции».

«Поскольку нейтронные звезды могут обладать мощными магнитными полями, то от них, как впервые отметили П.Р. Амнуэль И О.Х. Гусейнов в 1968 г., следовало бы ожидать строго периодического импульсного излучения. В 1971 г. В.Ф. Шварцман в ГАИШ показал, что явление рентгеновсного пульсара должно возникать в результате эволюции нейтронной звезды в тесной двойной системе»
“Звезды и звездные системы” Под редакцией Д.Я. Мартынова

О Турции. Из последнего письма О.Х. Гусейнова
«Будучи на пенсии продолжаю писать научные статьи, но много времени отдаю писанию никому не нужных книг по физике. Здесь их пишут очень плохо. Знание очень низкое и кругозор узкий. хорошее образование и наука здесь, как и в большинстве мира, как пятое колесо. Развивать головной мозг не хотят. Поэтому мне невесело. Мне всегда вспоминаются времена, когда был интерес к знаниям. Мне надо было жить среди людей, где ценят знания и науку. К сожалению, развития знаний и науки на востоке не хотят и западные страны...»

Dünya miqyasında tanınmış və bütün dünya alimləri tərəfindən yüksək qiymətləndirilən bir alim, Azərbaycan Respublikasında relyativistik astrofizikanın banisi və bu sahədə Azərbaycanda ilk elmi məktəbin yaradıcısı, Beynəlxalq Astronomiya Şurasının həqiqi üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor Oktay Xanhüseyn oğlu Guseinov 1938-ci ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur.

Oktay Guseinov 1963-cü ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsini bitirən kimi elmi həyatında böyük addımlarla irəliləməyə başlamışdır. O hələ tələbə ikən son kursda oxuyanda üç elmi məqalə yazmışdır və 1963-

cü ilin yanvarında ilk işlərindən birini izah etmək üçün Moskva Dövlət Universitetində "Ümumi Nisbilik" Nəzəriyyəsinə həsr olunmuş iclasa məruzəçi kimi getmişdir. İclasda indiki görkəmli Dünya misli Sovet və Rusiya astrofiziki RAN-ın müxbir üzvü İgor Dmitriyevich Novikov ilə tanış oldu. Xüsusi ilə gənc Oktayın bir işi daha maraqlı gəldi və bu işi D.Novikov öz rəhbərinə, üç dəfə Sovet Sosialist Əməyi Qəhramanı adına layıq görülüb (1949, 1954, 1956), üç Lenin mükafatı laureatı (1949, 1962, 1974), dörd Stalin mükafatına və bir çox mükafatlara və ordenlərə layiq görülmüş akademik Yakov Borisovich Zeldoviça göstərdi. Əsl alim və böyük insan, qarşısındakının millətinə baxmaz, savadına və gördüyü işlərə baxar.

SSRİ-də atom bombasının (1949) və hidrogen bombasının (1953) "Katyuşa" adlı məşhur raketin yaradıcılarından biri olan akademik Y.B. Zeldovich, Oktay Guseinov elm işi ilə tanış oldu, gənc Oktayın elmə aşıq olduğunu və çox çalışqan olduğunu görür, düşünmə qabiliyyətinə qiymət verir və öz rəhbərlik etdiyi qrupda çalışmağı təklif edir. Beləliklə, gənc Oktay elmdə ən yüksək zirvələrə qalxmış rəhbərin yanında çalışmağa, biliyinə bilik qatmağa böyük bir şans qazanır.

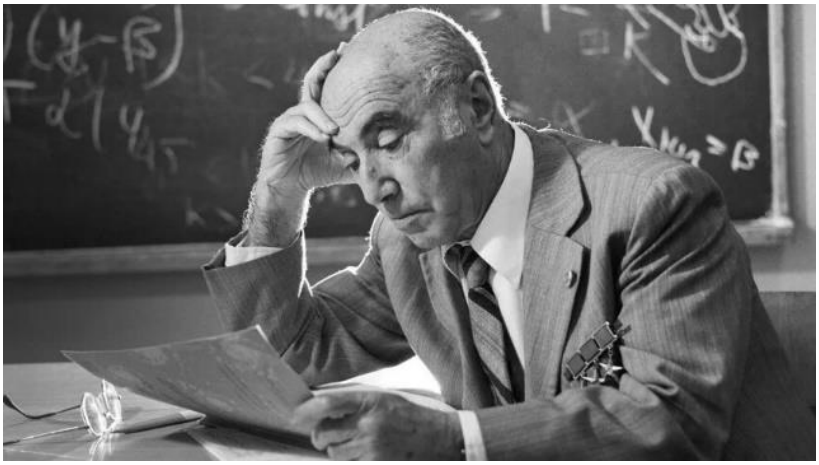
O, Guseinovun elmdə öncədəngörmə qabiliyyəti var idi, fizika qanunlarına əsaslanaraq verərək kosmosda olan astrofizik obyektləri və elmi hadisələrin qabaqcadan hiss edib olacaqlarına inanırdı, elmi tədqiqatlar aparıb məqalələr yazırdı. Və doğrudanda illər keçdikcə, və texnika inkişaf etdikcə müşahidələr zamanı Oktay müəllimin proqnozlaşdırdığı obyektlərin və elmi hadisələrin gerçəkliyi təsdiq edilirdi.

Bunlardan bir neçəsini sadalamaq kifayətdir ki, onun elmi irsinin nə dərəcədə yüksək olduğunu dərk etmək mümkün olsun.

Astrofizika və kosmos elmləri üzrə indiyədək ümümilikdə az sayda Nobel mükafatı verilib. Üç **Nobel mükafatı** qazanan tədqiqatla bağlı ən mühüm proqnozları nəzəriyyəçi Oktay Guseinov verib, lakin Nobel mükafatlarını Yaponiya, Amerika, Böyük Britaniya alimləri alıblar.

Bu işlərdən danışaq:

1. NEYTRİNO ASTROFİZİKASI



Yakov Borisovich Zeldovich və O.X.Guseinov 1964-1965-cı illərdə Qalaktikamızda bir ulduzun partlayışı zamanı bir saniyədən daha qısa vaxt ərzində, bu ulduzdan təxminən 10^{57}- dən çox neytrino çıxa biləcəyini və enerjilərinin 20-30 milyon elektronvolta çata biləcəyini hesabladılar və mövcud olan neytrino teleskopları ilə bu neytrinoları qeyd etmək mümkün olduğunu dedilər.

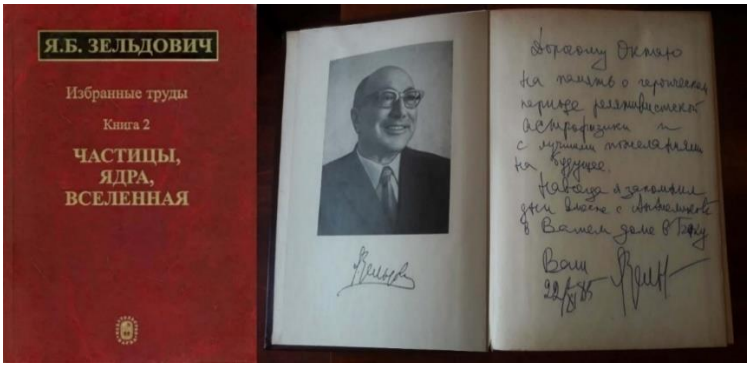
1966-1968-ci illərdə Oktay Guseinov, partlayış zamanı ulduzun içindəki plazmanın temperaturunun 10^{11} dərəcəyə qədər artmalı olduğunu göstərərək, neytrino və antineytrinoların eyni qədər çıxacağını və enerjilərin daha öncə hesabladıqlarından da çox ola biləcəyini göstərdi.

1987-ci ildə Magellan dumanlığında böyük kütləli ulduzun Supernova partlayışı müşahidə edildi və dağılmasına səbəb oldu (Galaktikamızında son Supernova partlaması təqribi 300 il öncə olub). Yaponiyalı Masatoshi Koshiba "Superkamiokande II" neytrino teleskopu ilə, eyni zamanda Amerika Birləşmiş Ştatından R. Davis partlamadan çıxan hissəcikləri qeyd edə bildilər. Qeyd etdiklərinə görə, 2002-ci ildə **Nobel mükafatı** aldılar.

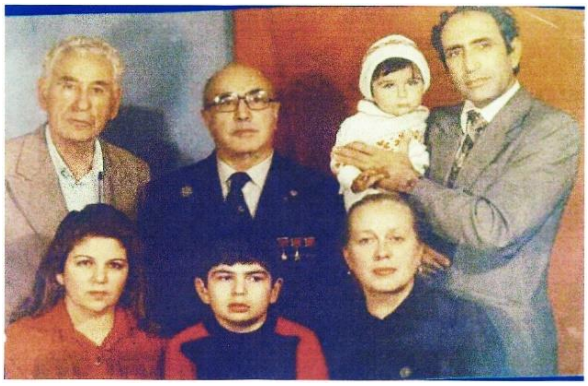
Yaponya və Amerika neytrino teleskopları ilə qeydə alınan antineytrinoların enerjiləri və axınları Zeldovich və Guseinovun proqnozlaşdırdığı dəyərlərdə idi. Müşahidə olunan bu hissəciklər Guseinovun proqnozlaşdırdığı ulduzların partlayışı zamanı ortaya çıxmalı olan antineytrinolar idi.

Zeldovich ve Novikov yazıblar ki, *bu ideya Guseinovundur* (Referans: Uspehi Fiz.Nauk.1965, 86, No.3, 473).

ABŞ-lı professor V. Trimble və P. Leonard (PASP 1996. 108, p.8-34) bu mövzu ilə bağlı yazdıqlarından *"...çökmə sonucunda oluşan supernova patlamasındaki neytrino akınısı öngörən Zeldovich və Guseinovun (1965) və geçmiştəki partlamalar sonucunda oluşan neytrino fonuna rağmen kollapsdan kaynaklanan anti neytrinoların gözlenebilecek düzeyde olabileceğini öncədəngörən Guseinov (1966) kimi iki bilim adami ilə sarsıldık"* demişdir.



Ya.Zeldoviçin O.Hüseyinə Bakıda ev ziyarətindən sonraki xatirə yazısı.



Yakov.Zeldovich, həyat yoldaşı Anjelika Yakovlevna və Oktay Hüseyinin ailəsi ilə. Bakı.

Ya.B.Zeldoviça həsr olunmuş kitabda (1993, səh.258) akademik R.Syunyaev belə yazır:

"Kvant ve Granat uydularından alınan datalar ve bu konudaki sonuçlarımız onu (Zeldovich'i) çok sevindirirdi. Ama o bana hiçbir zaman demedi ki onun O.H.Guseinovla öngördüğü ve sonralar Supernovadan gözlenilen neytinölere bağlı işi çok daha önemlidir. Ben de bunu zaten çok güzel anlıyordum".

1. Ya.B. Zeldovich, O.H. Guseinov – "Neutronization of matter during collapse and the neutrino spectrum", Doklady AN SSSR, v.162, No.4, 1965,
2. Ya.B. Zeldovich, O.H. Guseinov – "Neutronization of He-4". J.Exs. Theor.Phys., Letters, 1965, 1,11
3. O.H. Guseinov – "On experimental possibilities of detection of the collapsed stars", Aston.J., v.43, p.772, 1966, , Sov.Astron., v.10, p.613, 1968.
4. O.H. Guseinov – "Neutrino radiation during stellar callapse", Astron.J., v.45, No.5, 1968, Soviet Astronomy, v.12, p.783, 1969.

2. RADİO VƏ RENTGEN ASTROFİZİKASI

1966-cı ildə O. Guseinov və onun tələbəsi Pesach Amnuel, ilk pulsarların tapılmasından öncə, fizikanın təməl biliklərinə əsaslanaraq, müəyyən göy cisimlərindən periodik rentgen X-şüalarının yayıla biləcəyini proqnozlaşdırdılar.

O. Guseinov məqaləni yazdıqdan 6 ay sonra Böyük Britaniyada, Cambridge astrofizik qrupunun rəhbəri, Antohny Hewishin başçılığı ilə planetlərarası mühitdə radio şüalanmasının tədqiqi zamanı, aspirant Jocelyn Bell tərəfindən gözlənilməyən, müntəzəm olaraq, yenilənən bir siqnal qeyd etdi. Əvvəlcə bu hadisə gizli saxlanıldı (Onlar elə bilirdilər ki, siqnal başqa bir planetdə yaşayanlardan gəlir).

Azərbaycanı təmsil edən alimlərimiz P.R. Amnuel, O.X. Guseinov - "X-ray at the accretion of interstellar matter", Izvestia AN Azerb.SSR, No.3, 1968 məqaləsində proqnozlaşdırdıqları obyeklərə "PULSAR" adı verildi.

Pulsarın kəşfi astrofizikada yeni bir dövrün başlanğıcı kimi qəbul edildi.

Kembric Universitetinin Mullard Radio Astronomiya Rəsədxanasının meridian radio teleskopu ilə siqnalı qeyd etdiklərinə görə, A. Hewishin 1974-cü ildə bu pulsarları **Nobel mükafatına** layiq görüldü.

Prof. V.M.Lipunov, Astrophysics of Neutron Stars (Springer-Verlag, 1992, P.6): ***"Animportent idiological and psychological barrier was surmounted by the Soviet scientist Amnuel and Guseinov (1968) who pointed out the need to take into account the magnetik field of neutron stars. İt follows from general consideration that neutron stars must have strong magnetic fields, and the accreting matter under real conditions is a good condacting plazma. The way in which matter falls onto a star may change dramatically in a magnetic field. Thus, even a spherical incidence in the vicinty of a neutron stars may lead to an***

anisotropy in the distribution of matter, and hense of radiation as well. As a result of the rotation of neutron stars, the radiation apears to an observer as periodically pulsating."

P.R. Amnuel, O.X. Guseinov - "The influence of parameters of interstellar medium on the accretion by neutron stars", Astron. Nachr., v.294, p.139, 1972

Prof. V.M. Lipunov Astrophysics of Neutron Stars (Springer-Verlag,1992, p.11-12) yazıb: ***"All publications conserning the accretion theory of neutron stars before the lanching of Uhuru were made be Soviet scientists.*** *(Neytron ulduzlarının akkresiya nəzəriyyəsi ilə bağlı bütün nəşrlər sovet alimləri tərəfindən hazırlanmışdır)*:

- Novikov, Zeldovich 1966;
- Shklovskiy 1967;
- **Amnuel, Guseinov 1968**;
- Zeldovich, Shakura 1969;
- Bisnovaty-Kogan, Fridman 1969;
- **Amnuel, Guseinov 1969;**
- **Guseinov 1970**;
- Shvartsman 1970,1971;
- **Amnuel, Guseinov 1972**;
- Shakura 1972.

AMEA Fizika institutu.

3. NEYTRON ULDUZLARIN VƏ QARA DƏLİKLƏRİN YAXIN QOŞA ULDUZLARDA AXTARIŞININ VACİBLİYİ VƏ ONLARIN GÜCLÜ RENTGEN ŞÜA MƏNBƏLƏRİNİN OLMASI HAQQINDA

Zeldoviç və Guseinov tapılan mənbələrin təbiəti ilə maraqlandılar. X-şüalarının mənbələrinin komponenti Neytron ulduzu və ya Qara Dəlik olan yaxın qoşa ulduzlar ola biləcəyini göstərərək bu ulduzların necə müşahidə ediləcəyini 1965-ci ildə açıqladılar.

O.X. Guseinov 1970-ci ildə məqaləsində qoşa ulduz sisteminə daxil olan Neytron ulduzunun, Qara dəliklərin və Qoşa ulduzların hansı xüsusiyyətlərə malik ola biləcəyini izah etmişdir.

Ulduzlar və qalaktikalar təkcə görünən işıq deyil, həm də rentgen şüaları yayırlar. Bununla belə, rentgen şüaları yer atmosferindən keçərkən udulur, ona görə də kosmosdan gələn rentgen şüaları yalnız peyklərdəki teleskoplar vasitəsilə öyrənilməlidir.

UHURU ilk orbital rentgen rəsədxanası 1971-ci ildə quruldu və bu peyk işə başlayandan sonra O.X. Guseinovun ideyaları və proqnozları təsdiq edildi və rentgen pulsarlar (X-ray pulsars) aşkar edildi.

Andrew G. Lyne and Francis Graham-Smith. Cambridge, U.K.; New York: Cambridge University Press, 1998. (Cambridge astrophysics series; 31) ISBN 0521594138 "PULSAR ASTRONOMY" adlı kitabının hər girişinin 2-ci səhifəsində qeyd ediblər: ***"Condensed stars, either weite dwarfs or neutron stars, were predicted to be observable sources of X-rays. İn 1964 indipendent predictions were made by Zeldovich and Guseyinov and Hayakawa and Matsouka, introducing the concept of binary stars systems as X-ray sourses…"***

İ. Novikov " HOLES I IN SPACE AND TIME" kitabında 2006, p.112,

"I wish to emphasize that organizing a search for relyativistic objects in tne Universe was pioneered in 1965 by Yakov Zeldovich and Oktay Guseinov."

M. Longair "THE NEW COSMIC CENTRY. A HISTORY of ASTROFHYSICS AND COSMOLOGY", 2006 p.199, kitabında belə yazır:

*"…**in 1965, Yakov Zeldovich and Oktay Guseyinov (b.1938) had proposed that the observation of X-ray or γ –rays from single-line spectroscopic binaries might be the sinnature of eithe a neutron star sor a black hole…"***

Riccardo Giacconi "UHURU" orbital rentgen rəsədxanasının elmi proqramlarına rəhbərlik etmişdir və bu X-şüasının mənbələrini peyk vəsitəsi ilə tapdığına görə 2002-ci ildə **Nobel mükafatına** layiq görülmüşdür.

1. Ya.B. Zeldovich, O.H. Guseinov – "Collapse of stars in binaries" Astrophys.J., v.144, p.840, 1966; Astron.J., No.2, 1966
2. O.H. Guseinov, H.I. Novruzova – "Collapsing stars in binaries" Astron.J., No.1,1971, Sov.Astron., v.15, No.1, p.173 1971

Akademik Keldış Mstislav Vsevolodoviç Azərbaycanda iş səfərində

3. G.V. Akhundova, O.H. Guseinov – "Radial velocities of stars HD 28052, 37507, 104321, 05767", Astrofizika, 1973, 9 479
4. O.H. Guseinov – "Black hole -a component of massive emitting stars", Astrofizika, No.2,1973
5. O.H. Guseinov, H.I. Novruzova, Sh.Yu. Rakhamimov - "On the searches of influences of invisible components in the spectra of stars HD 28052, 31109, 37507, 56986, 104321, 205767 ", Astron.J. No.4, 1974, Sov.Astron., v.18, No.4, p.464, 1975
6. O.H. Guseinov and Ya.A. Mamedov – "Resolution of binary-star components", Sov.Astron., v.18, p.662, 1975

Nəticə olaraq, yuxarda qeyd olunan ölkəmizi təmsil edən O.X. Guseinov tərəfindən qabaqcadan proqnozlaşdırdığı qalaktikalarda mövcud olan astrofizik obyektlər tapılıb və elmi hadisələr təsdiqlənib. Müşahidələri ilə bu işləri təsdiq edənlərin hamısı **Nobel Mükafatına** layiq görülüblər:

- Japoniyalı Masatoshi Koshiba və Amerikalı R.Davis, 2002-ci ildə
- İngiltərəli Antony Hewish, 1974-ci ildə
- İtaliyalı Riccardo Giacconi, 2002-ci ildə

2002 ilə qədər kosmologiya üzrə verilmiş 6 Nobel Mükafatından 3-ilə əlaqədər prof. Oktay Xanhüseyin oğlu Guseinov apardığı tədqiqatların nəticəsində, son dərəcə mühüm öngörüləri ilə Azərbaycanlı alimin adını Dünya Kosmologiya tarixinə yazdırdı.

Biz bununla fəxr edirikmi?

2002	R. Davis M. Koshiba	Kozmik nötrinoları gözlemesinden dolayı.
2002	R.Giacconi	Kozmik X-ışını kaynaklarının keşfedilmesine götüren çalışmalarından dolayı.
1993	R.A. Hulse J.H. Taylor Jr.	Einstein'nın genel görelilik teorisinin öngördüğü kütle çekim dalgalarını bir çift pulsarda doğrulamalarından dolayı
1983	S. Chandrasekhar W.A. Fowler	Chandrasekhar; Yıldızların yapısı ve evrimleri üzerine yaptığı teorik çalışmalardan dolayı. Fowler; evrende kimyasal elementler oluşumundaki nükleer reaksiyonlar üzerine yaptığı teorik ve deneysel çalışmalardan dolayı.
1978	A.A. Penzias R.W. Wilson	Kozmik Mikrodalga Fon Işımasının keşfinden dolayı.
1974	M. Ryle A. Hewish	Ryle; gözlemleri, buluşları ve sentetik açıklık tekniğinden dolayı. Hewish; radyo Pulsarların keşfinden dolayı.

O. Guseinovun yazılarından: *Zeldovich'in Amerika'ya gitmesini çok istediğini ve oradan onu kaç defa, güzel şartlar vaat ederek, davet ettiklerini hatırlıyorum. Ama Zeldovich çıkış için izin alamıyordu. Nahayet, 1987 yılda Amerika'ya gide bildi. Hemen yıl, Nobel ödüllüne laiq görülmüş Rudolf Mössbaur başqa bilim adamları ile Zeldovichi kimyadan mı veya fizikten mi Nobel Ödülüne aday verilmesini tartışmağa başlamıştı. Amma olmadı... hemen yılın Aralık ayının 2-de Yakov Borisovich kalp krizinden vəfat etdi ve bu tartışmalara gerek kalmadı.Çünkü Nobel ödülü şartlarına göre bu ödül yalnız sağ olanlara verilebilir.*

*(Hatırlatalım ki, büyük fizikçi Ernest Rutherford Nobel ödülünü kimyadan almıştı). Amerikalılar Zeldoviche Nobel ödülü veremediler, ama onun adına 1990 yılda (Sovyetler Ülkesi ile birlikte) madalya tesis ettiler:- «**ZELDOVİCH MADALYASI**», yanma bilim dalında büyük sonuçlar elde edenlere verilir.*

O.X. Guseinov – "X-ray source in binaries ", Sov. Aston. 1970, 47, 1143.

Bu işi O.X. Guseinov Türkiyədə olarkən belə xatırladırdı:

"1971 önce X-ray kaynaklarının noktasal olup olmadığı bile bilinmiyordu, çünkü koordinatlarının belirsizliği 4-5 derece kadar olurdu. Bunların ne olduklarını belirlemek için ve hangi optik yıldızın bileşeni olduğunu çıkarmak için öngördüğümüz çift X-ray kaynakların X-ray ve optik bantlarda nasıl bir özellikleri olmasını bulmak gerekirdi. Bu işi 1967 dergiye gönderdim, ama sonuçların inanılmaz ve böyle bir işin çok erken olduğunu düşünerek, ancak 1970 yılında yayınladılar."

Prof. V.M. Lipunov "Astrophysics of Neutron Stars" (Springer-Verlag, 1992).

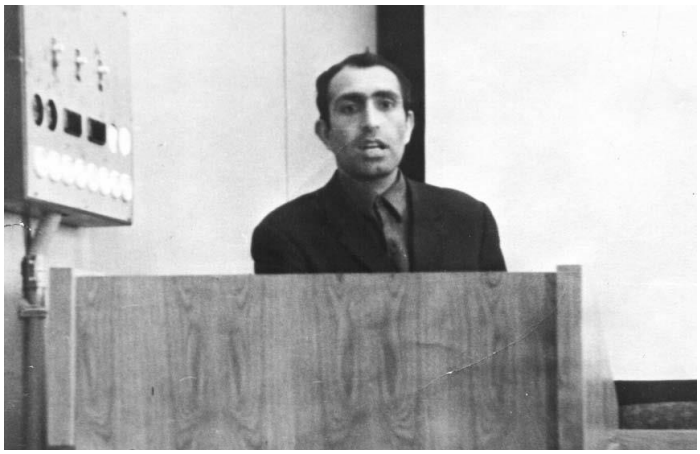
Page 11:

"The X-ray radiation emitted by an accreting neutron stars must be subjected to several periodic modulations (Guseinov 1970): 1. Short pulsations due to the rotation of the neutron stars, and 2 variations with anorbital period associated with the eclipses of the X-ray sourse and with the variation of the accretion rate due to a change in the separation between the componentsof the binary system. Such sourses wereindeeddiscoverid soon after on the American satallite Uhuru."

Page 13:

"The fact that X-ray pulsars belong to binary systems was estabblished from X-ray eclipses and from the variation period due to orbital motion, i.d., from the effects mentioned by Guseinov (1970).

Van Den Haewel da 1972-ci ildə "Nature" urnalında Cyg X-1 tapıldıqdan sonra bu iş haqqında danışdı.



Oktay Hüseyn 1992-ci ildə Türkiyənin professor doktor Ali Alparin dəvəti ilə ODTÜ-də işləməyə başlayıb. 1995-ci ildə TÜBİTAK prezidentinin (Prof. Dr. Tosun Terzioğlu) təşəbbüsləri ilə "məşhur alim xüsusi statusu" ilə Türkiyə vətəndaşı olub.

O.X. Guseinov akademik Zeldoviçin tələbəsi olaraq Azərbaycanda ilk astrofizika elmi məktəbini 1966-cı ildə yaratmışdır və bu sahədə uğurla çalışmaqda davam edən bir çox yüksək dərəcəli alimlər yetişdirmişdir (həm Azərbaycanda, həm də Türkiyədə).

O.X. Guseinov 1966-cı ildə Moskva Dövlət Universitetində uğurla namizədlik dissertasiyasını, 1978-ci ildə isə SSRİ EA Kosmik Tədqiqatlar İnstitutunda üç dəfə Sosialist Əməyi Qəhrəmanı akademik Y.B. Zeldoviçin məsləhətçiliyi ilə altında doktorluq dissertasiyası müdafiə etmişdir (Qeyd etmək lazımdır ki, O.X. Guseinovun

doktorluq dissertasiyası 1968-ci ildə artıq hazır idi, amma erməni akademiki V. Ambartsuman tərəfindən fərqli bahanələr ilə qəsdən təxirə salındı və ilbəil müdafiə vaxtı uzadıldı. Oktay Guseinov buna fikir vermirdi, elmi ilə məşğul idi, həm də neçənci ildə müdafiə edəcəyi onun üçün prinsipial məsələ deyildi. (O zamanlar biz ermənilər ilə dostca davranırdıq, bu səbəbdən O. Guseinov bu işin belə olacağının fərqinə varmayıb. Amma ermənilərin bizə qarşı paxıllığı və nifrəti hər zaman hər mövzuda olub, V. Ambartsuman da hərəkəti ilə bir daha bunu təsdiqləyib).

JOB EXPERIENCE

1. *1966–1967: Shamahi Astrophysical Observatory (Azerbaijan), Expert Researcher*
2. *1967–1968: Azerbaijan Astrophysical Observatory, Associate Professor*
3. *1968–1982: Shamahi Astrophysical Observatory Vice President and Theoretical Astrophysics Department President*
4. *1976–1977: Baku Cosmic Research Centre Cosmic Physics Department President (part time). Producing scientific ideas and instruments for orientation and targeting of X-ray satellite detectors to appropriate positions on Earth*
5. *1982–1992: Baku Physics Institute Astrophysics Department President*
6. *1992–1995: Middle East Technical University Department of Physics, Ankara, Full Professor*
7. *1995–1997: Marmara Research Centre (Gebze), Chief Expert Researcher*
8. *1997–2005: Akdeniz University Department of Physics, Antalya, Full Professor*
9. *2003–2004: TÜBİTAK Feza Gürsey Fundamental Sciences Research Centre, İstanbul*
10. *2005 september – pensioner*

MEMBERSHIPS

International Astronomical Union, 1973

MEDALS and PATENTS

1. *Two medals by Soviet Authorities for scientific contributions*
2. *One Soviet patent for discovering a system to scatter long headlights of automobiles for weakening their effects on human eyes*
3. *Russian Republic Patent for discovering a special eyeglasses to weaken the effects of long headlights of automobiles on human eyes*

COURSES GIVEN

At various universities in Baku between 1966-1992 and in Turkey since 1992: Astrophysics, General Physics, Thermodynamics, Statistical Physics, Atomic and Nuclear Physics, Particle Physics, Special and General Theory of Relativity, Electromagnetik Theory, High Energy Physics and Astrophysics, Special Studies in Physics (for M.S. and Ph. D. students).

Montreal Canada 1977

Şotlandiyanın Kral Astronomu, Edinburq Universitetində Astronomiya professoru və Edinburqdakı Kral Rəsədxanasının direktoru, Kembric Clare Hall Kollecinin professoru və vitse - prezidenti Malcolm Longair, Amerika Birləşmiş Ştatlarında "**THE NEW COSMIC CENTRY. A HISTORY OF ASTROPHYSICS AND COSMOLOGY**" 2006, Cambridge-də kitab nəşr edib. Burada 1900-2000-ci illər arasında kitabın mövzusunu təşkil edən sahələr üzrə ən mühüm elmi nəticələrdən və bununla bağlı məsələlərdən bəhs edilir və bu nəticələrin müəlliflərinin adları, soyadları və yaşadığı illər verilir. Qeyd etmək lazımdır ki, türkdilli dövlətlərdən tək bir adamın - Oktay Guseinovun adı tərif ilə çəkilib və onun elmi nailiyyətlərindən ətraflı bəhs edilib.

SSRİ Elmlər Akademiyasının bir qrup akademiklərinin iştirakı ilə 1987-ci ildə "ВЕЛИЧАЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ СОВЕТСКОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ В ПЕРИОД с 1917 по 1987 год" adlı kitab hazırlanıb.

1917-1987-ci illər arasında Sovet elminə və texnikasına ən böyük nailiyyətlərin kimlər tərəfindən qazandırıldığı haqqında məlumatlar toplanıb və keçmiş SSRİ-nin türk mənşəli iki şəxsinin adı qeyd olunub: Oktay Guseinov və Emin Tağıyevin.

Kaş elə bir zaman gələ ki, Guseinov Oktay kimi, Emin Tağıyev kimi və digər görkəmli Azərbaycanlı alimlərimizə öz doğma ölkələrində dəyər və qiymət veriləydi.

Dörd monoqrafiyanın müəllifi olan prof. O.X.Guseinov 46 illik elmi və elmi-təşkilati fəaliyyətinin nəticəsində astrofizika, radio və rentgen astronomiyasına verdiyi töhfələr müasir elmin bu istiqamətlərinin formalaşmasında mühüm yer tutur.

O, Rusiya Federasiyasında qeyd olunmuş 2 patentin müəllifidir. Çox sayda Beynəlxalq Elmi yığıncagın iştirakçısı və Beynəlxalq Astronomiya Şurasının həqiqi üzvü olmuşdur.

SSRİ-nin iki medalı ilə təltif edilmişdir.

Müşahidə olunması imkansız olan Qara dəlik adlanan səma cisimlərinin qoşa sistemlərdə axtarışı üsulunu dünyada ilk dəfə olaraq Guseinov təklif etmiş və bu üsulu tətbiq edərək belə obyektlərin siyahısını vermişdir.

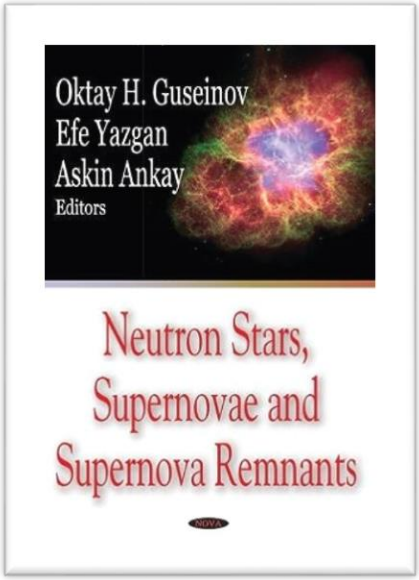
"A Complete Catalog of Galactic Supernova Remnants", **X-ray kataloqlarını, Ağ cırtlanlar kataloqu, ve PSR kataloqlarında**O.X. Guseinov **rəhbərliyi ilə dərc olunub.**

Onun yalnız aparıcı xarici jurnallarda 300-dən çox dərc olunmuş elmi əsərləri var. Bu elmi əsərlərə 1000-dən çox istinad olunub və indidə bu istinadlar davam edir.

O. X. Guseinov, E. Yazgan, A. Ankay (editors), "NEUTRON STARs, SUPERNOVA AND SUPERNOVA REMNANTS" Nova Science Publishers – New York, 2007 (ISBN: 1-60021 - 548- 3). https://www.amazon.com/Neutron-Stars-Supernovae-Supernova-Remnants/dp/1600215483

Amerika Birləşmiş Ştatlarında dərc etdikləri bu kitabı O.X.Guseinov və onun tələbələri E.Yazgan, A. Ankay öz həyat yoldaşlarına həsr etmişlər.

Canada 1977 il.



Oktay Guseinov 2009-cı il mart ayının 25-də Türkiyədə vəfat etmiş və Antalya şəhərində Uncalı məzarlığında dəfn olunmuşdur.

TƏLƏBƏLƏRİ VƏ HƏMKARLARI O.GUSEİNOVU BELƏ XATIRLAYIR:

Pesach Amnuel:

Astrofizikada fəaliyyətimlə bağlı ən gözəl xatirələr Oktayla bağlı xatirələr, mübahisələrimiz, məqalələrimizdir...

Sonuncu kursda oxuyurdum, o vaxt astronom olmağı istəyirdim, amma xəyal etmirdim, çünki fakültədə astronomiya şöbəsi yox idi, Moskvada oxumağa isə pul kifayət etmirdi.

Sonra həyatımda bir hadisə baş verdi. Oktay Moskvada Yakov Borisoviç Zeldoviçin rəhbərliyi altında yenicə f.-r.e.n. ddissertasiyasını müdafiə etdmişdi və dərhal ŞAO-nun elm üzrə direktor müavini təyin edildi.O, işçiləri götürmək üçün universitetə gəldi. Mən beşinci kursda oxuyanda sinifin qapısında məni otuz yaşlarında, ciddi bir gənc gözləyirdi. Soyadımın Amnuel olub-olmadığını soruşdu. "Mənim adım Oktaydır" dedi, «Dekan mənə dedi ki, sən astronomiya ilə maraqlanırsan. Mənimlə işləmək istərdinizmi?" Əlbəttə!- dedim. Beləcə Oktay Xanguseynoviç Guseinov mənim elmi rəhbərim oldu.

Sonra Oktay məni rəsədxanaya apardı, onun rəhbərliyi ilə fəlsəfə doktoru dissertasiyası müdafiə etdim. Bütün məqalələri həm müəlliflikdə yazmışdıq və soyadım müəlliflər siyahısında birinci idi, baxmayaraq ki, Oktayın rolu təbii

ki, məndən böyük olurdu - amma o, bir çox başqa "müdirlərdən" fərqli olaraq, müəlliflərin adlarının əlifba sırası ilə olmasını tələb edirdi.

Birlikdə çox iş gördük, hələ də elmi ədəbiyyatda istinadlar tapmaq olar. 1974-cü ildə biz yazmışdıq ki, Qalaktikada Scorpio X-1-dən 10.000 dəfə zəif parlaqlığa malik təxminən 10.000 zəif rentgen mənbəyi ola bilər. Nə qədər etiraz edildi! Ola bilməz, deyirdilər, spektrin maksimumu yumşaq oblasta keçir, mənbə ultrabənövşəyi olur... Amma 20 ildən sonra zəif mənbələr dəqiq proqnozlaşdırılan miqdarda tapıldı.

1974-cü ildə biz sintetik X-ray nova işıq əyrisini "çəkdik" - o zaman partlayışdan sakit fazaya qədər dövrdən belə bir mənbə hələ müşahidə edilməmişdi. Biz 20 obyekt haqqında fraqmentlar məlumatlar topladıq və "tikdik" - bu işə əsasən xarici jurnallarda çoxlu istinadlar var.

Daha sonra Qalaktikada zəif rentgen mənbələrinin paylanması, qoşa sistemdə supernova partlaması zamanı nə baş verməsi və ulduzun güclü maqnit sahəsi varsa, supernova partlamasının necə baş verməsi haqqında da yazmışdıq.

Sonra biz planetar dumanlıqlara yeni məsafələr miqyası qurduq - onların radio emissiyası ilə, əvvəllər bunu heç kim etməmişdi.

Yetmişinci illərin ortalarında Oktay deyirdi: xaricdə çap etmək lazımdır, o zaman iş diqqət çəkər. Və o vaxtdan bəri biz "Astrophysics and Space Sciences" jurnalına məqalələr təqdim edirik və 1978-ci ildə Astrofizika Jurnalında "X-şüaları Mənbələrinin Tam Kataloqu" nəşr olundu və bütün hekayə budur.

Bu, ən nüfuzlu astrofizika jurnalı pulludur və kataloq böyük idi, demək olar ki, 700 obyekt, o dövrdə dünyanın ən dolğun rentgen kataloqu idi. 12 min dollara yaxın pul vermək lazım idi, biz belə pul görməmişdik, institutda da yox idi. Bu ayrı bir hekayədir.

1977-ci il idi. Yayda, Moskva yaxınlığındakı alimlər şəhərində, Protvinoda rentgen astrofizikası üzrə ilk Sovet-Amerika konfransı keçirildi. ABŞ-dan Amerika kosmik rentgen proqramının rəhbəri Corc Klarkın başçılığı ilə böyük bir nümayəndə heyəti gəldi; bizim tərəfimizdən relativistik obyektlərlə məşğul olan bütün aparıcı astrofiziklər iştirak edirdi. Oktay Guseinovla mən də 506 mənbədən ibarət böyük bir kartotekanı götürüb Protvinoya getdik.

Bir gün Corc Klarkın yanına gəldik və işimiz haqqında danışdıq. O, kartotekanı görmək istədi, kartları uzun müddət yerdəyişdirdi və dedi: - "Bu dərhal dərc edilməlidir. Belə tam kataloq hələ mövcud deyil, və buna çox ehtiyac var". "Harada dərc etməli? soruşduq. "Əla şeydir." "Əlbəttə, Astrofizika Jurnalı" - deyə Klark cavab verdi. O, astrofizika üzrə dünyanın ən nüfuzlu jurnalı idi (və hələ də qalır).

Amma jurnalda bir məqalə dərc etmək üçün hər səhifə üçün 60 dollar ödəməlisən, kataloqumuzda iki yüz səhifə var amma bizim bir dollarımız belə yoxdur!

Rəsədxanamız isə kömək edə bilmədi. Biz Klarka hər şeyi danışdıq, o cavab verdi: "Məqalə hazırlayın, göndərin. Düşünürəm ki, istisna edib materialı ödənişsiz qəbul edəcəklər".

Məqalənin həcmi bir yazı makinasında yüzə yaxın səhifə tutdu, üstəlik cədvəllər, qrafiklər, histoqramlar ... Göndərildi. Üç aydan sonra bizə məktub gəldi ki, məqalə qəbul olunub və jurnalın Əlavəsində (Astrophysical Journal, Supplement Series) dərc olunacaq. Məktuba 6000 dollar məbləğində ödəniş etmək zərurəti haqqında kağız da əlavə olunub.

Təbii ki, biz belə bir məbləğin yüzdə birini belə tapa bilmədik və qərara gəldik ki, bu barədə dərc olunan hekayə bitmiş hesab edilə bilər. Bu nəzərdə tutulmayıb. Bununla belə, mən Klarka məktub yazaraq məqalənin niyə dərc oluna bilmədiyini izah etdim. Bir ay keçməmiş Klarkdan məktub gəldi. Məktubda məsələnin həll olunduğu və nəşrin xərclərini Kolumbiya Universitetinin ödəyəcəyi bildirilib. Məktub həqiqətən də jurnalın ünvanına altı min dolların köçürülməsi ilə bağlı mühasibat hesabatı ilə müşayiət olunmuşdu.

1978-ci ildə bu kataloq nəşr olundu və Klark sonradan bizə yazdığı kimi, onun məlumatlarından yeni rentgen müşahidələrinin hazırlanmasında istifadə edildi. Kataloqa çoxlu İstinadlar var, vaxtaşırı mən indidə bu kataloga verilən İstinadlara rast gəlirəm.

Bizim kataloqumuz sovet astrofizikləri tərəfindən, bu xarici aparıcı jurnalda ilk nəşr olunmuş ilk kataloq oldu.

Oktay hocanın vefatını duyan Moskova Kozmik Araştırma Enstitüsünden Prof. Genadiy Besnovatiy-Kogan şöyle diyor:

"Oktay, 20-21 asırların en yetenekli Azeri astrofizikçisiydi, belki de bütün tarihin.

O fizikçi-filozoftu, fizikçi-matematikçi değildi, sırf bu yüzden onun en önemli çalışmaları-en derin fikir ve düşünce analizlerinin sonuçlarıdır, formül ve uzun hesap yapmalar değil... İyi ki astrofiziğin yeni bölgesinde çalışmaya başladı, orda çalışmaları çok verimli oldu.

Ayrıca Zeldoviç'in yanında okuyup çalışabildiği için de çok şanslıydı. Bence Oktay'ın en önemli çalışmalarından biri Zeldovic'e birlikte vardıkları sonuç olan Supernova olayı zamanı ansızın Nötrino ışıması patlaması öngörüsü olmuştur (1965 yılında öngörüdü, 1987 yılında Magellan bulutunda Supernova SN1987A patlayış zamanında gerçekten de nötrino bulundu.

Bu sonuç deneysel fizikte Supernova nötrinosu aranması gibi önemli bir branşın açılışı olmuştur.

Diğer mühim iş Kara Deliklerin Çift sistemlerde aranması olmuştur ve gerçekten de sonuçta Kara Delikler orada bulunmuşlardır...

Son yıllarda biz Oktay'la çok nadiren, o Moskova'ya geldiğinde buluşuyorduk. Onun ölüm haberi beni sarstı."

ASİST. PROF. AYHAN DİL

Oktay Hüseyin, ODTÜ Fizik Bölümünün daveti üzerine Nisan 1992'de Bakü'den geldi ve ODTÜ de çalıþmaya başladı. O zaman ki TÜBITAK Başkanının (Prof Dr. Tosun Terzioğlu) girişimleriyle "ünlü bilim adamı özel statüsü" ile 1995 yılında Türk vatandaşı oldu.

Oktay Hüseyin, üç defa Sovyet Kahramanı payesini alan (füze, atom ve hidrojen bombalarının yapılmasında üstün başarısı olduğu için Sovyet Ülkesi'nde sadece 7 kiþi farklı alanlardan böyle başarıya ulaşmıştır) Zeldoviç'in öğrencisi oldu, uzun yıllar onunla birlikte çalıştı ve makaleler yayınladı. Fiziğin, Astrofiziğin ve Uzay bilimlerinin birçok dalında çalıştı ve bu bilim dallarına büyük katkılarda bulundu. Bu çalışmaları sonucunda iki tane de Sovyet patenti aldı.

Ayrıca, Sovyet Ülkesi'nde 70 yılda (1917-1987) bilim ve tekniğe en büyük katkıda bulunanlar içinde Türk Cumhuriyetleri kökenlilerinden yalnızca iki kişinin adı geçmektedir , bunlardan birisi Oktay Hüseyin'dir.

Üç yıl önce İngiltere de basılan: Malcolm Longair " The new Cosmic Centuru. A History of Astrophysics and Cosmology" Cambridge 2006; künyeli kitapta 1900 -2000 yılları arasında, kitabın konusu olan alanda ve bunlarla alakalı konulardaki en önemli bilimsel sonuçlar değerlendirilmiş ve bu sonuçların müelliflerinin adı, soyadı ve yaşadığı yıllar verilmiştir. Türk cumhuriyetleri kökenliler içinde (Türkiye dahil), bu kitap da yalnızca Oktay Hüseyin'in adı geçmektedir.

Türkiye'de bulunduğu süre içerisinde hakettiği değeri ve ilgiyi –malesef- hiçbir zaman görmemiştir. Çünkü Oktay Hüseyin argümanlarini daima bilime dayandırmış, aldığı eğitimin ve gördüğü terbiyenin sonucu olarak gücün, iktidarın aleyhine de olsa doğruları her koşulda açık bir şekilde dile getirmiş ve eleştiri yapmaktan kaçınmamıştır.

Burada asıl vurgulanması gereken şudur ki; onun eleştirileri daima; sorunu, sorunun nedenlerini ve çözümlerini kapsayacak biçimde olmuştur.

Kendisinden bilim konusunda birşeyler öğrenmek isteyen herkese ve özellikle gençlere, bilgilerini ve fikirlerini büyük bir hevesle, saygıyla ve nezaketle açmıştır. Onun hakettiği değeri görememesinin asıl nedeni ise –kendisininde her zaman yakıdığı gibi ülkemiz bilim insanlarının büyük çoğunluğunun bilime olan ilgisizliği ve gerçek bilime uzak olmalarıdır.

Oktay hoca Yaşadığı dönemde bilgisinden, tavrından, tarzından yeterince yararlanamadığımızı ve bundan ülke bilimimizin önemli bir zarara uğradığını bilmenizi isterim.

Başımız sağ olsun.

Dr. İkram Çınar E-Eğitim, Bilim ve Sanat *Dergisi*;

Sahibi, Sorumlu Yazı İşleri Müdürü ve Editörü:

OKTAY HOCAYI ANARKEN BİLMEMİZ GEREKEN ONUN BİZE DEĞİL, BİZİM ONA İHTİYACIMIZ OLDUĞUDUR.

2007 yılının başlarıydı. Oktay hocadan bir elmek aldım. ...Makalesini okudukça hayran kaldım. Farklı biriydi. Fiziği herkesin anlayabileceği kadar somutlaştırarak yazıyordu. Bilimi ve Türkiye'deki bilim anlayışını sorguluyordu. Bilim kültürünün, araştırmanın ve fizik öğretiminin zayıflığından şikâyetçiydi…

İyi yetişmemiş ya da alanını iyi kavramamış bilim yazarlarının yazılarını okurken genellikle pişmemiş yemek yediğimi düşünürüm. Oktay hocanın yazılarını okurken yemeğin iyi bir aşçının elinden çıktığını düşündüm.

Okuyucu onun yazılarında bilgeliği hissediyor. Bu da sağlam bir bilimsel altyapısının olduğu ve alanının zirvelerinde dolaştığını gösteriyordu. Böyle birisinden damıtılmış bilgileri almamak ahmaklık olurdu. Üstelik kendisi alamasa bile öngörüleriyle başkalarının Nobel ödülünü almalarına vesile olmuş ve yine üretmek isteyen bir bilgine ortam sağlamak herkesin görevidir.

...Ondaki bilgeliği görünce bir fizikçi bakış açısıyla onu sosyal olayları değerlendirmeye teşvik etmek istedim. Bir fizikçinin sosyal olayları yorumlaması ilginç olacaktı. Çok değerli yazılar çıkardı. Hatta bunu sevdi. Evren, Evrenler, Allah ve İslam yazılarından sonra laiklik üzerine birlikte bir kitap hazırlamayı önerdi. (Ne yazık ki yoğunluğum sebebiyle ileri bir tarihte bununla ilgilenebileceğimi söyledim ve erteledik.) Bu yazılarında bana kalırsa önemli teolojik yaklaşımlar bulunuyor…

Hocanın yazıları Eğitişim'de bir sure yayınlandıktan sonra engellemeye çalıştılar, dikkate almadım. Bir bilginin kimseye borcu yoktur ama başta ülkesi ve yurttaşları olmak üzere bütün insanlığın ona borcu vardır. Onu ve çalışmalarını tanıtarak ömrünün boşa gitmediğini göstermek, kadirşinas olmak bir görevdir. Böylesi bilginler sadece ortaya koyduklarıyla değil, hayat hikâyeleriyle bile öğretici olmayı sürdürürler.

Oktay hocayı anarken bilmemiz gereken onun bize değil, bizim ona ihtiyacımız olduğudur.
Onu minnet ve rahmetle anıyorum.

Volkan Kor (Fizik Öğretmeni):

OKTAY HOCAYI GEÇ BULUP ERKEN KAYBETTİK

Oktay Hüseyin hocamızı bir internet sitesindeki yazısı sayesinde tanıdım. Bu yazısını okuduğumda şöyle düşündüğümü hatırlıyorum: "Vay be, bu adam fiziği gerçekten biliyor, güzel de izah etmiş. Ezber veya çeviri olamaz, çok iyi bir fizikçi". Kendisi de bir profesör olmasına rağmen, lise öğretmenlerinin bile çoğu profesörden daha iyi düşündüğünü ve anladığını defalarca vurgulamıştı. Okuduğum yazıda herkesin anlayabilmesi için de gayret edildiğini fark etmiştim. Fiziği iyi bilen ve bildiklerini herkesin bilmesini, hem de kendisi kadar heyecan ve merakla öğrenmesini isteyen biri ile karşı karşıyaydım.

Böyleleriyle gelişmiş ülkelerin üniversitelerinde ve çeviri kitaplarda karşılaşmamıza rağmen ülkemizde varsa da kaç kişi bulabilirdik. Fiziği anlamak için bilgi derinliği, kapsamlı düşünme ve mümkünse sezgi gücü, daha önemli şeylerdi. Bunları yazılarında da sık sık vurgulamıştır zaten. Ben de tam böyle fizik öğrenmek ve öğretmek istiyordum.

Ona göre (artık bana da göre), değerli bir bilim adamı; kökeni, dini, ırkı ne olursa olsun, örnek ve ilham alınmalıydı. Ama Müslümanların, hele Türklerin bilimde iyi bir yere gelememesi ve yetersiz gibi görünmesinden de rahatsızdı. Yanlışları gördüğünde, "Volkan, yazık olur bu millete" derdi. Ona göre, bir şey bilimin ilerlemesini engelliyorsa, yanlış yapılıyordu. Bilimin sevilmesini, düşünülmesini, yaygın olmasını ve planlı yapılmasını isterdi. Kendisi böyle ortamda bir yetişmişti.

Çoğu insanın fark edemediği bilimsel hataları fark edip, doğrusunu söyleyebilecek kapasitede bir insandı. Soracaklarım ise bitmemişti. Böylesi bir rehber, bir öğretmenin başına milyonda bir gelir mi? Öğretmenlerin bilemedikleri olmaz mı? Biz kime soralım? Kimin sözlerine güvenelim? Benim için çok büyük bir şanstı. Ayrıca sanırım her fizikçi benim gibi bilim ve eğitim için güçlü bir ışık olmak ister. Lisans eğitimimle bunu çok kısıtlı yapabilecekken kendisiyle tanışmam, onun yapmak istediklerine yardımcı olabilmem benim için apayrı bir şanstı. Bunun için Allah'a özellikle şükrettim ve ediyorum da.

Ülkemizde bulunması bizim için büyük bir şanstı. Fakat galiba bu şansı yeterince değerlendiremedik. Kim bilir böyle şans bir daha ne zaman elimize geçer?

Kendini çok iyi tanıdığını düşünürdüm. Yazdıklarında ne abartı, ne gereksiz tevazu görmedim. Düşündüğü gerçekleri sanki "matematiğin kesin dili" gibi ifade edebilen biriydi…

Ne yazsam eksik kaldığını hissediyorum. Başta değerli ailesi olmak üzere tüm sevenlerine baş sağlığı diliyorum. Kendisine ise rahmet. Huzur içinde uyu hocam.

Dilerim ki, gittiğiniz yerde değer verdiğiniz fizikçilerle birliktesinizdir.

Murat Ertürk (Çanakkale Onsekiz Mart Ün. Fizik Bölümü Arş. Gör.)

YERİ DOLDURULAMAYACAK BİR KAYIP

Tanıdığımıza gerçekten sevindiğimiz ve hayata bakış açımızı değiştiren çok az sayıda insanla karşılaşırız. Böyle insanlarla karşılaştığınızda sizi hemen kendine çeken bir taraf bulunur.

İşte Oktay Hüseyin hocamda bu özellikte bir insandı. Üstelik ülkemizde ne yazık ki artan üniversite sayısına ters olarak hızla azalan, nesli tükenmekte olan, çok az sayıdaki "bilim insanlarından" biri idi.

Sanırım beni ilk olarak etkileyen tarafı karşısındaki insanın içini okurcasına bakan pırıltılı gözleriydi. Keskin, net ve aydınlık sözleri ile kurduğu cümlelerle karşısındakinin etkilenmemesi olanaksız idi. Ağzından çıkan her sözcük, sanki çok uzun yıllar boyu düşünülmüşçesine kesin ve keskin. Dinlemeye başladığımızda, düşünmek ve anlamak isteyen için yeni ufuklar, yeni düşünceler ve yeni Dünya'lar gibiydi.

Temel bilimci olmanın verdiği özellik olarak (onun anlatımıyla) "net ve aydın" şekilde konuşmak ve problemi ortaya "kesin şekilde koymak" en büyük özelliğiydi. Olaylara bakışındaki bu kesinlik ve açıklamalarındaki bu aydınlığı onunla konuşan herkes rahatlıkla fark ederdi. Her zaman vurguladığı "temeller sağlam ve onlara dayanarak konuşursan hata yapmazsın" onun için bir ilke idi.

Bilimsel bilginin verdiği güçle görüşlerini söylerken korkusuzdu. Bu korkusuzluğu, bilimin, bilginin verdiği güçten kaynaklanıyordu. Oktay hocam konuştuğunda bu gücü hissedebilirdiniz. Açıklamaları, anlamak isteyen için çok kesin ifadeler içerir ve sadece hayranlıkla dinlemenin zevkine varırdınız. Ülkemizde bolca bulunan bilgi sahibi olmadan fikir sahibi olanlar için ise büyük bir afallamaya yol açardı.

Derin ve sezgisel düşünce gücü ile tartışılan konuyu çok çabuk kavrayarak kendi düşüncesini ortaya koyabilirdi.

Tanıdığım 1997 yılından beri ağzından en çok duyduğum sözcük olan "hissetmelisen" onun fizik bilimine bakışını özetleyebilir. Fizik ile uğraşanların, onun felsefesine göre hissetmeleri gerekirdi. Bu çalışılan konunun fizikçi için bir zevk olması anlamına gelirdi onun için. Ve bu öyle bir zevk ki ancak bu hissi yaşayan bilebilir. Bu sezgisel ve derin düşünce gücü, onu klasik araştırmacılardan ayıran en önemli özellik idi.

"Hisseyleyerek" yaşadığı bilimsel hayatı boyunca, bilim dünyasına büyük katkılarda bulundu

Ondan aldığım ilk ders olan Elektromanyetik teorisi dersine girişini hiç unutamam. Elinde küçük bir, öğrenci isimlerini yazdığı, not defteri ve bizim bezgin suratlarımızda bilgi kırıntıları arayan, yanlışta olsa yeni düşünceleri sorgulayarak bakan parlayan gözleri. İlk defa bir hoca derste bizden tartışmamızı istiyor ve bu tartışmalardan bize

notlar veriyor ve üstelik tartışmalardan zevk alıyordu. En sevdiği şey bilimsel bir konuda (tamamen saçma sapan olsa da) tartışan öğrenciler görmekti. Özellikle her kesin çok iyi biliyorum dediği basit konularda bile öyle basit ama çetrefilli sorular sorarak tartışma başlatırdı ki, aslında basit olarak gördüğümüz konuları bile derin olarak düşünmeden aynen dershanelerde nasıl yetiştirildiysek öyle öğrenmeye (ezberlemeye) devam etiğimizi anlamıştık.

Tartışma sonunda yapmış olduğu açıklama o kadar sade ve aydın olurdu ki hayranlıkla yerimize oturur ve daha iyi tartışmak için hırslanırdık. Her zaman en zor görünen problemleri bile anlatırken "eğer anladıysan onu en basit şekilde bile anlatabilirsin" derdi. En basit şekilde anlatma konusunda bir uzmandı sanki. O kadar konusuna ve anlattığı "meselelere" hâkimdi ki, fiziği genel şekilde bilmek gerektiğini özellikle vurgulardı. Popüler bilim yazılarında da bu konusuna hâkimliğini ve problemleri daha geniş açıdan görme özelliğini bulabilirsiniz.

Ders anlatırken, klasik üniversite profesörlerinin aksine, en önemli özelliği farklı düşünen ve iyi soru sorarak tartışma başlatacak, kendisini zorlayacak öğrencilere değer vermesiydi.

Oktay Hüseyin hocamın bilim insanı olması ve 24 saat bilimi yaşaması yanında önemli bir özelliği olarak onun bildiklerini öğrencilerine aktarmasıdır. Ondan aldığınız bilgilerin, söylediği sözlerin kalıcı bir etkisi vardı. Bu özellik "temeller sağlam olması" için onun çabalamasından ve kalıcı olması için en basit hale getirmeye çalıştığı anlatımından ileri gelmekteydi. Bilim insanı olması yanında çok iyi bir eğitmendi.

Aklımda kalabilen en temel fizik bilgileri tamamıyla ondan duyduklarım ve onun anlattığı şekilde kafamda yer etmiştir. Anlatımında kullandığı sözcükleri ne bir eksik ne bir fazladır. Anlatılan konunun veya problemin çerçevesini çok iyi belirleyerek konuştuğu için söylediklerinin ya da tanımladıklarının hangi sınırlar içinde geçerli olduğunu da belirtirdi. Bu şekilde, problemlerin çözümleri için bir bakış açısı koyabilmek, ne kadar doğru ne kadar yanlış konuştuğunu bilmek olarak görürdü. Bu alışkanlık, neyi ne kadar bildiğimizi belirlemek, çok önemli bir başlangıç noktasıdır. Bu şekilde detaylarda kaybolmadan çözüm için genel çerçeveyi görebilen bir bilim insanıydı.

Bilimsel konuları tartışmayı çok iyi bilen, bilimden bahsederken zevk alan, fizik problemleri üzerine derin düşünmeyi çok iyi yapabilen "gerçek" bir bilim insanını kaybettik.

Yeri doldurulamayacak bir kayıp. Beraber konuşmalarımız, tartışmalarımız ve kazanımlarım aklıma geldikçe, kafamda büyük, sıkıntı veren ve beni karamsarlığa iten bir soru takılıyor.

Böyle büyük bilim insanları neredeyse yetiştiremediğimiz halde, var olanlarından ne kadar faydalanabildik? Ülkemize gelmesi büyük bir şans olan Oktay hocamdan ne oranda faydalandık veya verimli kullanabildik mi (çalışması sırasında ortaya çıkarılan, karşılaştığı engellerden bahsetmek bile acı)?

Ölümünden hemen önce, son konuşmamızda yazmak istediği kitaplar, popüler yazılar ve bu yazıların derlenip toparlanması üzerine konuştuk. Keşke biraz daha konuşabilseydim, biraz daha vakit geçirebilseydim.

Yokluğunu her zaman bir eksiklik olarak duyacağım.

Yapılacak daha çok iş vardı hocam, yazılacak kitaplar ve popüler yazılar, tartışmalar, öğreteceklerinizi …

Değerli ailesine baş sağlığı dilerim. Sonsuz yolculuğunda, aradığın cevapları bulman dileğiyle, huzur içinde yat hocam…»

Kardelen Dudular

İZ BIRAKANLAR- UNUTULMAZ

«Kimi insanlar vardır sönük ,ışığını yitirmiş yıldızlar gibi kaybolup silinirken hayatımızdan; kimileriyse gökkuşağı gibi birçok rengi ve güzelliği içinde barındırıp farklı hayatlara farklı renklerle iz bırakırlar ve iz bırakanlar unutulmaz.

Oktay Hüseyin de fizik bilimine ve öğrencilerine kazandırdıklarıyla bilim tarihinde ve onu sevenlerin kalbinde derin izler bırakmış unutulamayacak çok değerli bir insan ve ben Oktay hocanın ışığının dünyamı aydınlatması şansını yakalamış bir öğrenciisi olduğum için kendimi çok mutlu ve şanslı hissediyorum.

Oktay hocayla tanışmamız ailemin okuldaki fizik sınavı notlarımın biraz daha yükselmesi için iyi bir fizik öğretmeniyle çalışmam gerektiği düşüncesiyle gerçekleşti. Sınav sisteminin ve öğretmenlerimizin herşeyi ezbere indirgeyen yaklaşımı ben de fizik kitabının kapağını dahi açmak istemeyecek kadar nefret uyandırmıştı ve açıkçası aklımdaki tek düşünce fizik sorularını nasıl çözüp notlarımı yükseltebileceğimdi; ama Oktay hocanın anlatımları fiziğe bakışımı çok farklı boyutlara taşıdı, onun fen bilimlerini doğadan ve yaşamdan soyutlamadan özünde birbirini tamamlayan bir bütün olarak gören yaklaşımı nefret ettiğim fiziği sevmemi sağladı.

Onunla fizik üzerine sohbet eden herkes de benim gibi o güne kadar bildiği (bildiğini sandığı) fiziğin aslında ne kadar farklı, doğayla iç içe olduğunu ve ne kadar sevilebilir olduğunu anlamışlardır diye düşünüyorum.

Aslında hayatın içinde her an gördüğümüz ama farkına varmadığımız ya da merak etmediğimiz soruları sordu hep: "Karıncaların yuvasını neden su basmaz" dedi, "canlılar neden genelde yuvarlaktır" dedi, "dalgalar neden kıyıya vurur ve gökyüzü neden mavidir?"… Bu ve buna benzer birçok soruyu cevabını benim vermemi düşünüp sorgulamamı istedi. Sorular sorup eleştirmediğim sadece anlattıklarını dinleyip onayladığımda hiç memnun olmazdı. Ona göre insan fikirlerini tartışarak, sorular sorarak eleştirerek, gördüklerine neden sorusunu sorarak öğrenir ve gelişirdi; o yüzdendir ki anlamadığım ya da düşüncelerine katılmadığım zaman sorular sorup eleştiri getirdiğimde gözleri ışıldardı. Fikirlerine karşı çıkılıp eleştirilere maruz kalması onun için uzak durulması gereken bir durum değil, kendisini daha da geliştirip yeni fikirler öğrenmesi için fırsattı.

Bu yüzden de Türkiye'deki sorgulamadan uzak ezberci eğitim sistemini anlamakta zorlanıyordu, bu ezberci eğitimin öğrencilerin düşünmesine izin vermediğini ve çok iyi öğrencilerin sistemin çarklarında heba olup gittiğini söylerdi.

Bilime verdiği önemin ve fiziğe meraklı öğrencilerine kazandırdıklarının yanı sıra Oktay hoca insani yönü çok derin, güçlü bir insandı. Hep coşkulu ve bir çocuğun mutlu merak dolu pırıltılı gözleriyle bakardı karşısındakine, bir kez olsun bıkkın asık bir suratla görmedim.

Bir bilim insanının sahip olabileceği en yüksek mertebeye ulaşmış olmasına rağmen sahip olduğu büyük tevazuyla bilgisini ve konumunu hissettirmezdi hiç ve bir çocukla da yetişkin bir insanla da konuşsa aynı insani değeri verirdi. Bunu onunla kimi zaman konuşma imkanı bulan aileme yaklaşımında fark ettim. O zaman 8 yaşında olan kardeşimle konuşup ona bir şeyler anlatmaya çalışırken de babamla konuşurken verdiği önemi verir, onu dikkatle dinlerdi yani karşısındakine insan olduğunu hissettiren gerçek bir insandı ve herkesten öğreneceği bir şeyler olduğunu düşünecek kadar da olgun ve kendini aşmaya çalışan biriydi.

İlk dersimizde "karşımda bir profesör duruyor onun derin bilgisiyle anlattıklarını kavrayamaz sorularına doğru cevap veremezsem" endişesi içinde kasıldığımı hissettiğimde onun müthiş tevazusu ve insan olduğumu hissettiren yüreklendirici tavrıyla kendime güvenmemi ve saçma ve yanlış dahi olsa fikirlerimi sormaktan çekinmememi sağladı çünkü onun için yanlış sorular sormak ya da konuyu bilmemek değildi önemli olan, önemli olan öğrenmeye açık meraklı ve anlamak için çabalayan sorular soran insanlarla konuşmak onlara fiziği anlatmaktı ve fiziği herkesin anlayabileceği bir dille anlatırdı. Fizik, onun anlatımında sadece belli bir kesime hitap etmesi gerekirmiş gibi görünen aristokrat havasından sıyrılıp halkın ve gündelik hayatın içine karışırdı yani matematiksel formüllerin ağır dili yerine bir çocuğun bile anlayabileceği sade ama özünü barındıran bir dille açıklardı.

İnanılmaz çalışkan bir saniyesini bile boşa geçirmeyen, yürüyüş yaparken bile gördüklerini sürekli analiz eden beynini her an bilmediği soruların cevaplarını bulmaya yoran gerçek bir bilim insanıydı çünkü ona göre "insanı hayvandan ayıran yanı düşünmektir" ve kendi deyimiyle "boş işlere" harcayarak zamanı yoktu.

Zaten onu tanıdığımda artık emekli olmuş yaşı ilerlemiş bir insanın evinde oturup çocuklarıyla torunlarıyla vakit geçirmesi dururken neden sürekli birilerine (fiziği merak eden) fizik anlatmaya çalışarak makaleler yazarak bir öğrenci gibi çalışıp kendini zorladığını anlayamamıştım.

Ömrünü bilime ve bilime meraklı insanlara bir şeyler kazandırmak için harcamış, engellerden yılmayan tevazuu ve olgunluğu hayatına sindirmiş, soru işaretlerini aklından eksik etmeyen şahsına münhasır değerli bir bilim adamını ve gerçek bir insanı kaybettik ama sevenlerinin kalbinde ve zihinlerindeki soru işaretlerinde yaşamayı sürdüreceğine inanıyorum.

Değerli ailesine ve tüm sevenlerine başsağlığı diliyorum, huzur içinde yat hocam.»

Zakir Seyidovun xatirələrindən:

OKTAY MÜƏLLİM BİZİ TƏRK ETDİ... BU, AZƏRBAYCAN ELMİ ÜÇÜN BÖYÜK ZƏRBƏDİR.

Mən onu tələbəlik illərindən tanıyırdım. Oktay elmdə nəhəng addımlar atdı və tez bir zamanda məni hər cəhətdən qabaqladı. Təbii ki, ona görə deyil ki, biz onunla ömrümüz boyu mübahisə etmişik – dediyimiz kimi "iki kəllə bir qazanda". Mən quru, adi "nəzəriyyəçi" idim, Oktay isə həmişə eksperimental astrofizik məlumatların dahiyanə və parlaq interpretatoru olub.

Hələ aspiranturada oxuyarkən, sonralar da Oktay relyativistik astrofizikada bir sıra çox mühüm kəşflər etdi və onun adı həmişə qara dəliklər, ikili sistemlərdəki neytron ulduzları, rentgen mənbələri, Supernova qalıqları, pulsarlar ilə anılacaq – və hamısını sadalamaq mümkün deyil!

Yadımdadır ki, o, hardansa bir məktəb qlobusunu çıxarıb, onu bir neçə ay ərzində - bəzən gecənin gec saatlarına qədər pulsar emissiya diaqramının suallarını bu şəkildə anlamağa çalışaraq fırladırdı. Heç olmasa bəzi düsturlar çıxarmaq üçün məndən istifadə etsin deyə, inandırmaq üçün etdiyim sonsuz cəhdlərimdən Oktay zəhlətökən milçəkdən uzaqlaşan kimi məndən uzaqlaşırdı.

Onunla ömrümüz boyu mübahisə etdik, amma inanıram və ümid edirəm ki, ona bir alim və bir insan kimi hörmətim qarşılıqlı olub...

Oktay uzun müddət öncə parlaq şəkildə namizədlik dissertasiyasını müdafiə etmişdi, mən isə hələ də çal-çağırla məşğul olurdum, 1970-ci ildə Oktay getdi – öz təşəbbüsü ilə! – dissertasiyam haqqında Yakov Borisoviçə bu söhbəti açdı. Söhbətdə həm Gena da iştirak edirdi (Genadiy Bisnovatıy-Kogan mənim çoxdankı dostum, həmkarım və "mikro-şefim"). Və burada Gena etiraz etməyə başladı! Dedi: «İcazə verin, əvvəl (onunla birgə) modeli üzərində işi bitirim». (... Və biz Gena dediyi supernova modelindən işi heç vaxt etməmişik – və qırx (?!) ildən çox vaxt keçib). Mən sadəcə susdum və narahat oldum, Oktay isə mənim materialım kifayət qədər olduğunu – deyib, Yakov Boricoviçi sıxıb sıxdı. Nəticədə, Ya.B. rəsmiləşdirdi və bu işi həll etdi.

...Amma mən "dalaşqan" xasiyyətimə görə Oktayla o fırtınalı (bəzən də şiddətli) mübahisələrdən sonra da dayanmadım.

Nə qədər gənc idik... İndi mənim 70 yaşım var və bunları həyatdan getmiş dostum-rəqibim haqqında yazıram...

ALLAH RƏHMƏT ELƏSİN!! !

Zakir Seyidov»

Beynəlxalq Astronomi Birliyinin sədri, "Astronomical and Astrophysical Transactions" jurnalının baş redaktoru **N.G.Boçkarev:**

"Oktay Guseinovun xatirəsinə, 25 mart 2009-cu ildə vəfat etmişdir.

Astronomiya Cəmiyyətinin üzvünün, məşhur astrofizik, Şamaxı Astronomiyasının rəsədxanasının keçmiş direktoru Oktay Guseinovun vəfatı ilə əlaqədar Astronomiya Cəmiyyəti adından Azərbaycanın astronomlarına dərin başsağlığı veririk.

Bir çoxumuz onu şəxsən tanıyırdıq, sevir və hörmət edirdik.

Cəmi bir neçə həftə əvvəl akademik Ya.B.Zeldoviçin 95 illik yubileyinə həsr olunmuş seminarda Oktay Guseinovu xatırlayırdıq. Onun artıq klassik əsərinə çevrilən, işıq əyrilərindən pulsarların proqnozlaşdırılması, X-ray keçid mənbələri və başqa mühüm məqalələrini xatırlayırıq.

Oktay hər zaman bilikləri ilə paylaşmağa hazır idi. O, Azərbaycanda və Türkiyədə istedadlı elm təşkilatçısı idi.

Oktay aktiv elm həvəskarı, astrofizikada fədakar xidmət nümunəsi, maraqlı ideyaların müəllifi kimi yaddaşımızda qalacaq."

Dr. Sinan Kaan Yerlinin (ODTÜ, Ankara)

"İşte yine oldu...

Birisi daha Einstein'a taş çıkartırcasına enerji-kütle denklemini doğruladı. O birisi ki "hepimiz" onu çok iyi bilirdik...

Evet, Oktay Guseinov'dan bahsediyorum: "Ne biçim iş bu... Ben yabancı ülkeye geleceğimi, yeni dil öğreneceğimi sanırken, siz benim dilimden sohpet koyarsınız..." İlk böyle tanıştım Oktay'la, 1990'larda...

Sonra da "CV" siyle karsılaştım Oktay'ın... Gençlere örnek olmalı bu CV (kendim de dâhil tüm sıfat sahiplerine zaten ibret-i alemdi). (bir keresinde sordum) hocam sizin Amnuel ile o kadar çok makaleniz var... Ama makalelerde hep o ilk isim... Peki, bu Amnuel sizden çok mu çalışırdı... Yanıt: "Bak hele [☺]... Biz Zeldovic'in öğrencileriydik, öyle sen, ben yoktu... Makaleler hep soyadı sırasına göre çıkardı ..."

İşte Oktay böyle adam gibi adamdı ve böyle bir geçmişi vardı...

Türkiye'de sürekli kalıp "yalnızca" fizik-astrofizik-bilim yapmak için çabaladı durdu; dakikasını kendi deyimiyle "boş işlere" ayırmak istemezdi; öğrenciler yetiştirdi, makaleler yazdı, yazdık, yazıyorduk...

Onunla çalışma şansı yasamışlarımız bilir; onun "bilim" hızına ayak uydurmak çok çok zordu; saatler içinde makalelerin okunup çalışılmasını, günler içinde analizlerin bitip grafiklerin çizilmesini, ay içinde de konunun irdelenmesini isterdi...

Sertti, bıçak gibi dili vardı... Aldığı "bilimsel formasyondan"dolayı, ne düşünüyorsa çekinmeden söylerdi.

NATO-ASI toplantısında konuşmacının yanlış şeyler söylediğini fark edince olmayan İngilizcesine rağmen (çünkü grafik ve denklemleri görüp ne dendiğini yorumlamıştı) bilgisinin cesareti ile kalkıp "... Birisi söyleyeceklerimi çevirsin... Burda yanlış söhpet gedir" demişti... Çünkü aldığı bilginin temeli beton gibi "sağlam"dı ve yaşadığı matematiksel ve fiziksel deneyim de ona yılan gibi "kıvraklık" kazandırmıştı... İşte bu yüzden de bilen için ağzından "doğrular" dökülürken, bilmeyen için ise "şaşkınlık, afallama" yaşanırdı...

Uzatmanın gereği yok; giden yalnızca bedendi! Oktay hala fikirleri, projeleri, bilgisiyle sevenlerinin yanında ve onlara yol gösterdi ve gösterecek! Ve bilinsin ki onunla başlayan ekol devam edecek!

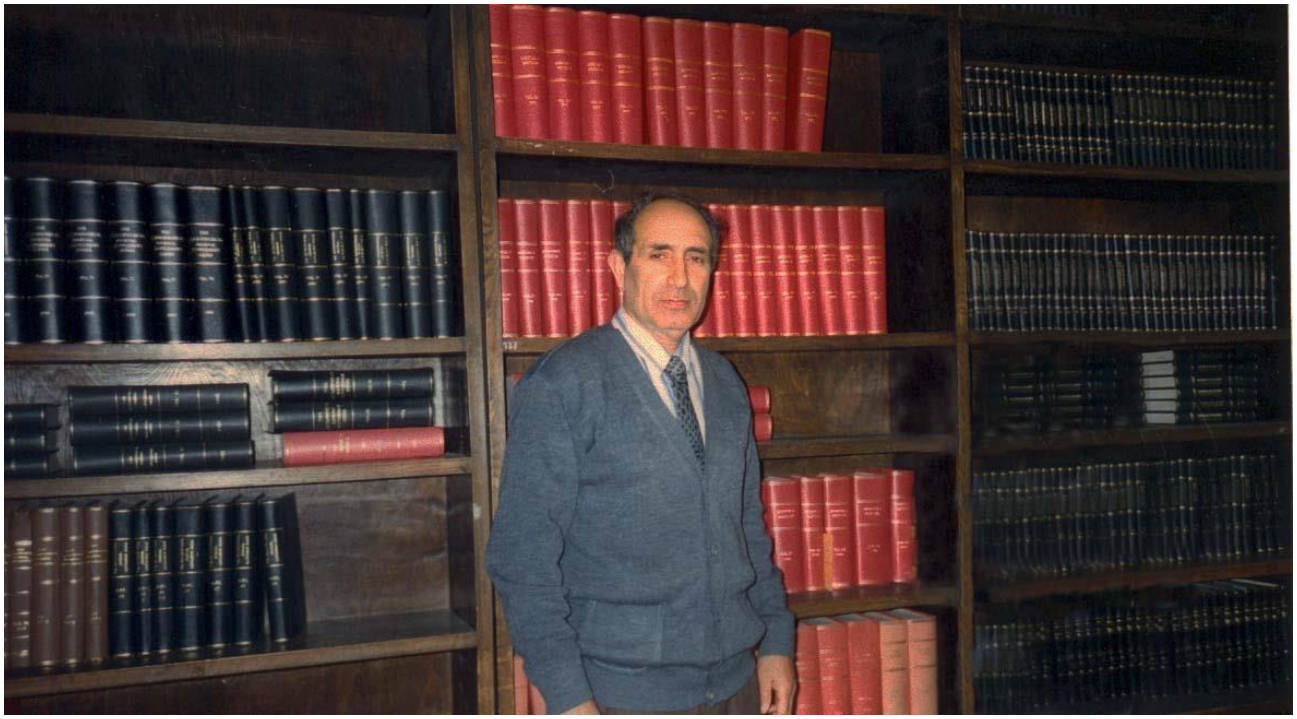
Hocam, yerin fotonların yanıydı şimdi onlarla "mutlu", "huzurlu" ve sonsuza kadar koşabilirsin...

Nur içinde yat hocam..."

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası, Anma mərasimi 2009

OUR MOST IMPORTANT SCİENTİFİC RESULTS

O. H. GUSEİNOV



We have studied and contributed to various branches of physics, astrophysics and space sciences. Up to date, some works on astrophysics and space sciences were rewarded by the Nobel prize seven times. It is known that we have made some important predictions related to three of these works. Only two scientists from Turkish Republics are listed in the book on the greatest contributions to science and technology in the former soviet union between 1917-1987 **[1]:** E. Tagiev and O. Guseinov. In his book on the greatest contributions to astrophysics and cosmology between 1900-2000 **[2],** Longair mentions only the works by O. H. Guseinov among all the works done by scientists from all the Turkish Republics including Turkey. We also haw two Soviet patents. Our most important scientific results are listed below:

1. Related to the general theory of relativity **[3,4];** precise orbits of particles with zero mass and the conditions for eclipse around black holes, and the influence of rapid rotation on the mass and radius of neutron stars for the first time. [Some other works on the influence of rapid rotation, even using Newtonian theory of gravity, were published not less than 3 years after this pioneering work].

2. Examining the collapse of cold stars together with Zeldovich, we have shown the possibility to register the neutrino flux produced by the collapse**.** Guseinov also examined the collapse of hot stars and pointed out that antineutrinos are more important **[5-8]**. Such works were done ten years later in USA and the observers who registered the antineutrinos in 1987 got the Nobel prize. From Trimble & Leonard **[9]: "**All papers on neutron star structure before 1968 obviously count predictions, and a surprising fraction of them are worth re-reading. Just now, however, we are stuck by a pair that predicts the neutrino flax from a single corecollapse [supernova] event [Zeldovich and Guseinov 1965] and then addresses the detectability of the background flux due to the sum of all past events [Guseinov 1966]. A bit esoteric you say? Well, one of us has just accepted for Another Journal a paper on precisely that issues. And the earliest cited discussion in 1984". In the former Soviet Union, our works have been mentioned in many scientific and popular books, journals and newspapers. Sunyaev wrote **[10]:** The data from Kvant and Granat satellites and our results based on them pleased him [Zeldovich] very much. But he never told me that his predictions with Guseinov, and later his work related to neutrinos from supernova were more important. I also knew that very well.

3. Let us remind our works on the necessity of searching neutron stars and black holes in close binaries and that these objects should be strong X-ray sorces. For example, Lyne & Graham-Smith writes in the introduction part of their book **[11]:** "Condensed stars, either white dwarfs or neutron stars, were predicted to be observable sources of X-rays. In 1964 independent predictions were made by Zeldovich & Guseinov **[12]** and Hayakawa & Matsouka, introducing the concept of binary stars systems as X-ray sources..". The Japanese authors mention white dwarfs, not neutron stars or black holes. Zeldovich & Novikov **[13]** wrote that this idea belongs to Guseinov. Novikov writes **[14] : "**I wish to emphasize that organizing a search for relativistic objects in the Universe was pioneered in 1965 by Yakov Zeldovich and Oktay Guseinov.". Longair writes **[2]:** "…in 1965,

Yakov Zeldovich and Oktay Guseyinov [b.1938] had proposed that the observation of X-ray or γ –rays from single-line spectroscopic binaries might be the signature of either a neutron star or a black hole". We have done lots of work on this subject, e.g. see the works **[15-19].** Later, the people who made the first X-ray observations and found neutron stars and black holes got the Nobel prize.

4. Prediction of the unexpected pulsed and conical emission from an astronomical object was described by Lipunov **[20]:** "Unimportant idiological and psychological barrier was surmounted by the Soviet scientists Amnuel and Guseinov [1968] who pointed out the need to take into account the magnetic field of neutron stars. It follows from general consideration that neutron stars must have strong magnetic fields, and the accreting matter under real conditions is a good conducting plasma. The way in which matter falls onto a star may change dramatically in a magnetic field. Thus, even a spherical incidence in the vicinty of a neutron star may lead to an anisotropy in the distribution of matter, and hense of radiation as well. As a result of the rotation of neutron stars, the radiation apears to an observer as periodically pulsating.". Six months later a radio pulsar was observed for the first time after we have sent this article **[21]** to the journal. The one who found the pulsar got the Nobel prize. The first X-ray pulsar was observed in 1971, Lipunov writes in his book [p.11-12]: "All publications concerning the accretion theory of neutron stars before the launching of Uhuru were made by Soviet scientists.". Here, he gives 11 examples, four of which are our works.

5. Before 1971, it was not even known whether X-ray sources are point-like or not, because the uncertainties in the coordinates were up to 4-5 degrees. In order to determine the nature of these sources and which optical stars they are companion of, it was needed to find the X-ray and optical properties of these sources, which we assumed to be binary systems. We have done this work and sent the article to a journal in 1967, but it was published in 1970 as the editorial board thought that our results are unbelievable. Linunov writes on page 11 in his book **[20]:** "The X-ray radiation emitted by an accreting neutron star must be subjected to several periodic modulations [Guseinov 1970]: 1.short pulsations due to the rotation of the neutron star, and 2. Variations with orbital period associated with the eclipses of the X-ray source and with the variation of the accretion rate due to a change in the separation between the components of the binary system. Such sources were indeed discovered soon after on the American satellite Uhuru.". Also on page 13: "The fact that X-ray pulsars belong to binary systems was established from X-ray eclipses and from the variation period due to orbital motion, i.e., from the effects mentioned by Guseinov [1970].". This work of us was also mentioned with praise by van den Heuvel in Nature in 1972 after Cyg X-1 was found, which is the first ever known object that includes a black hole.

6. We have shown by examining UHURU 3 catalogue that there must be also low mass binaries with X-ray emission on the order of E33-E34 erg/s, though it was then believed that point-like X-ray sources should be very luminous [L > E35 erg/s] and with high mass optic companions. We predicted that such low mass X-ray binaries would explode as X-ray Novae and we have also predicted their light curve. In 1975, NOVA Mon [0620-003] was observed and our predictions **[23,24]** were confirmed **[25,26].**

7. Although the number of observed radio pulsars [PSRs] were increasing, the uncertainties in their distances, ages and emission cones were leading to great uncertainties in their birth frequency. Some astronomers wrote then that the birth frequency is one PSR in 5-10 year. On the other hand, theoreticians showed that Supernova phenomenon can exist very rarely during stellar collapse. We have shown that this was not the case and shown that birth frequency of PSRs is comparable to Supernovae frequency **[27-32].**

8. We predicted that the thermal emission is predominant in the high frequency part of the synchrotron emission of a young Supernova remnant in determining the radiative mechanism of the remnant and 10years later this was confirmed **[33].** We have also discussed the limits and importance of Sigma-D relation in determining the distances of Supernova remnants **[34-39]**.

9. We predicted the active and passive stages of anomalous X-ray pulsars and soft gamma repeaters, similar to Novae, and about half a year later this idea was confirmed by observations. We have also predicted that the passive stage must be much longer **[40,41].**

10. We showed that during stellar evolution the mass loss must be about 70% for single stars and about 90% in close binaries. In those times, the mass loss was neglected in calculations. We also showed that the average mass of red giants is 1.3 Solar mass based on the observational results. Until ten years after our work, it was wrongly believed that the red giants on the Galactic disk and plane have 4-6 Solar mass. Also, we showed that in most of the cases [excluding close binaries] red giants evolve to planetary nebulae **[42-45].**

More information about the problems and our works on neutron stars and Supernova remnants are represented in our book **[46].**

Türk kolleqaları ilə

REFERENCES

[1] Science & Technology in USSA 1917-1987, Moscov, Natuka 1988.

[2] M.Longair "The new Cosmic Century. A History of Astrophysics & Cosmology" Cambridge 2006,

[3] O.H.Guseinov, "On the stability of individual geon", Izvestia AN Azerb.SSR,1964, No.1, 109.

[4] V.Ts.Gurovich, O.H.Guseinov, "On the rotation of superdense configurations", J.Exp.Theor Phys.,Letters, 1965, No.3,

[5] Ya.B.Zeldovich, O.H.Guseinov, "Neutronization of matter during collapse and the neutrino spectrum", Doklady AN SSSR, 1965, 162, No.4,

[6] Ya.Zeldovich, O.Guseinov, "Neutronization of He-4".J.Exs.Theor.Phys.,Letters,1965, 1,11

[7] O.H.Guseinov, "On experimental possibilities of detection of the collapsed stars", Aston.J., 1966, 43, p.772.

[8] O.H.Guseinov, "Neutrino radiation during stellar callapse", Astron.J., 1968, 45, No.5.

[9] V.Trimble & P.Leonard, 1984" PASP 1996. 108, 8-34.

[10] R. Syunyaev, Known, not Known Zeldovich, Moskow, Natuka,1993, p.258.

[11] A.Layne, F.Graham-Smith, Puslar Astronomy, Cambridge University Pres 2006.

[12] Ya.B.Zeldovich, O.H.Guseinov "Collapse of stars in binaries" Astrophys.J., 1966,144, p.840.

[13] Ya.B.Zeldovich, I.D.Novikov, Uspehi Fiz. Nauk.1965, 86, No.3, 473.

[14] İ.D.Novikov, Holes in Space and Time, 2006, p.112,

[15] O.H.Guseinov, H.I.Novruzova "Collapsing stars in binaries" Astron.J., 1971,No.1.

[16] G.V.Akhundova, O.H.Guseinov, "Radial velocities of stars HD 28052, 37507, 104321, 05767", Astrofizika, 1973, 9 479

[17] O.H.Guseinov, "Black hole -a component of massive emitting stars", Astrofizika, 1973,No.2.

[18] O.H.Guseinov, H.I.Novruzova, Sh.Yu.Rakhamimov "On the searches of influences of invisible components in the spectra of stars HD 28052, 31109, 37507, 56986, 104321, 205767",Sov.Astron.,1975,18, p.464.

[19] O.H.Guseinov and Ya.A.Mamedov, "Resolution of binary star components", Sov. Astron., 1975,18, p.662.

[20] V.Lipunov Astrophysics of Neutron Stars, Springer-Verlag, 1992, p.6,

[21] P.R. Amnuel, O.H.Guseinov, "X-ray at the accretion of interstellar matter", Izvestia AN Azerb.SSR, 1968, No.3.

[22] O.H.Guseinov, "X-ray source in binaries", Sov. Aston. 1970, 47, 1143

[23] P.R.Amnuel, O.H.Guseinov, Sh.Yu.Rakhamimov, "X-ray nova flares", Astrophys. Spa. Sci., 1974, 29, No.2.

[24] P.R.Amnuel,O.H.Guseinov, "On the physical nature of X-ray novae", Letters to Astron. J., 1976,No.6.

[25] M.Elis, et al, 1975 Nature, 257, 656.

[26] Kaluzienski,L.J.,1977, Ap.J 212,203.

[27] O.H.Guseinov, H.I.Novruzova, "Black holes and multiple systems", Astrofizika, 1971, No.1.

[28] O.H.Guseinov,F.K.Kasumov, "Supernova flares and the formation of relativistic objects.II" Sov.Astron., 1974, 17, p.737.

[29] O.H.Guseinov, H.I.Novruzova, "Why do relativistic stars avoid binarity?",Astrofizika, 1974, No.2.

[30] O.H.Guseinov and F.K.Kasumov, "Spatial distribution and birthrate of pulsars", Astrophys. Space Sci.,1978, 59, p.285-300.

[31] O.H.Guseinov ,F.K.Kasumov,I.M.Yusifov, "Luminosity function of pulsars and their spatial density", Astrofizika ,1978, .4, p.351.

[32] O.H.Guseinov ,F.K.Kasumov,E.V.Kalinin, "Radial distribution of types I and II supernovae in spiral

and elliptical galaxies"Astrophys. Spa. Sci., 1980, 68, p.385.

[33] A.I.Asvarov, V.A.Dogel, O.H. Guseinov, F.K. Kasumov, "The hard X -ray emission of young supernova remnants." Astron.Astrophys. 1990, 229, p.196.

[34] A.O.Allakhverdiev, O.H.Guseinov, F.K.Kasumov, I.M.Yusifov, "□-D dependence in a cloudy interstellar medium and a regular Z- effect", Astrophys. Spa. Sci., 1983,.97, p.287.

[35] A.O. Allakhverdiev,O.H. Guseinov ,F.K. Kasumov, "Is there a □-D dependence for supernova remnants?",Astrofizika, 1986, .24, p.397.

[36] A.O. Allakhverdiev, O.H. Guseinov, F.K. Kasumov,I.M.Yusifov "New selection effect at statistical investigations of supernova remnents", Astrofizika, 1986,.24, p.97.

[37] A.O.Allakhverdiev, O.H.Guseinov, F.K.Kasumov, "A new approach to the possibilities of Σ-D dependence and distances of the supernova remnants",Astrophys.Sp.Sci., 1986, 121, p.21.

[38] A.O. Allakhverdiev, A.I. Asvarov, O.H. Guseinov, F.K. Kasumov, "Mechanism of regular acceleration and the evolution of supernova remnants ",Astrophys.Spa. Sci.,1986,123, p.237.

[39] Ankay, A., Guseinov, O. H., Tagieva, S. O. "Effects of the background radiation on radiopulsar and supernova remnant searches and the birth rates of these objects", Astronomical and Astrophysical Transactions, 2005, 23, 503.

[40] Guseinov, O.H., Taşkın M.Ö.,Yazgan, E., A. & Tagieva, S.O., "Removal of the diferencebetween characteristic and real age in the magnetar model fort he analises of spectral properties of AXPs, SGRs, and DRQNSs." İnt. Jour. of Mod. Phys. D. 2003, 12, 1333.

[41] Guseinov, O.H., Ankay, A., Tagieva, S.O., "Birth rates of different types of neutron star and possible evolutions of these objects", İnt. Jour. of Mod. Phys. D. 2005, 14, 643.

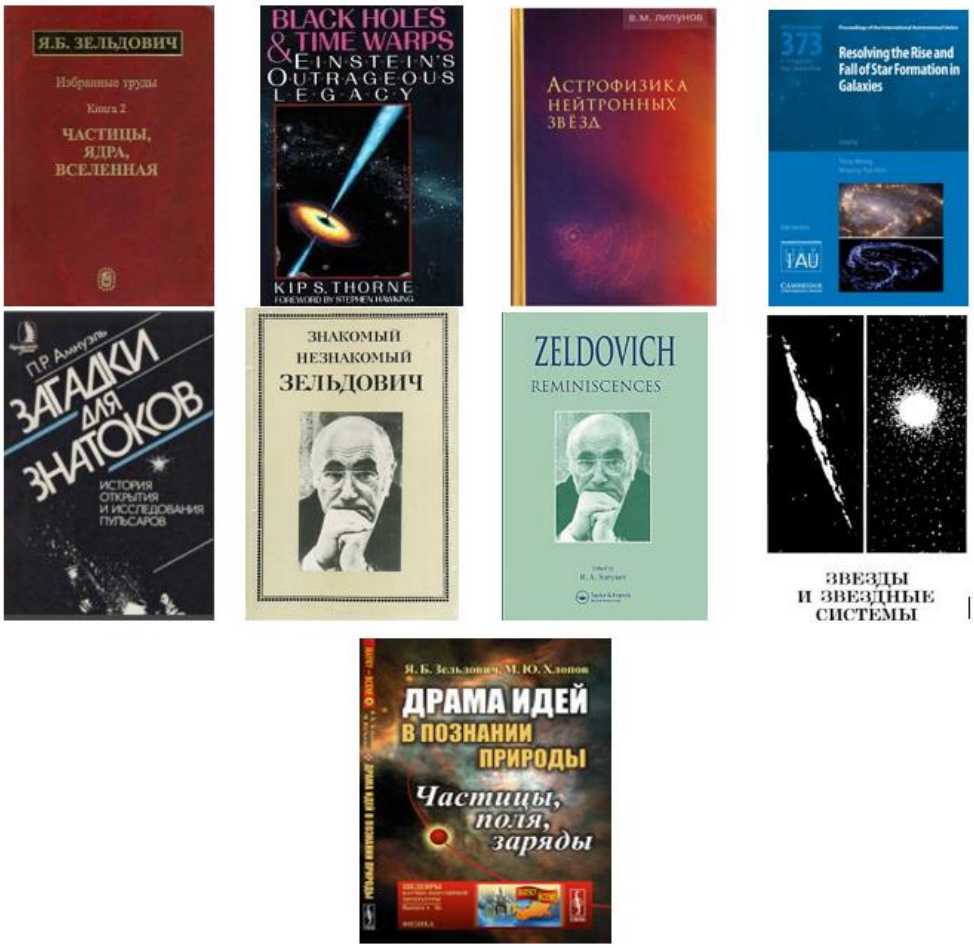
[42] O.H.Guseinov -"On the formation rate of relativistic stars and possibilities of their detection", Variable stars, 1972, 18, 443

[43] O.H.Guseinov-"Evolutionary sequence: red giant-planetary nebula-white dwarf ", Astofizika,1973, No.3.

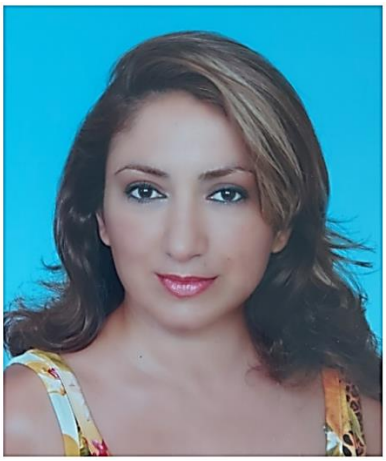
[44] O.H.Guseinov, H.I.Novruzova, "Why do relativistic stars avoid binarity?", Astrofizika, 1974, No.2.

[45] P.R.Amnuel, O.H.Guseinov -" Mass loss and the parameters of close binaries", Astron. Astrophys.,1977,.54, No.1.

[46] O. H. Guseinov, E. Yazgan, A. Ankay [editors], Neutron Stars, Supernovae and Supernova Remnants, Nova Science Publishers – New York, 2007 [ISBN: 1 – 60021 – 5



DOSENT. DR. SEVİNC OQTAY QIZI HÜSEYNOVA (TAĞIYEVA)



1987-1992-ci illərdə M.Ə. Rəsulzadə adına Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsində oxumuşdur. 1992-ci ilin fevral ayında Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasında (AMEA) baş laborant kimi fəaliyyətə başlamış və diplom işini burada yazmışdır.

S. Hüseynova 1992-1993-cü illərdə Türkiyə Cümhuriyyətinin Ankara şəhərində ezamiyyətdə olmuş və orada elmi məktəb keçmişdir. O, imtahana hazırlaşmaq və mühazirələri sərbəst anlamaq məqsədi ilə Ankara Dövlət Universitetinin Fənn Ədəbiyyat Fakültesinin dekanı Cemal Aydın tərəfindən TÖMER dil öğrətim mərkəzinə göndərilmişdi.

Ankara Dövlət Universitetinin və Orta Doğu Teknik Universitetinin fizika bölmələrində keçirilən seminarlarda iştirak etmişdir. Türk alimləri ilə birgə ilk "The İnitial-Final mass relation for White Dwarfs and their progenitors" – adlı məqaləsi Turkish Journal of Physics-da dərc olunmuşdur (C.Aydın, O Güseinov, S Özdemir, M.Özel).

"Ulduz təkamülünün son məhsulları: təzahür xüsusiyyətləri və genezisi" mövzusunda namizədlik dissertasiyası Türkiyə Akdeniz Universitetinin Fənn və Ədəbiyyat Fakültəsinin Fizika şöbəsinin müdiri, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nin (TUG) müdiri, Prof. Dr. Zeki Aslan və AMEA-nın Fizika İnstitutunun baş elmi işçisi, fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent Fikrət Qasımovun rəhbərlikləri altında yerinə yetirilib və 1999-ci ildə uğurla müdafiə etmişdir.

2005-2006-cı illərdə gənc alimlərin arasında elan olunan müsabiqədə İNTAS xətti ilə **"FELLOWSHIP GRAND for Young Scietists"** qrant layihəsini udmuşdur və 2006-2008-ci illərdə Türkiyə Cümhuriyyətinin İstanbul şəhərinə ezam olunmuşdur.

.

Türkiyənin Ege Universiteti, Sabancı Universiteti, Bogaziçi Universiteti, Akdeniz Universiteti, Orta Doğu Teknik Universiteti və Ankara Dövlət Universitetlərində keçirilən seminarlarda iştirak etmişdir.

Aparıcı xarici jurnallarda 55-ə yaxın dərc olunmuş məqalələrə 250-ə yaxın istinad olunub.

Rusiya Federasiyasında alınmış 1 patent müəllifidir.

2006-cı ildə dosent adına layiq görülmüşdür.

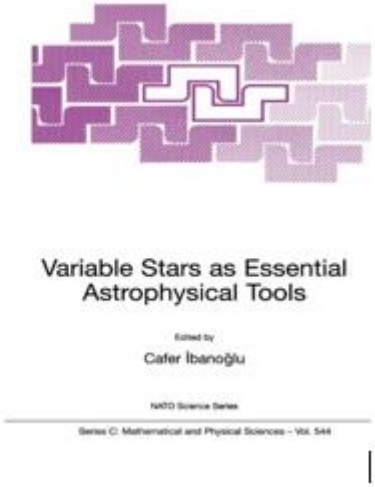
Türkiyə Cümhuriyyətində iştirak etdiyi konfranslar:

İzmir, Ege Universiteti, Elmi semenar 2000

- NATO ASI **"Variable Stars as Essential Astrophysical Tools"**, Çeşme -1998
- NATO ASI **"The Electromagnetic Spectrum of Neutron Stars"**, Marmaris -2004.
- 2001-ci ilin yayında İstanbul Sabancı Universitetində: **"Summer Reseach Program in Astrophysics New Classes of Neutron Stars"** 1 ay müddətində elmi məktəb

2010-ci ildə aparıcı elmi işçi vəzifəsində fəaliyyətə başlamış və hal-hazırda **"Kosmik şüa mənbələrinin fizikası"** laboratoriyasında bu vəzifə üzrə işləməyə davam edir.

NATO ASI "The Electromagnetic Spectrum of Neutron Stars", Marmaris-2004



PROF. DR. ƏLİ QULİYEV

Əli Əkbər oğlu Quliyev 1940–cı il aprel ayının 22-də Bakının Maştağa qəsəbəsində anadan olmuşdur. O, Bakıdakı 199 saylı orta məktəbi bitirdikdən sonra 1959-cu ildə Bakı Dövlət Universitetinə (BDU) daxil olmuş, 1962-ci ildə təhsilini davam etdirmək üçün Moskva Dovlət Universitetinə (MDU) göndərilmişdir. Ali təhsil dövründə o Moskva yaxınlığındakı Dubna şəhərində Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunun nüvə fizikası sahəsində qabaqcıl elm xadimləri olan V.Q.Solovyov, Meşşeryakov, Baraşenkov və başqalarından dərs almışdır. V.Q.Solovyovun rəhbərliyi altında diplom işi müdafiə etmişdir. Ə.Quliyev 1965-ci ildə MDU-nu bitirdikdən sonra BDU-nun fizika fakültəsində işə başlamış, elə həmin il Moskva Dovlət Universitetinin fizika fakultəsinin aspiranturasına qəbul olaraq Dubna şəhərinə ezam edilmişdir; burada aspiranturanı bitirdikdən sonra 1968-ci ildə Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunda işə götürülmüşdür. Aspirantura dövründə o, ''Deformasiyaolmuş nüvələrdə spin qarşılıqlı təsirlərin effektləri'' mövzusunda dissertasiya işi uzərindəki tədqiqatlarını N.I.Pyatovun rəhbərliyi altında aparmışdır. Tədqiqatlar spin qüvvələrinin kvadrupol qolunun kürəvi nüvələrdə zəif olduğunu göstərmişdir. O dövrdə heç bir elmi tədqiqat aparılmadan bu qüvvələrin deformasiya olmuş nüvələrdə də zəif olacağı fərz edilirdi. Ə. Quliyev kürəvi nüvələrdən fərqli olaraq kvadrupol formalı (deformasiyalı) nüvələrdə spin-kvadrupol qüvvələrinin daha effektli olmasını düşünərək bu istiqamətdə tədqiqatlara başladı. Onun bu istiqamətdə apardığı

tədqiqatlar, elmi fərziyyəsinin doğru olduğunu göstərdi və bu mövzuda onun elmi rəhbəri ilə birlikdə əldə etdiyi nəticələr nüvə fizikasının ən qabaqcıl jurnallarında dərc edilən 10 məqalədə öz əksini tapdı. O dövr ücün çox maraqlı olan bu nəticələr elmi ictimaiyyət tərəfindən qəbul olunaraq, çox yüksək qiymətləndirildi və Ə.Quliyevin bu tədqiqatları 1970-ci ildə Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunun gənc fiziklər müsabiqəsində birinci mükafata layiq görülür və Ümumittfaq İxtiraçılar və səmərələşdiricilər cəmiyyətinin Moskva və Moskva vilayətinin gənc fiziklərin əsərlərinin müsabiqəsində Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunu təmsil edərək 1971- ci ildə bu müsabiqənin Laureatı adını alaraq pulla da mukafatlandırılır. Ə. Quliyev 1971-ci ildə Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunun Nəzəri Fizika laboratoriyasının elmi şurasında dissertasiya müdafiə etdikdən sonra vətənə dönür. Ə.Quliyev 70-ci illərin əvvəllərində Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasında elmi işçi vəzifəsindən aparıcı elmi işçi vəzifisinə qədər yüksəlir. Ə.Quliyev 1971-1977-ci illərdə gənc yaşına baxmayaraq, deformasiyalı nüvələrdə spin qüvvələrinin maqnit dipol və Gamov-Teller rezonanslarının formalaşmasındakı rolu mövzusu ilə əlaqədar iki dissertasiya işinə bilavasitə rəhbərlik etmiş və onun rəhbərliyi altında bu dissertasiyalar müvəffəqiyyətlə müdafiə olunmuşdur. Tədqiqatcı alim 1977-1978-ci illərdə Danimarkanın Kopenhagen Universitetinin N. Bor Institutuna 10 ay müddətinə ezamiyyətə göndərilmişdir. Kopenhagendə olduğu müddətdə o, Nobel mükafatı laureatı Ben Mottelson ilə birgə elmi tədqiqatlar apararaq çox böyük elmi təcrübə toplayır. Nüvə fizikasında son iyirmi ilin ən mühüm hadisələrindən biri deformasiya olmuş nüvələrdə maqnit dipol təbiətli Scissors Mod (qayçı moda) rezonanslarının kəşfidir. Əli Quliyevin nüvə fizikasına verdiyi töhfələrdən yuxarıda bəhs etdiyimiz sonralar nüvə quruluşunun öyrənilməsində müstəsna rolu olacaq maqnit dipol rezonans həyəcanlanmalarının deformasiyalı nüvələrdə nəzəri olaraq irəli sürməsi olmuşdur. 1984-ci ildə bu rezonansın varlığını məşhur alman nüvə fiziki Achim Richterin təcrübi olaraq kəşf etməsi alimimizin şohrətini daha da artırmış və bu mövzuda tədqiqat aparmaq üçün o, 1985-ci ildə keçmiş SSRI və ABŞ arasında dövlətlərarası elmi əməkdaşlıq protokolu cərcivəsində ABŞ-ın Michiqan Dövlət Universitetinin dünyada ilk ifratkeçirici sargılarla çalışan tsiklotron laboratoriyasına 4 ay müddətinə ezam edilir və Əli Quliyevin burada olmasından xəbərdar olan alman alimi Prof. Achim Richter Micigan universitetinə gəlir və onunla görüşür. A.Richter burada verdiyi elmi seminarda "Scissors Mod" mövzusunda Əli Quliyev və əməkdaşlarının tədqiqatlarını yüksək qiymətləndirərək onların işlərinin ilk pioner tədqiqatlar olduğunu qeyd edir. Vətənə geri dönən alimimiz bu istiqamətdəki tədqiatlarını aspirantları və həmkarlarıyla davam etdirmişdir. Əli Quliyev 1988-ci ildə keçmiş SSRI nüvə cəmiyyətinin qurultayında SSRI nüvə cəmiyyətinə üzv seçilir. 1990-cı ildə Fizika İnstitutunda aparıcı elmi işçi vəzifəsinə yüksəlir. O, İnstitut kollektivinin etibarını qazanaraq institut həmkarlar komitəsinin sədri seçilir və Türkiyəyə gedənə qədər bu vəzifəni yerinə yetirir. 1993-cü ildən elmi fəaliyyətini Turkiyədə davam etdirən alim 1993-cü ildə Türkiyənin TUBİTAK qurumu tərəfindən 4 ay müddətinə Türkiyənin Egey Universitetinə qonaq-professor olaraq dəvət olunur və 1994-cü ildən əvvəlcə Izmir şəhərindəki Egey Universitetinin fizika fakultəsində və 1996-cı ildən 2012-ci ilə qədər isə Sakarya Universitetinin fizika fakültəsində elmi fəaliyyətini davam etdirir. Bu müddətdə alimimiz məhsuldar fəaliyyətinə görə calışdığı Sakarya Universitenin elmi şurası tərəfindən dəfələrlə fəxri fərman və diplomlarla təltif edilmişdir. Azərbaycanda və Türkiyədə yetişdirdiyi ona yaxın alim elmdə artıq öz sözlərini deməyə başlayaraq dosent, professor vəzifələrində çalışırlar.

Əli Quliyev irəli yaşlarında da tədqiqatlarını davam etdirərək, 67 yaşında nüvə quruluşunun öyrənilməsində yeni nəticələr əldə etməyə can ataraq nüvə quruluşunun öyrənilməsində nəzəri fizikanın ən böyük problemlərindən biri olan hamiltoniyanlarda meydana cıxan simmetriya pozulmalarının səbəb olduğu saxlanmayan rotasyon və translasyon invariantlıqların bərpası yoluyla sıfır enerjili Qoldstoun hallarının nüvə rezonanslarından ayrilmasının ümumiləşdirilmiş nəzəriyyəsini vermişdir. Ə.Quliyevin bu istiqamətdə əldə etdiyi nəticələr çox yüksək qiymətləndirilərək 2000-ci ildə prof. Achim Richter tərəfindən Almaniyanın Darmştadt Univesitetinə seminar vermək və nüvə problemləri uzərində tədqiqat aparmaq üçün 1 ay müddətinə dəvət olunur. Bu zaman o "Scissors Mod"-un tellur və platin izotoplarında da görülə biləcəyini nəzəri olaraq irəli sürmüş, A. Richter və əməkdaşlarıyla birgə tədqiqatlar apararaq, təcrübədə müşahidə edilmiş nəticələrin nəzəri izahını vermişdir.
Əli Quliyev Darmştadt ezamiyyətindən sonra Qoldstoun hallarının həqiqi nüvə həyəcanlanma səviyyələrindən izolə edilməsinin QRPA nın (kvazi zərrəciklərin təsadüfi faza yanaşması) yüksək versiyalarında da nəzərə alınmasının əhəmiyyətini göstərən bir layihə ilə Almaniyanın elmi dəstəkləmə baş dovlət qurumuna müraciət etmiş və bu mövzuda yazmış olduğu lahiyə Almaniyanın DFG proqramının 4 illik qrantını qazanmış və 2002-2005 illər arasında hər il 4 ay müddətinə Almaniyanın Tuebingen universitetinə ezam edilərək Almaniyanın məşhur nəzəri nüvə fiziki Prof.Dr. Amand Faessler və əməkdaşlarıyla müştərək tədqiqatlar aparmış və müvafiq nəticələr əldə etmişdir.
Hal hazırda Əli Quliyev Milli Aviasiya Akademiyasında elmi və pedaqoji fəaliyyətlə məşğuldur. İşlədiyi dövr ərzində onun 10-dən çox məqaləsi nüfuzlu elmi jurnallarda çap olunub.

Tez-tez beynəlxalq konfranslarda iştirak edən Əli Quliyev 150-dən çox elmi əsərin müəllifidir. Onun əsərləri 1000-dən yuxarı istinad alıb. Əli Quliyevin rəhbərliyi altında on beşdən yuxarı fizika üzrə fəlsəfə doktoru və iyirmidən yuxarı magistr dissertasiyası müdafiə edilmişdir. Bu nailiyyəti onu nüvə fizikasının tanınmış alimlərindən birinə çevirib. Məhsuldar yaradıcılıqla fərqlənən həmyerlimiz 10-dan artıq dövlətin alimləri ilə birlikdə tədqiqatlar aparmış, birgə məqalələr dərc etdirmişdir.

akuliev80@yahoo.com

PROF. DR. İZMİR KƏYAN ADİL GƏRAY OĞLU MƏMMƏDBƏYLİ (İZMİR MEHMETBEYLİ)

İzmir Məmmədbəyli (İzmir Mehmetbeyli) 06.10.1949-cu ildə Bakı şəhərində anadan olub. 1971-ci ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin fizika fakültəsini bitirmişdir. 2 il hərbi xidmətdən sonra Moskva Elmi Tətbiqi Fizika İnstitutunun Bakı filialında işləməyə başlamışdır. 1974-1978-ci illərdə aspiranturada təhsil almlşdır. Azərbaycanda fotoelektronika sanayesinin qurucuları akademiklər Eldar Salayev və Çingiz Gacarın tələbəsi olmuştur. 1980-ci ildə "Yarım izolyasiya edən GaAs (Cr) kristalında fotoelektroptik effekt" mövzusunda dissertasiya işini müdafiə edərək yarımkeçiricilər və dielektriklər fizikası üzrə fizika-riyaziyyat elmləri namizədi elmi dərəcəsi almışdır. Bu effekt ilk dəfə bu kristalda 1978-ci ildə İzmir Məmmədbəyli tərəfindən tapılmışdır. Təsir GaP, CdTe və InP kristallarında da müşahidə edilmişdir. 1995-ci ildə "Kubik simmetriya yarımkeçirici kristallarında fotoelektroptik effekt" mövzusunda elmlər doktoru dissertasiyasını müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri doktoru elmi dərəcəsini almışdır. O vaxt İzmir Məmmədbəyli yarımkeçirici kristalların fizikası, fiziki cihazların texnikası, fiziki sınaqların avtomatlaşdırılması, qeyri-standart ölçmə üsulları və metrologiyaya diqqət yetirirdi. O, çalışdığı İnstitututda dar zolaqlı enerji qrupu olan Hg CdTe və PbSnTe yarımkeçirici kristalların istifadə olunduğu 3-5 və 8-14 mikron dalğa uzunluğunda olan infraqırmızı bölgədə həssaslığa malik fotodetektorlar işlənib hazırlanması və istehsalı ilə məşğul olmuşdur.

Külçə kristallarının həssas sensora çevrilməsi çox uzun, bahalı və aşağı effektiv texnologiya prosesi idi. Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün o, avtomatik və təmas olmadan otaq temperaturunda dar zolaqlı yarımkeçirici kristall levhaler zolaq boşluğunun paylanma xəritəsini tərtib etməyə imkan verən xüsusi iki kanallı infraqırmızı spektrometr hazırladı. İzmir Məmmədbəyli , həmçinin yarımkeçirici levhelerin fotohəssaslığının ölçülməsini səthlərə zərər vermədən ölçmə sistemini də işləyib hazırlayıb. Keçmiş SSRİ-də bir çox müxtəlif tədqiqat institutları və yarımkeçirici kristal fabrikləri bu ölçmə sistemləri ilə təchiz edilmişdir.

İzmir Məmmədbəyli 1995-ci ildə Türkiyəyə dəvət olunmuş və TÜBİTAK Marmara araşdırma mərkəzi ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun (Fotoelektronika İnstitutu) birgə layihəsi olan İnfraqırmızı Tək Kanallı Yer tarayıcı Təyyarə Sistemi üzərində işləməyə başlayıb. Eyni müddət ərzində o, Türkiyənin TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitutu-də (UME) iki kanallı infraqırmızı spektrometr layihəsini də uğurla başa çatdırıb. 1996-cı ildə Türkiyənin TÜBİTAK UME-nin Optika laboratoriyasında məsləhətçi vəzifəsində çalışmışdır. 1997-2017-ci illər arasında Türkiyənin TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji (UEKAE)-də baş elmi işçi vəzifəsində çalışıb. Bu müddət ərzində o, müxtəlif ölçmə cihaz və sistemlərinin, məsələn, stolüstü və on-line rəng ölçmə cihazları, kağız, parça, şüşə və digər bu kimi materiallar üçün on-line qüsur aşkarlama sistemləri, ölçmə sistemləri üzrə tədqiqat və təkmilləşdirmə layihələri üzərində işləmişdir.

Dünyanın ən böyük şüşə istehsalçısı olan Türkiyə Şişecam fabriklərində memarlıq düz şüşələrin əksetmə, ötürülmə və rəng kordinatlarının təyini üçün inkişaf etdirdiyi dünyada bənzəri olmayan onlayn ölçmə sistemlərindən istifadə edir.

2005-ci ildən bəri indiyə qədər davam edən Türkiyənin Milli Marker Layihəsi çərçivəsində optik ölçmə üsulları ilə sahə və laboratoriya sınaq cihazlarının optik ehtiyatlarını inkişaf etdirərək sənədsiz yanacaq qaçaqmalçılığının (benzin, dizel, kerosin və törəmələri) qarşısını alındı və Türkiyə iqtisadiyyatına illik milyardlarla ABŞ dolları məbləğində vergi qaytarılması təmin edilmişdir.

Roketsan şirkəti üçün hazırlanan özəl süper əksetmə etdirən lazer aynaların optik parametrlərini təyin edən avtomatik ölçü sistemi 2010-ci ildən bəri indiyə qədər istifadəsı davam edir.

2019-ci ildən bəri İ. Məmmədbəyli AgTeks Ltd. Araşdırma və Gəliştirmə mərkəzində məsləhətçi olaraq çalışmağa başladı. Onun fotoelektronika sahəsindəki ideya və bscarıqlarına əsaslanaraq, bu mərkəzdə rəng və rəng fərqini ölçmək üçün bir sıra alətlər hazırlanmış, iplərin və parçaların fasiləsiz istehsalında həm laboratoriya ölçüləri, həm də onlayn ölçmələr üçün tekstil sənayesində geniş istifadə edilmişdir. Bu ölçmə sistemlərinin özəlliyi ondan ibarətdir ki, onlar həm rəng, həm də quruluş baxımından heterogenliyi olan səthlərin rəngini qiymətləndirə bilirlər. Həm də unikal həssaslıq və sürətə malikdir. Müasir optoelektronik kompanent əsasında hazırlanmış ölçmə sistemlərindən istifadə edərək toxunmuş tekstil, fiberglas, karboniplik, sintetik və kağız materialların istehsalı zamanı aşkar və gizli qüsurları, rəngləmə xətalarını səmərəli şəkildə müəyyən etmək mümkün olmuşdur.

Prof.Dr. İ.K. Məmmədbəyli iştiraki ilə işlənən layihələr aşağıdakılardır:

1. Layihə №: 3221049 "Otonom Olarak Kontrol Edilebilen Slasher Boyama Makinesi İçin Sistem Ve Yazılım Geliştirilmesi", TÜBİTAK TEYDEB dəstəkli, 2022-2024-cü il, davam edir;
2. Layihə №: 3201084 "Optik Tabanlı, Gerçek Zamanlı, Temassız Çalışan, Yeni Nesil, Renk, Renk Farkı, Yansıtma Ve Geçirgenlik Kontrol Sistemi Geliştirilmesi", TÜBİTAK TEYDEB dəstəkli, 2020-2022 il;
3. Layihə "Denim İplik Demetleri İçin İndigo Boya Sonrası Gerçek Zamanlı Renk Ton Kontrol Cihazı Geliştirilmesi", KOSGEB AR-GE və İNOVASİYA proqramı dəstəkli, 2019- 2021 il.

Prof.Dr. İ.K. Məmmədbəyli 2021 ildə tekrar TÜBİTAK BİLGEM araştırma mərkəzində məsləhətçi olaraq Bioelektronik Sistemləri bölməsində çalışmağa başlamışdır. Havada biohissəciklər və molekulların təyini və konsentrasiyasının ölçmələri üçün optik əsası mobil ölçmə sistemi hazırlanmışdır. Eyni zamanda Milli marker maye yanacaq nəzarət sistemin inkişaf etdirilməsi və yenilənməsi üzərində çalışmalarını davam edir.

Prof. Dr. İ.K. Məmmədbəylinin elmi tədqiqat fəaliyətlərinin nəticələri, 70-dən çox məqalə şəklində yerli və xarici SCI-yə daxil olan elmi jurnallarda derc olunmuş və bir sıra konsfranslarda məruzə ilə çıxış etmişdir.

izmir.mehmetbeyli@tubitak.gov.tr
kagan7315@gmail.com

PROF. DR. TOFİQ MƏMMƏDLİ
(MƏMMƏDOV TOFİQ SƏFƏRƏLİ OĞLU)

Tofiq Məmmədli 05.04.1947-ci ildə Azərbaycanın Astara rayonunda anadan olub. 1969-cu ildə Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin fizika fakültəsini bitirmişdir. 1973-1979-cü illərdə SSRİ Elmlər Akademiyasının Lebedev adına Fizika İnstitutunda staj keçmiş, aspiranturada oxumuşdur. 1979-cu ildə Lebedev adına Fizika İnstitutunda (Moskva) "Yarımkeçiricilər və elektron materialların texnologiyası" üzrə texnika elmləri namizədlik dissertasiyasını bitirmişdir. 1985-1993 illərdə AMEA-nın Fizika İnstitutunda Baş elmi işçi vəzifəsində işləmişdir.1993-cü ildə AMEA-nın Fizika İnstitutunda "Dar zolaqlı yarımkeçiricilərin qaz epitaksiyasının fotostimulyasiya prosesləri" mövzusunda "Yarımkeçiricilər və izolyatorlar fizikası" sahəsində fizika-riyaziyyat elmləri doktoru disertasiyasını müdafiyə etmişdir. 1993-cü ildən Fizika İnstitutunun aparıcı elmi işçisi vəzifəsində çalışıb. 2004-2010 cü illərdə Fizika İnstitutunun "Nanokristalların və Nanostrukturların Texnologiyası" laboratoriyasının müdiri olmuşdur.

2004-cü ildə Türkiyənin Ankaradakı Gazi Universitetinin Fen Ədəbiyyat fakültəsinin, Fizika bölümündə elmi tedqiqat laboratoriyasının gurulması məqsədi ilə dəvət edilmişdir. Türkiyədə ilk dəfə yaradılması nəzərdə tutulan, "Qabaqcıl Tədqiqat və Təhsil Proqramları" layihəsi çərçivəsində yaradılmış "Yarımkeçirici Texnologiyalar üzrə Qabaqcıl Tədqiqat Laboratoriyası'' STARLAB və orada qurulacaq müasir cihazlar Dövlət Planlama komitəsi (DTP) tərəfindən maliyələşdirilmişdi. STARLAB-a rəhbərliyi Prof.Dr. Süleyman Özçəlik həyata keçirirdi. Laboratoriya üçün alınacaq cihazların seçilməsi, alınması, qurulması və işlədilməsinin bütün mərhələlərində T. Məmmədli aktiv iştirak etmişdir. OKSFORD-dan alınan yüksək texnologiyaya malik 10 mənbəlı Molekulyar Şüa Epitaksiya (MBE) cihazının ilk dəfə Gazi Universitetində gurulması Türkiyənin elm, təhsil və müdafiə sənayesi üçün böyük bir hadisə idi. Türkiyənin ilk MBE (Molekulyar Şüa Epitaksiyası) sisteminin qurulduğu STARLAB-da yarımkeçirici materialların tədqiqi, inkişafı və istehsalı, nano strukturlu III-V qrup yarımkeçiricilər, bu kontekstdə GaAs, InAs, InP, GaP kimi bəzi yüksək keyfiyyətli binar birləşmələr, InGaAs kimi üçlü və InGaAlAs kimi bəzi dördlü qatı mehlullar; superlattis, kvant quyulu və kvant nöqtəli strukturları 1000 sinif təmiz otaqda yetişdirilirdi. İnfraqırmızı fotodetektor, LED və lazer diod kimi cihazların inkişafı və istehsalı yetişdirilən AlGaAs/GaAs, InGaAs/GaAs, InGaAs/InP və oxşar nanostrukturlu, laylı, çox kvant quyulu strukturlarından həyata keçirilirdi. Bütün bu tədqiqatlarda T. Məmmədli aktiv iştirak etmişdir.

T. Məmmədli Qazi Universitetinin Fizika fakültəsinin professoru vəzifəsində işlədiyi müddətdə Molekulyar Şüa Epitaksiya (MBE) cihazında III-V qrup birləşmələrin Foto detektör, Lazer, LED və Güneş elementləri üçün yararlı epitaksial heterostrukturların böyüdülməsi, xarakteristikası və tətbiqi sahəsində fəaliyyət göstərmişdir.

2011-ci ildə Türkiyə İnkişaf Nazirliyinin dəstəyi ilə həyata keçirilən "Fotonik Araşdırma Mərkəzi" layihəsi çərçivəsində STARLAB əsasında Qazi Universiteti Fotonik Araşdırma Mərkəzinin (GAZİ FOTONİK) yaradılmasında aktıv işləmişdir

2012-2014 illerdə ASELSAN nın sifarişi üzərindən İnfraqırmızı Gecə görüş cihazlarında istifadə edilən Optik Elementlərin hazırlanması üçün yararlı 100 mm diametrli, 40-60 cm uzunluğunda Germaniyum monokristalların yeni qurulmuş Çoxralski cihazında böyüdülməsi sahəsihdə işləmişdir.

Prof. Dr. T. S. Məmmədli, əsas tədqiqat işlərində MBE texnikası ilə SI-GaAs, GaP, AlGaAs və digər alttaşların səthində epitaksial metodla $GaAs_{1-x}P_x$ üçlü bərk məhlulun, GaP, AlGaAs LED ve Lazer diodları böyütmüş və onların xüsusiyyətlərini IV–CV, Fotolüminesans, Spektroskopik Ellipsiometriya, X-Ray Difraksiya, AFM, TEM, SEM və İkincil İyonların Kütle spektroskopiyası (SİMS) üsullarından istifadə edilməklə tədqiq etmişdir. Spektroskopik ellipsiometriya ölçmələrindən alınan dielektrik əmsalından istifadə edərək, otaq temperaturunda spektral paylaşma analizi ilə strukturun zolaqları arasında kritik keçid nöqtələrinin enerjiləri əldə edilmişdir. Otaq temperaturunda fotolüminessensiya pik qiymətlərinə görə, zolaq boşluğu enerjiləri və bərk məhlulun fosfor və aliminiyum miqdarına bağlı maillik dəyərləri də müəyyən edilmişdir. Bütün bu nəticələrin mövcud ədəbiyyatla kifayət qədər uyğun olduğu aşkar edilmişdir ki, bu da nəşr edilmiş məqalələrin orjinallığının əyani göstəricisidir.

2012 cü ildən T. Məmmədli özəl sektorun, xüsusilə də müdafiə sənayesinin ehtiyaclarını ödəmək üçün strateji əhəmiyyətli monokristalların istehsal texnologiyalarının inkişafı istiqamətində Ar-Ge və istehsal fəaliyyəti həyata keçirmək məqsədi ilə ''Mono Kristal'' LTD şirkəti qurdu. Şirkətdə tam mütəşəkil texnoloji laboratoriya fəaliyyət göstərirdi.

T. Məmmədli, 2013-cü ildən Rusya Novosibirsk Nüvə Tədgigatları İnstitutunun Elektron Şüa strelizasyonu sahəsində Türkiyə təmsilcisi kimi rəsmi fəaliyyət göstərmişdir. Bu məgsədlə ''SterilTR''LTD şirkəti yaradıldı. Hər iki şirkət bu gün də T. Məmmədlinin tələbələrinin rəhbərliyi ilə fəaliyyətlərini davam etdirirlər.

T. Məmmədlinin əsas maraq dairələri bunlardır:

- Elektron materialların Nanotexnologiyası, yarımkeçirici və digər birləşmələrin Molekulyar Şüa Epitaksiyası; Magnetron Spatterring cihazında metallar və onların oksidlərinin incə təbəqələrinin böyüdülməsi;
- Optik monokristalların böyütmə sistemlərinin layihələndirilməsi və istehsalı;
- Strateji əhəmiyyətli yarımkeçirici və elektron materialların monokristallarının istehsalı;
- Yüksək Güclü Hərbi Lazer Tətbiqləri üçün Elektro-Optik Tezlik Çevirici Barium Borat (BBO) monokristalın istehsalı;
- Yüksək dəqiqlikli transduserlərin yeni nəslinin istehsalı üçün pyezoelektrik monokristall keramika istehsalı;
- Grafen yetişdirmək üçün yatay CVD cihazların lahiyələşdiriməsi, kütləvi istehsalı və Grafenin əldə edilməsi üçün texnoloji şərtlərin işlənməsi;

T. Məmmədlinin lahiyə rəhbəri və tədqiqatçı kimi işlədiyi əsas Tədqiqat Layihələri:

1. BAP 05/2009-57; 05/2010 – 2; 05/2011-4; 05/2012- 88. -Qazi Universiteti
2. TÜBİTAK: 108T018 /: İnfraqırmızı AlGaAs Lazer Diod Materiallarının Epitaksial İstehsalı və Xarakteristikası – Bu lahiyə çərçivəsində Müdafiə sənayesi üçin Nd:YAG lazer çubukların pompalama kaynağı AlGaAs lazer diodlar MBE cihazında hazırlanmışdır; - Qazi Universiteti
3. TÜBİTAK 2010-2013: 110T333 /:''III-V Qrup İki keçidli və Kvant Quyulu Günəş elementlərinin Modelləşdirilməsi, Günəş Hücrələrinin Epitaksial böyüdülməsi və İnkişafı''- Qazi Universiteti ;
4. DPT-2011K120290 2011-2013:''Fotonika Tətbiqi və Araşdırma Mərkəzinin yaradılması'' - Qazi Universiteti .Bu lahiyə ilə STARLAB təməlində''GAZİ Fotonika'' yaradıldı.
5. ASELSAN- MGEO-IA-2012-036 2012-2013: ''İnfraqırmızı Optik Elementlər üçün 100 mm diametrli Germanium Tək Kristalların istehsal Tədqiqatları''. Bu lahiyə çərçivəsində istehsal edilən Germanium kristallərindan Aselsan gecə görüş cihazları üçün İnfraqırmızı Optik Elementlər, o cümlədən linzalar hazırlanırdı.
6. NATO, BP. EAP. CLG, 2009-2011 "Tandem Günəş Hüceyrələri üçün Seyrəltilmiş Nitritlar'' Qazi Universiteti
7. SANTEZ-00587.STZ.2010-1, 2010-2013 "Üç birgə günəş elementlərinin istehsalı texnologiyasının işlənməsi və modul istehsalı" Qazi Universiteti ;
8. 0958.TGSD. 2013 / Elm, Sənaye və Texnlogiya nazirliyi: ''Texnoloji və Strateji Əhəmiyyətli Yarımkeçirici Tək Kristalların İstehsalı'' Monocrystal LTD şirkəti. Bu layihə EST nazirliyinin " Uğurlu layihə Sertifikatı" ilə teltif edilmişdir. Yaradılmış tək kristal böyütmə sistemində İstehsal edilmiş xüsusi optik monokristallar TÜBİTAK MAM, Qazi Universiteti, Qəbzə Texniki Universiteti kimi yerli elmi tədqiqat mərkəzlərinə, həmçinin ABŞ-ın Berkeley Universiteti və Arizona Dövlət Universiteti ; -İrlandiyanın ''Lirrus'' və Rusiyanın ''ORION'' kimi xarici elmi merkəzlerə satılmışdır. ABŞ-ın Berkeley Universitetiden Optik kristalların yüksək keyfiyyətini təsdiqləyən Sertifikat alınmışdır.
9. KOBI ARGE Başlanğıc / Hacettepe/2014/001 / Kosgeb-Ostim şöbesi, „Texnoloji və strateji əhəmiyyətli yarımkeçirici tək kristalların istehsal prosesinin tədqiqi''
10. 7141148 / TÜBİTAK "Strateji və Texnoloji Əhəmiyyətli Yarımkeçirici Kristalların İstehsalı üçün Bridgeman Sisteminin lahiyələşdirilməsi və Kütləvi İstehsalı" Monocrystal LTD şirkəti. Bu Lahiyədə prototipini hazırladığımız Bridgeman sisteminin sənaye tasarımı və kütləvi istehsalı üçün tələb olunan sənədləşmələr tamamlanaraq hazır hala gətirildi. Bu çərçivədə 3 ədəd Bridgeman tək kristal böyütmə sistemi (biri yatay digər ikisi dikey) müvəffəgiyyətlə istehsal edilərək TÜBİTAK-a təhvil verildi.

T. Məmmədlinin iştirak etdiyi bəzi milli ilklər:

2008 –İlk tək kvant quyulu AlGaAs/GaAs lazer diodunun yaradılması ; - Starlab, GAZİ

2009 – İlk 100% lik yerli silikon günəş elementlərindən Günəş panellərinin yaradılması (Starlab, Qazi Univ.)

2011-Aselsan-ın sifarişi ilə İnfraqırmızı Optik Elementlər üçün 100 mm diametrli 40-60 cm uzunluğunda Germanium Tək Kristalların istehsalı ; - Gazi Fotonik

2012 – İlk yerli Bridgman monokristal istehsalı üçün cihazının yaradılması; - Mono Kristal LTD Şirkəti

2013 – Mono Kristal LTD şirkətidə yaradılmış tək kristal böyütmə sistemlərində İstehsal edilmiş xüsusi optik monokristalların ixracı – ABŞ, İrlandiya (Mono Kristal LTD şirkəti)

2013 – ZnO əsaslı ilk biosensorun yaradılması; -Qazi Fotonik

2016-2018 İlk Barium Borat (BBO) monokristalı böyütmə cihazının yaradılması; (Mono Kristal LTD Şirkəti)

2018-2019-cu illərdə ODTU Fizika fakültəsinin sifarişi əsasında Grafen istehsalı üçün 3 ədəd CVD cihazı hazırlanmışdır. Bu cihazlarda Prof. Dr. Ahməd Oral-ın doktora tələbələri tərkibində Grafen elektrodlar olan LED və OLED-lər əldə etmək üçün tədqiqatlar aparırlar.

2022-ci ildə Ərdahan Universiteti Mühəndislik Fakültəsinin Elektrik Elektronik bölümündə Grafen istehsalı üçün bir ədəd CVD cihazı hazırlanmışdır.

T. Məmmədli, Qazi Universiteti Fizika Bölümündə professor vəzifəsində işləyərkən Fizika bölümünün Lisans (bakalavr) tələbələrinə "Lazer Fizikası" kursunu, magistratura və doktorluq tələbələrinə "Yarımkeçirici materialların texnologiyası və tətbiqi 1 və 2", "Lazer Fizikası" kurslarını tədris etmişdir.

Ardahan Universitetinin Mühəndislik fakültəsinin Elektrik Elektronik bölümündə „Elektronika'' bakalavr kursunu tədris etmişdir.

Magistrlik və doktorluq dissertasiyalarına rəhbərlik edərək 10 Yüksək lisans və 3 doktorluq dissertasiyası müdafiə etdirmişdir.

T. Məmmədlinin 91 orjinal məqaləsi Science Citation Index (SCI) və digər resenziyalı elmi jurnallarda dərc olunub. Bundan əlavə, 5 Patent, milli, beynəlxalq simpozium, konqres və ya konfrans kitablarında çap olunmuş 86 tam mətn məqaləsi mövcuddur. T. Məmmədlinin 177 məqalədən 141 dənəsi Türkiyədə işlədiyi müddətdə çap olunmuşdur.

2019-2023-cü illərdə Ardahan Universitetinin Mühəndislik fakültəsinin Elektrik Elektronik bölümündə professor vəzifəsində işləmiş və 2023 cü ildə təqaüdə ayrılmışdır.

mtofik@gmail.com;

ELMLƏR DOKTORU HƏSƏN MƏCİD OĞLU MƏMMƏDOV (1943-2015)

Həsən Məmmədov 01.07.1943-cü ildə Tovuz rayounun Qaraxanlı kəndində anadan olmuşdur.

1960-cı ildə Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Institutunun Fizika fakültəsini bitirmişdir. 1970-1973-cü illərdə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda aspiranturada təhsil almışdır. "$GaSe_xTe_{1-x}$ kristallarının güclü elektrik sahəsində optik, elektrik xassələrinin tədqiqi" mövzusunda namizədlik dissertasiyasını1975-ci ildə müdafiə etmişdir. 1973-1980-ci illərdə AMEA-nın Fizika İnstitutunda kiçik və baş elmi işçi olaraq elmi araşdırmalarını davam etdirmişdir.

1981-ci ildə Gəncə şəhərində yeni qurulan Azərbaycan Texnologiya İnstitutunun Elmi tədqiqat Şöbəsinin müdürü seçilmişdir. Yeni qurulan İnstitutun elmi pedaqoji həyatındakı fəaliyyəti İnstitut və Təhsil Nazirliyi tərəfindən yüksək dəyərləndirilmişdir. Apardığı elmi araşdırmaların nəticələrini 1988-ci ildə "Təbəqəli $GaSe_xTe_{1-x}$ kristallarının optik, fotoelektrik xassələrinin xüsusiyyətləri, elektro-optik ikili stabil vəziyyəti" mövzusunda doktorluq dissertasiyasını müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri doktoru elmi dərəcəsi almışdır.

Həsən Məmmədovun elmi araşdırmaları nəticəsində 3 müəlliflik şəhadətnaməsi, 100-ə yaxın məqaləsi Azərbaycan Elmlər Akademiyası məruzələri və xəbərləri, ФТП, Solid State Communication, Thin Solid Films, Phys Status Solidi, J.Non-Cryst.Solids, J.Appl.Phys., Appl. Phys.B Laser and Optics, Optical Materials, J. Limunescence, J. Allowsand Compounds, Mater.Sci. And Eng.B kimi beynəlxalq elmi jurnallarda çap olunmuşdur. Bununla yanaşı araşdırmaları bir çox beynəlxalq elmi konfranslarda məruzə olunmuşdur.

Professor Həsən Məmmədov 1997-ci ildən 2015-ci ilin yanvar ayına qədər qardaş Türkiyə Cümhuriyyətinin Dumlupınar (Kütahya) və Kafkas (Kars) Universitetlərində pedaqoji və elmi fəaliyyətini davam etdirmişdir.

T.C. Kars Kafkaz Universiteti Fənn-ədəbiyyat fakültəsi Fizika kafedrasının müdürü Professor Mövlud Karabuludun xatirələrindən: "10 ilə yaxın bir müddətdir birlikdə calışmışıq. Onun böyük əməyi ilə kafedramızda "Monokristal və nanokristal araşdırma laboratoriyası" qurulmuşdur. Kafedramızın, tələbələrinin və aspirantlarının adından ona sonsuz minnətdarlığımızı bildirirəm. Onun rəhbərliyi ilə Bor yataqlarından zəngin olan ölkəmizdə bor birləşmələrinin, bor qarışıqlı yarımkecirici kristallarını və incə təbəqələrini düzəldib araşdırılmalara başlamışıq. Aldığımız çox qiymətli nəticələr başqa yarımkeciricilər ücün nümunə olaraq istifadə oluna bilər. Eyni zamanda kafedramızda radioaktiv tullantıların qablaşdırılması üçün geniş tətbiq sahəsinə sahib dəmir fosfat şüşələrdəki bor atomlarının rolu da araşdırılmaqdadır. Kafedramızda Prof. Həsən Məmmədovun çox sayda aspirant və dissertantın elmi rəhbərliyini apararaq bu sahədə elmi işçilərin yetişməsində böyük əməyi olmuşdur. Universitetimizin elmi şurasının 18.01.2015 tarixli qərarı ilə göstərdiyi elmi xidmətlərinə görə rəhbərliyində qurulan laboratoriyaya Prof. Dr. Həsən Məmmədovun adı verilmişdir."

25.02.2015 tarixində Həsən müəllim Allahın rəhmətinə qovuşmuşdur. Bizlərdən ayrılıb haqq dünyasına köçsə də, yeri hər zaman qəlbimizdə, irəliyə, inkişafa çağıran səsi hər zaman qulaqlarımızdadır.

PROFESSOR, DOKTOR ŞAVAL VEYSƏL OĞLU MƏMMƏDOV

Şaval Veysəl oğlu Məmmədov 08.02.1940-cı ildə Quba rayonu Zeyid kəndində anadan olmuşdur. Burada orta məktəbi bitirdikdən sonra Bakı Dövlət Univeristetinin fizika fakültəsinə daxil olmuş, 2-ci kursu bitirdikdən sonra M.V.Lomonosov adına MDU-da təhsilini davam etdirmişdir. Aspiranturanı bitirərək, 1963-cü ildə Fryazino şəhərində qapalı İnstitutda işləmiş, sonra isə Azərbaycan MEA Fizika İnstitutunda işə qəbul olunmuşdur.

1970-ci ildə Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi alimlik dərəcəsi almaq üçün dissertasiya müdafiə etmişdir və bu işləri davam etdirməklə yanaşı Biofizika istiqamətini yaratmaqda iştirak etmiş və biopolimerlərin fiziki metodlarla tədqiqatının əsasını qoymuşdur. Gözün komponentlərində rodopsin və melanin piqmentlərində EPR tədqiqatları aparmış və görmə hissində antioksidantların rolunun molekulyar mexanizmalarını araşdırmış və ilk dəfə selenin biopolimerlərdə və sonradan sintetik polimerlərdə antioksidantların rolunu göstərmişdir. Bu tədqiqatlarla polimer spektroskopiyasının Azərbaycanda əsasını qoymuşdur və bir çox müvəffəqiyyətli işlərin inkişafına səbəb olmuşdur. 1970-ci ildən baş elmi işçi, 1974-cü ildən isə 1996-cı ilə qədər laboratoriya rəhbəri vəzifəsində çalışmışdır. 1986-cı ildə fizika-riyaziyyat elmləri doktoru alimlik dərəcəsi almaq üçün «Polimer yarımkeciricilər və dielektriklərdə sərbəst radikalların və digər paramaqnit zərrəciklərin quruluş dəyişmələrində rolu» adlı dissertasiyanı müdafiə etmişdir. 1986-cı ildən professor adını almışdır. 15 elmlər namizədi, 4 elmlər doktoruna şəxsən rəhbərlik etmiş, 10-a qədər elmlər namizədinin bilavasitə məsləhətçisi olmuşdur. 1996-cı ildən Türkiyənin İstanbuldakı Yıldız Texnik Universitetinin Fən-Ədəbiyyat Fakültəsinin Fizik bölümündə professor olaraq çalışmışdır.

Şaval müəllimdən tələb olunan gənc mütəxəssislərin hazırlanması və elmi araşdırmalar aparılmasından ibarət idi. Bu işləri görmək üçün heç bir şərait olmadığından hər şey sıfırdan başlamalıydı. Boş bir otaq göstərdilər ki, burası sisin laboratoriyanız olacaq. Xoşbəxtlikdən İstanbulun hər tərəfində həm maddi cəhətdən, həm də avadanlıq, cihaz baxımından polimer məhsulları istehsal edən çox zəngin zavodlar var. Tez bir zamanda bu zavodlarla əlaqə yarandı. İstehsal prosesində qarşıya çıxan suallara elmi cavablar vermək texniki mühəndislər üçün asan deyildi. Bəzi cihazları zavodlardan aldı, bəzisini Azərbaycandan gətirdi. Tədqiqat nümunələrini zavoddan alırdılar, mövzu isə polimer məhsulların istifadəsi zamanı qarşıya çıxan problemlər idi. Demək olar ki, bir istehsal və elmi iş birliyi qurmuşdur. Burada da Polimer Fizikası qrupu yaratmış, sintetik və biopolimerlərin mexanikası və spektroskopiyası üzrə dərslər vermiş və kadrlar (3 magistr və 2 doktor) yetişdirmişdir. Türkiyədə, Azərbaycan Fizika İnstitutunun adı keçmək şərti ilə Ümumdünya konfrans və konqreslərində dünyanın 14 ölkəsində Elmi məruzələrlə çıxış etmiş Universitet və NATO layihələrinin yerinə yetirilməsində rəhbər və iştirakçı olmuşdur. Müxtəlif ölkələrdə (Amerika, Kanada, İngiltərə, Almaniya, Polşa, Rumıniya, Rusiya, Türkiyə və s.) məqalələr dərc etdirmişdir ki, bunlardan 10- u Dünya Standartlarında istinad edilən məşhur jurnallarda çap edilmiş və «Sitation Sciense Index - Seideyşin Index» siyahılarında qeyd edilmişdir.

Türkiyədə icra edilən bütün elmi işləri tətbiqi işlər olmuş və qeyd etmək lazımdır ki, son illər Türkiyənin Polimer sənayesinin başında gedən məşhur sintetik boru istehsalı firması «Dizayn Texnik Polimer A.Ş.», Ambolaj-ortük sənayesi «Vatan Plastik» və iplik sənayesi (yun və ipək istehsalı) firmaları, Rusiyanın S.- Peterburq şəhərindəki «Texnologiya və Dizayn» universitetinin müxtəlif şəhərlərdəki sənaye firmaları ilə müqavilələr əsasında icra edilmiş, işbirliyi ilə olan məqalələr isə birgə müəllifliklə çap edilmişdir.

1997-2002-ci illərdə Yıldız Texnik Universiteti Bilim Teşvik Ödüllerine layiq görülmüşdür.

Təəssüflər olsun ki, hər şeyin yolunda getdiyi bir vaxtda amansız ölüm Şaval Məmmədovu aramızdan aldı. Universitetin rəhbərliyi vəda mərasimi düzənləyərək hörmətli Şaval müəllimi vətəninə uğurladılar. Universitetin rəhbərliyi Şaval müəllimin xatirəsini əbədiləşdirmək üçün yaratdığı laboratoriyaya onun adını verdi. Hal-hazırda həmin laboratoriyanın qapısına "Professor, Doktor Şaval Məmmədov adına "Polimer Fiziği" laboratoriyası lövhəsi vurulmuş və Şaval müəllimin adını daşıyır.

PROF. DR. FAİK MİKAİLZADE (FAİQ ƏLƏKBƏR OĞLU MİKAYILOV)

Faiq Ələkbər oğlu Mikayılov 2 oktyabr 1966-cı ildə Bakıda anadan olmuşdur. Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsindəki təhsilini fərqlənmə diplomu ilə başa vuraraq Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda 1988-ci ildən başlayaraq laborant, elmi işçi və baş elmi işçi vəzifələrində işləmiş, 1995-ci ildə "Yarımkeçiricilər və Dielektrikər" ixtisasından "$TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ laylı yarımkeçiricilərdə dielektrik xassələri və metastabil hallar" mözusunda namizədlik dissertasiyasını müdafiə edərək fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsini aldıqdan sonra 1996-cı ilin aprel ayında Türkiyə Elmi Texniki Tədqiqat Mərkəzinə (TÜBİTAK) ezam olunmuş, bu müəssisədə müxtəlif elmi layihələr üzrə 2 il yarım elmi tədqiqat işləri yerinə yetirmişdir. Bu müddətdə F.Ə. Mikayılovun daxil olduğu elmi tədqiqat layihə qrupu tərəfindən aparılan tədqiqatlar elektrolüminesensiya xassələrinə malik olan qeyri-orqanik

yarımkeçiricilərə həsr edilmişdir və bu tədqiqatlar nəticəsində işıq yayan lüminesent cihazlar hazırlanmışdır. Bununla eyni zamanda, GaSe monokristalının optoelektronik xassələri tədqiq edilərək onun əsasında elektrooptik modulyator hazırlanmışdır.

Daha sonra F.Ə. Mikayılov 1998-cu ilin sentyabr ayında Bursa şəhərindəki Uludağ Universitetinin Fizika Bölümünə dəvət edilərək 1999-cu ilin sonuna qədər burada Yardımçı Dosent vəzifəsində işləmişdir. Bu müddətdə F.Ə. Mikayılov tərəfindən Elektronika Bölümü tələbələrinə Yarımkeçiricilər fizikası ve Ümumi fizika fənnlərindən dərslər verilmişdir.

2000-ci ilin yanvar ayında Azərbaycan MEA Fizik İnstitutunda baş elmi işçi elmi adını alan Faiq Mikayılov, həmin ilin may ay;ndan başlayaraq Gebze şəhərindəki Gebze Yüksək Texnologiya İnstitutunun Fizika Bölümündə Yardımcı Dosent olaraq işləməyə başlamışdır. 2000-2004-cü illər arasında işlədiyi müddətdə F.Ə. Mikayılov $TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ kristallarında faza keçidlərinin tədqiq edilməsi ilə bağlı tədqiqatlarına davam etmiş, eyni zamanda həmin institutda beynəlxalq elmi konfransların və beynəlxalq elmi layihələrin təşkil edilməsinə başlanıldığı 2001 və 2003-cü illərdə "Nanoölçülü maqnetik materiallar və tətbiqləri" mözusunda TÜBİTAK və NATO dəstəkli elmi konfransların təşkilində və 2003-cü ildə Avropa Birliyi layihəsinin hazırlanmasında iştirak etmişdir. Eyni zamanda bu müddətdə F.Ə. Mikayılov tərəfindən institutda magistr və fəlsəfə doktoru proqramları üzrə tehsil alan tələbələrə Statistik mexanika və Bərk cisim fizikası dərsləri verilmişdir.

2004-ci ilin əvvəlindən Gebze Yüksək Texnologiya İnstitutunun Fizika Bölümündə Dosent vəzifəsində işləməyə davam edən F.Ə. Mikayılov, magistr və fəlsəfə doktoru proqramları üzrə təhsil alan tələbələrə dərs verməklə eyni zamanda, İnstitutda bakalavr təhsilinin başlanmasından sonra bu çərçivədə təhsil alan tələbələrə Fizikada riyazi metodlar və Kvant mexanikası dərsləri vermiş, eyni zamanda müxtəlif ferroelektrik və ferromaqnetik kristallarda (üçlü xalkogenid laylı kristallar, perovskitlər, manqanitlər) elektromaqnit rezonans, maqnetik, termomaqnetik və maqnetoelektronik xassələrin tədqiq olunması ilə bağlı elmi işlərinə davam etmişdir. Multiferroik və Maqnetoelektrik materiallar sahəsində Türkiyədə ilk dəfə tədqiqat işlərinə başlayaraq bu sahədə 2007-2022-ci illərdə bir neçə milli və beynəlxalq elmi layihələrin rəhbəri və iştirakçısı olmuşdur. 2005, 2006, 2007 və 2010-cu illərdə F.Ə. Mikayılov işlədiyi İnstitutun Fizika və Riyaziyyat Bölümlərində beynəlxalq elmi konfransların təşkilatçısı olmağa davam etmişdir.

2009-cu ilin əvvəlindən F.Ə. Mikayılov Gebze Yüksək Texnologiya İnstitutunun Fizika Bölümündə Professor vəzifəsində işləməyə başlamışdır. 2014-cü ildən çalışdığı ali təhsil müəssisəsinin adı Gebze Texnik Universiteti olaraq dəyişdirilmişdir. Bu illərdə F.Ə. Mikayılov tərəfindən həm bakalavr, həm magistr və həm də fəlsəfə doktoru üzrə təhsil alan tələbələrə əvvəlki yuxarıda göstərilən fənnlərə əlavə olaraq Ümumi fizika, Kvant informatikası, Klassik elektrodinamika, Riyazi fizika fənnlərindən də dərs verməyə davam etmişdir.

Prof.Dr.Faiq Mikayılovun son illərdəki elmi fəaliyyəti ferroelektrik, ferromaqnetik və multiferroik kristallar, maqnetoelektrik kompozit materiallar, nanomaqnetizm və maqnetik yarımkeçiricilərin müxtəlif fiziki xassələrinin tədqiq olunması ilə bağlıdır. O, dünyanın və ölkəmizin bir çox elmi jurnallarında çap olunmuş 100-dən artıq elmi məqalənin (o cümlədən SCI indeksinə daxil olan 75 məqalənin), Avropadakı Springer, Kluwer, World Scientific ve Wiley nəşriyyatlarında nəşr edilmiş 6 elmi kitabın və 2 kitab bölümünün, Türkiyədə nəşr edilmiş 2 tədris kitabının müəllifidir. Xarici ölkələrdə bir sıra beynəlxalq elmi konfranslarda dəvətli alim olaraq iştirak etmiş, eyni zamanda da Türkiyədə də 6 beynəlxalq elmi konfransın təşkilatçısı olmuşdur. Elmi rəhbərliyi altında Türkiyədə 8 fəlsəfə doktoru və 12 magistr disertasiyası müdafiə edilmişdir. Azərbaycan, Türkiyə və Rusiya arasında birgə elmi layihələrin həyata keçirilməsinin fəal iştirakçısı olmuşdur.

AKADEMİK NƏHMƏDOV ƏNVƏR PİRVERDİ OĞLU
(24.08.1959 – 05.09.2021)

Ənvər Pirverdi oğlu Nəhmədov 24 avqust 1959-cu ildə Bakı şəhərində anadan olub. O, 1981-ci ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsini qırmızı diplomla bitirib. Elə həmin il sentyabrın 1-də təyinatla AMEA-nın Fizika İnstitutunda akademik Firudin Həşimzadənin rəhbərlik etdiyi laboratoriyada əmək fəaliyyətinə başlayıb. 1982-84-cü illərdə SSRİ Elmlər Akademiyasının Leninqrad şəhərində yerləşən A.F.İoffe adına Fizika-Texnika İnstitutunda təcübə keçib.

O, 1988-ci ildə "Güclü anizotropik açıq Fermi səthi olan sistemlərdə zəif lokalizasiya effektləri" mövzusunda fizika üzrə namizədlik, 2012-ci ildə "Aşağı ölçülü sistemlərdə korrelyasiya ve aşqar effektləri" mövzusunda doktorluq dissertasiyalarını müdafiə edib. 2014-cü ildə AMEA-nın müxbir üzvü, 2017-ci ildə isə həqiqi üzvü seçilib.

Nanostrukturlar fizikası, ifrat keçiricilik nəzəriyyəsi, nizamsız yarımkeçiricilərdə Anderson lokalizasiyası, ab-initio DFT hesablamaları, spintronika və topoloji dielektriklər kimi elmi araşdırmalar Ə.Nəhmədovun tədqiqatlarının əsas istiqamətləri sayılır. Belə ki, Ənvər Nəhmədov A.F.İoffe adına Fizika-Texnika İnstitutundakı və Almaniyanın Würzburg Universitetindəki əməkdaşlarla bərabər bir-ölçülü sistemlərdə nizamsızlıq effektlərini öyrənmək üçün dəqiq həllər verən diaqrammatik metodlar təklif etmişdir. Növbəti addım kimi isə, bu metodlar vasitəsi ilə bir-ölçülü

sistemlərdə zamandan asılı relaksasiya prosesləri, nizamsız bir kanallı üzüklərdə Aharonov-Bohm effekti, mezoskopik fluktuasiyalar öyrənilmişdir.

O, kvazi- bir-ölçülü nizamsız strukturlarda keçiriciliyin aşağı temperaturlarda dinamikasını, lokallaşmış səviyyələr arasında sıçrayışlı koherent Mott keçidin xarici tezlik və temperatura görə dəyişməsinin nəzəriyyəsini vermişdir. Bu nəzəriyyə hal-hazırda polimer fizikasında geniş tətbiq olunmaqdadır. Onun dəqiq diaqrammatik metodlarla öyrəndiyi, tələ rolunu oynayan nizamsız olaraq yerləşmiş aşqarların bir-ölçülü strukturlarda səbəb olduğu anomal relaksaiya effektləri də bir çox kvazi- bir-ölçülü polimer və üzvi duzlarda təcrübi olaraq müşahidə edilmişdir. Diametri 1 mikron tərtibində nizamsız bir kanallı Aharonov-Bohm nano-üzüklərində aparılan təcrübələr strukturun kinetik və fiziki xarakteristikalarında iki tip ossilyasiyaların, tam və yarım maqnit axımı kvantı ilə, olduğunu aşkarlamışdır. Ənvər Nəhmədovun nəzəri tədqiqatları bu ossilyasiyaların mənbəyini öyrənmişdir.

Son illərdə kondensə olunmuş mühitlərin yeni fazası olan topoloji dielektrik və ifratkeçiricilərin kəşf edildikdən və aşağı ölçülü strukturlarda Raşba və Dresselhauz koherent spin-orbit təsirlərinin bu fazaların meydana çıxmasına səbəb olduğu göstərildikdən sonra, Ənvər Nəhmədov da rəhbərlik etdiyi elmi-tədqiqat qrupu ilə birlikdə MOSFET strukturlarındakı kvazi-iki ölçülü elektron qazında spin-orbital təsir ilə spin-Gann effektinin, eninə stationar spin cərəyanının mümkünlüyü göstərilmişdir. Digər tərəfdən, Ənvər Nəhmədovun rəhbərliyi ilə Josephson bağlı topoloji ifratkeçirici naqillər Majorana fermionlarının özünü büruzə verməsi nöqteyi-nəzərindən öyrənilmiş və naqillərin uclarında meydana çıxan Majorana fermionlarının tunelləşməsi nəticəsində kəsirli Josephson effektinin mümkünlüyü göstərilmişdir.

Alimin nanostrukturlar fizikasında mezoskopik fluktuasiyalar və mis-oksid tərkibli keramikalarda yüksək temperaturlu ifrat keçiricilik effektlərinə dair tədqiqatları müəllifi olduğu "Aşağı ölçülü sistemlərdə aşqar və korrelyasiya effektləri" kitabında, eyni zamanda, Amerika və Avropanın nüfuzlu jurnallarında 100-ə yaxın elmi məqalə şəklində dərc olunub.

Ənvər Nəhmədov çoxlu sayda beynəlxalq konfrans, simpozium və konqreslərdə məruzələrlə çıxış edərək Azərbaycan elmini müvəffəqiyyətlə təmsil etmişdir.

Akademik Ə.Nəhmədov elmi yaradıcılığı ilə yanaşı, pedaqoji fəaliyyətlə də məşğul olub. O, Türkiyə və Almaniyanın universitetlərində tələbələrə mühazirə və aspirantlara ixtisas dərsləri verib. Alimin pedaqoji fəaliyyətində elmi kadrların hazırlığı böyük yer tutur. Onun elmi rəhbərliyi ilə fizika elmləri üzrə fəlsəfə və elmlər doktorları hazırlanıb.

1991-ci ildə Türkiyənin Marmara Universitetində, 1992-ci ilin sonundan isə İstanbul Texnik Universitetində dəvətli professor kimi çalışan alim ingilis və türk dillərində bakalavr, magistr və doktorantlara dərs deyib. O, 1999-cu ildə Almanyanın Würzburg Universitetinə, 2001-ci ildə isə Max-Planck İnstitutuna dəvət olunub və Drezden şəhərində yerləşən Kompleks Sistemlərin Fizikası İnstitutunda professor P.Fuldenin qrupunda işləyib.

2002-ci ildə isə Almaniyanın Chemnitz Texnik Universitetində işə başlayan Ə.Nəhmədov eyni zamanda, Drezden şəhərində MOSFET diodlarının dəlinmə mexanizmini öyrənmək üçün icra qrupu yaradıb.

2015-ci ildə Azərbaycana dönən alim AMEA Fizika İnstitutunda Kondensə olunmuş hallar və kvant fazaları laboratoriyasına rəhbərlik edib. Eyni zamanda o, 2016-cı ildən M.V.Lomonosov adına Moskva Dövlət Universitetinin Bakı filialının Fizika fakültəsinin dekanı və daha sonra, 2019-cu ildən Bakı Mühəndislik Universitetinin fizika kafedrasının professoru vəzifəsində çalışıb.

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademiki, AMEA Fizika İnstitutunun laboratoriya rəhbəri və Bakı Mühəndislik Universitetinin professoru Ənvər Pirverdi oğlu Nəhmədov 05 sentyabr 2021-ci ildə vaxtsız olaraq Bakı

PROF. DR. BƏXTİYAR SALAMOV QÜLBALA OĞLU

Bəxtiyar Salamov Qülbala oğlu 19 noyabr 1958-ci ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur. 1966-ci ildə Bakı şəhəri 212 saylı orta məktəbində təhsilinə başlamış və tam orta təhsilini 1976-ci ildə bitirmişdir. 1977-1978-ci ilərdə Sovet Ordusu sıralarına xidmət etmişdir.

Ali təhsilini 1984-ci ildə BDU-nun Fizika fakültəsində yarımkeçiricilər və dielektriklər ixtisası üzrə tamamlamışdır.

1985-1990-cı illərdə A.F.İoffe adına Fizika Texnika İnstitutunda (Sankt-Peterburq) V.M. Tuçkeviçin Yarımkeçiricilər laboratoriyasında "Yarımkeçirici-qazboşalması sistemindəki fiziki proseslərin xüsüsiyyətləri" mövzusunda dissertasiya işini bitirmiş, 1990-ci ildə müdafiə edərək fizika- riyaziyyat elmləri namizədi elmi dərəcəsi almışdır. 2003-cü ildə isə "Işığa həssas yarımkeçirici-qazboşalması sistemindəki fiziki proseslərin xüsüsiyyətləri" mövzusunda doktorluq dissertasiyasını müdafiə edərək yarımkeçiricilər və dielektriklər fizikası ixtisası üzrə elmlər doktoru alimlik elmi dərəcəsini almışdır.

1992-ci ilə qədər Bakı Dövlət Universitetinin Yarımkeçiricilər Fizikası Elmi Tədqiqat Mərkəzində, 2005-2018 illərdə isə AMEA-nın Fizika İnstitutunda "Nanokristalların və Nanostrukturların Texnologiyası" və "Optoelektronika" laboratoriyalarında aparıcı elmi işçi vəzifəsində işləmişdir.

1992-ci ildə Türkiyənin Ankaradakı Orta Doğu Teknik Universiteti və 1995-ci ildə Gazi Universitetinin Fən Ədəbiyyat fakültəsinin Fizika bölümündə elmi tedqiqat laboratoriyasının qurulması məqsədi ilə dəvət edilmişdir.

B.Q. Salamovun elmi fəaliyyətinin birinci mərhələsi 1984-ci ildə BDU-nun Fizika fakültəsini yarımkeçiricilər və dielektriklər ixtisası üzrə bitirdiyi ildən BDU-nun Fizika fakültəsində və keçmiş SSRİ məkanında yerləşmiş, A.F. İoffe adına Fizika Texnika İnstitutunda (Sankt-Peterburq) V.M. Tuçkeviçin Yarımkeçiricilər laboratoriyasında və AMEA Fizika İnstitutunda işlədiyi dövrləri əhatə edir. Bu mərhələdə B.Q. Salamov tərəfindən yerinə yetirilən tədqiqatların pioner xarakteri onunla ifadə olunur ki, o, ilk dəfə, təcrübi olaraq nazik bismut təbəqələrində təsvirin formalaşma mexanizmi və plazma aşındırılması müəyyən eksperiment şəraitlərində GaAs lövhəsinin səthi strukturu və qazboşalma işıqlanmasının fəza paylanmasını yaxşılaşdırdığını aşkar etmişdir. Onun tərəfindən İQ-təsvir çevirici, plazma ve qazboşalmada alınan parlaq nəticələr isə yüksək dünya reytinqli jurnallara dərc olunmuşdur. B.Q. Salamovun adı çəkilən işləri 1990-ci ildə onun namizədlik dissertasiyası müdafiəsindən sonra məşhurluq qazanməşdır.

Bəxtiyar Salamovun elmi fəaliyyətinin ikinci mərhələsi BDU, AMEA Fizika İnstitutu və Türkiyə ilə bağlıdır. Onun bu dövrdə xaricdə xüsusən, Türkiyədəki elmi fəaliyyəti diqqəti xüsusi cəlb edir. Belə ki, o 1992-ci ildə Ankara şəhərindəki Orta Doğu Teknik Universitetinə və 1995-ci ildə isə Gazi Universitetinə professor kimi dəvət almış və 30 ildən çox işləmişdir. B.Q. Salamovun elmi fəaliyyətinin ikinci mərhələsi yarımkeçiricilər ve plazma fizikası, infraqırmızı fotodetektorlar və ceviricilər, səthlərin fizika və kimyası problemləri mövzusunda olduqca parlaq elmi nailiyyətlərlə zəngindir. Bu sahədə 20-dan çox elmlər namizədi, dosent və professor yetişdirmişdir.

Bəxtiyar Q. Salamov Qazi Universitetinin Fizika fakültəsinin professoru vəzifəsində işlədiyi müddətdə İQ-təsvir çevirici cihazında III-V qrup birləşmələrin fotodetektörlərin plazma və qazboşalmada xarakteristikası və tətbiqi sahəsində fəaliyyət göstərmişdir.

Prof. Dr. B.Q. Salamov, əsas tədqiqat işlərində sabit elektrik sahəsində təbii seolitin nanoməsamələrində qaz boşalmasının alışması təcrübi olaraq birbaşa sübut olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, təbii və gümüş nanohissəciklərilə modifikasiya edilmiş seolitin qazboşalma arakəsmədə katod kimi istifadə edilməsi alışma gərginliyini yüzlərlə volt azaldır. Yuxarıda qeyd olunanlar ucuz təbii seolitin qazboşalması qurğularında və müstəvi katod lüminisensiyalı işıq mənbələrində praktik istifadəsinə geniş imkanlar açır.

O, 2001-2010 illerdə STARLAB əsasında Qazi Universiteti Fotonik Araşdırma Mərkəzinin (GAZİ FOTONIK) yaradılmasında aktıv fəaliyyət göstərmişdir.

Prof. Dr. Bəxtiyar Q. Salamov Türkiyyə işlədiyi dövrdə aşağıdakı elmi qədqiqat layihələrinin icraçısı və rəhbəri olmuşdur:

1. FEF AFP və BAP layihəsi 05/1996-4, 05/1999-9, 05/2000-20, 05/2001-19, 05/2002-20, 05/2003-66, 05/2005-02, 05/2006-35, 05/2008-20, 05/2009-44,05/2010-31, 05/2011-23, 05/2012-26, 05/2013-11, 05/2015-12 - Qazi Universiteti.
2. TÜBİTAK layihəsi №: TBAG–1309, 1995-1996, Visualization of electrical inhomogeneities in high-ohmic semiconductor plates and polymer films
3. TÜBİTAK layihəsi №: TBAG–(105T512), 2006, Optik emissiya spektroskopiyasına əsaslanan plazma prosesini göstərən kompakt portativ sistem; DPT K120590, 2001 2001-2006 Qabaqcıl tədqiqat və təhsil proqramları.
4. TÜBİTAK layihəsi №: 113F110, 2013-2016, Design and Improvement of New Compact Portable Multipurpose Atmospheric Pressure Plasma Electronic Device Based on High Performance Nanoporous Zeolite Photocathodes,
5. TÜBİTAK layihəsi №: 115M658, 2015-2018, For The Determination of Asthma Disease Low Cost Electronic Nose Sensor Development and Production

B.Q. Salamov, Qazi Universiteti Fizika bölümündə professor vəzifəsində işləyərkən Fizika bölümünün bakalavr tələbələrinə "Fizika" kursunu, magistratura və doktorluq tələbələrinə "Yarımkeçirici materialların optik xarakteristikaları", "Optoelektronika" kurslarını tədris etmişdir.

Prof.Dr. B.Q. Salamovun 231 elmi əsəri Salamov dünyanın fərqli ölkələrində elm adamları tərəfindən ən çox oxunan və qəbul edilən elmi jurnallarında, o cümlədən, ABŞ, Avropa, Yaponiya və Rusiyanın yüksək impakt faktorlu jurnallarında dərç olunmuş- 150 elmi məqaləsi dərc olunmuşdur. Beynəlxalq Elmi Konfranslarda və Simpoziymlarda dərc olunmuş işlərin məzmunu üzrə məruzələrin 111 tezisi, onlardan 14-ü dəvətli, 34-ü şifahi və 63 -ü poster statusuna malikdir.

Beynəlxalq bazalarda indeksləşən jurnallarda (Web of Science, Scopus və s.) dərc olunan əsərlərinin sayı - 135 (Web-of-Science), 145 (Google Scholar) olmuşdur.

Prof.Dr. B.Q. Salamovun "Charge transport mechanisms in the silver-modified-zeolite porous microstructure" in the book: Material Science: Current and future development, edited by H.Y. Kurt, Bentham Science Publisher USA©2017 York, NY, USA©2017 monoqrafiyası nəşr olunmuşdur.

Onun elmi rəhbərliyi altında Türkiyədə 9 fəlsəfə doktoru və 15 magistr disertasiyası müdafiə edilmişdir.

PROF. DR. FERİD SALEHLİ
(SALAYEV FƏRİD MƏMMƏD EMİN OĞLU)

Fərid Salayev 08.04.1956-cı ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur. 1978-ci ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin fizika fakultəsini bitirmiş və eyni ildə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Radiasiya Tədqiqatları Sektorunda işləməyə başlamışdır. 1979-1984-cü illərdə SSRİ Elmlər Akademiyası A.F.İoffe adına Fizika-Texnika İnstitutunda (Sankt-Petersburq) ‘‘Ferroelektriklər və Maqnetizm’’ laboratoriyasında staj keçmiş, aspiranturada oxumuşdur. 1985-ci ildə Fizika-Texnika İnstitutunda SSRİ Elmlər Akademiyasının müxbir üzvü, professor G.A.Smolenskinin rəhbərliyi altında “Bərk cisim fizikası” ixtisası üzrə fizika-riyaziyyat elmləri namizədlik disssertasiyasını müdafiə etmiştir. Dissertasiya mövzusu “Piroxlor quruluşlu ferroelektriklərdə ardıcıl faza kecidləri”-nin tədqiqatına həsr edilmişdi.

1984-1988-ci illərdə AMEA Radiasiya Tədqiqatlar Sektorunda elmi işçi və 1988-ci ildən 1992-ci kimi AMEA Fizika İnstitutunun “Lazer kristalları” laboratoriyasında baş elmi işçi vəzifəsində çalışıb.

1992-ci ildə Bayreuth Universitetində tədqiqat aparmaq üçün ezamiyətdə olmuştur. Elə həmin 1992-ci ildə İstanbul Texniki Universitetinə (İTÜ) Fen-Edebiyat fakultəsinin Fizika Mühəndisliyi bölümündə dərs demək və elmi tədqiqat laboratoriyasının qurulması məqsədi ilə dəvət edilmişdir. 1992-1997-ci illərdə F.Salehli İTÜ Fizika Mühəndisliyi bölümündə qonaq professor vəzifəsində işləmişdir. İTÜ Fizika Mühəndisliyi bölümündə ferroelektriklər və bənzər polyar maddələrin tədqiqatı üçün dielektrik və polyar xassələrin geniş temperatur diapazonunda araşdıran eksperimental laboratoriya qurulmuştur. Bununla birlikdə, ferroelektrik və keramik maddələrin sintezi üçün Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı və İstanbul Texniki Universitetitindən 1995-ci ildə maddi dəstək alınmasında F.Salehli aktiv iştirak etmişdir.

1998-ci ildən F.Salehli İTÜ Fizika Mühəndisliyi bölümündə daimi olaraq dosent və 2009-cu ildən isə professor vəzifəsində işləyir. Tədqiqat mövzularını genişlədərək kristal maddələrə tətbiq edilən paralel dielektrik spektroskopiya metodikasını polimerləşmə kimyəvi reaksiyalarını öyrənmək üçün təkmilləşdirdi. Təkmilləşdirmə nəticəsində polimerləşmə reaksiyasında gelləşmə və şüşə faza keçidlərinin “zaman-temperatura” funksiyasına görə fraktal kinetikası ilə inkişaf etdiyi göstərilmiştir. Kimyəvi reaksiya prosesində polimer maddələrin əmələ gəlməsində molekulyar və klaster dinamikaları öyrənilmişdir. Polimerləşmə reaksiyasında fraktal kinetikası eksperimental və nəzəri metodlarla tədqiq edilmiştir. Həmçinin, F.Salehli maye kristal polimerlərin geniş temperatur diapazonunda tədqiqat aparmaq üçün dielektrik spektroskopiya metodunu təkmilləşdirmişdir. Həyata keçirilən həssas dielektrik udma metodoloji tərəqqi sayəsində müxtəlif polimer yan zəncir uzunluqlarına malik maye kristal polimerlərin ardıcıl faza keçidlərində molekulyar dinamikası və polyar halları tədqiq edilmişdir.

2008-ci ildə nanoskopiya fizikasını inkişaf etdirmək məqsədi ilə ‘’İTÜ ARI Nano Tek’’ layihəsi Dövlət Planlama Komitəsi (DPT) tərəfindən maliyyələşdirilmişdir. Bu layihə çərçivəsində Novocontrol Technologies GmbH (Almaniya) şirkətindən alınan ‘’Broadband Dielectric Spectroscopy’’ sistemi sayəsində F.Salehli İTÜ Fizika Mühəndisliyi bölümündə dielektrik spektroskopiya tədqiqatlarını daha qabaqcıl səviyyəyə qətirmişdir. Geniş temperatura və elektromaqnit dalğaları tezliklər diapazonunda nanomiqyaslı molekulyar dinamika tədqiq edilmişdir.

Biotibbi tədqiqatların ehtiyacları ışığında, F.Salehli biomaterialların və biomakromolekulyar sistemlərin su molekulları ilə qarşılıqlı təsirini aktiv şəkildə araşdırır. Belə ki, Avropa ölkələri ilə əməkdaşlıq quraraq, Portuqaliya Elm və Texnologiyalar Fondu və TÜBİTAK müqaviləsi nəticəsində Aveiro Universiteti ilə birlikdə ‘’Phase transitions and ferroelectricity in self-assembled peptide nanotubes’’ adlı layihə həyata keçirilib. Dielektrik spektroskopiya və Furye transfomasiyalı infraqırmızı spektroskopiya tədqiqatı nəticəsində peptid sistemlərdə baş verən faza keçidləri və polyar proseslərdən nanomiqyasda tutulan su molekullarının məsuliyyət daşıdığı sübut edilmiştir.

Prof. Dr. F.Salehlinin əsas maraq dairələri bunlardır:

- biomolekulyar sistemlərin dielektrik spektroskopiyası və molekulyar dinamikası;
- biomolekulyar və polimer materiallarda nanomiqyasda su molekulları və dinamikası;
- polimerlər və maye kristal polimerlərin dielektrik spektroskopiyası və faza keçidləri;
- polyar kristallarda faza keçidləri və mənfi dielektrik əmsalına malik kristallar.

Prof. Dr. F.Salehlinin Layihə rəhbəri və tədqiqatçı kimi işlədiyi əsas tədqiqat layihələri:

- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, “Lazer kristalların istehsalı və xarakteristikası”, TTGV-180s, 1995-1996;
- İTÜ Araştırma Fondu,”Nizamsız ferroelektriklərin fiziki xüsüsiyyətləri”, 1995-1996;
- DPT/25-07-01- “Biotibbi materiallarda və biopolimerlərdə dielektrik spektroskopiya tətbiqləri”, 2005-2007, Yıldız Teknik Universiteti əməkdaşlığı ilə;
- İTÜ ARI Nano Tek, DPT İnfrastruktur layihəsi, “Nanoölçülü atom laylı kristal filmlərin sintezi ve xarakteristikası”, 2008-2010;
- Portugal Science and Technologies Foundation and Turkish Scientific and Technological Concil, Project No.115F227, “Phase transitions and ferroelectricity in self-assembled peptide nanotubes”, 2017-2020.

Prof.Dr. F.Salehli aşağıdakı Dielektrik Spektroskopiya Konfranslarında (BDS/International Dielectric Society) məruzələrlə çıxış etmişdir:

1st BDS/IDS Conference, Jerusalem, Israel, 2001; 4th BDS/IDS Conference, Poznan, Poland, 2006; 5th BDS/IDS Conference, Lyon, France, 2008; 6th BDS/IDS Conference, Madrid, Spain, 2010; 9th BDS Conference, Pisa, Italy, 2016.

İTU Fizika Mühəndisliyi bölümündə işləyərək F.Salehli magistratura və doktorluq tələbələrinə "Bərk cisim fizikası" və "Statistik fizika", bakalavr tələbələrinə "Bərk cisim fizikası", "Statistik fizika", "Termodinamika", "Klassik mexanika", "Eksperimental fizika" və "Ümumi fizika" dərslərini vermişdir.

Prof.Dr. F.Salehlinin rəhbərliyi altında 8 Magistr və 1 Doktorluq dissertasiyası müdafiyə edilmiştir. F.Salehlinin 55 məqaləsi Scince Citation Index (SCI) indeksli beynəlxalq elmi jurnallarında dərc olunmuşdur, 3 patenti və çox sayda beynəlxalq konfrans kitablarında məqaləsi mövcuddur.

2023-cü ildə F.Salehli təqaüdə ayrılmışdır.

salehli@itu.edu.tr

PROF. DR. MİRHASAN SEYİTSOY
(SEYİDOV MİRHƏSƏN YUNİS OĞLU)

MirHəsən Yunis oğlu Seyidov 1960-cı il avqustun 26-da Bakı şəhərində anadan olmuşdur. On illik orta təhsilini başa vurduqdan sonra 1977-ci ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin (indiki Bakı Dövlət Universiteti) fizika-riyaziyyat fakültəsinə qəbul olunmuş və 1985-ci ildə oranı bitirərək "Fizika elmləri və müəllimliyi" ixtisası üzrə magistr dərəcəsi almışdır. 1978-ci ildə sovet ordusu sıralarına çağırılıb, 1980-ci ildə tərxis olunub. Universitetdə təhsilini başa vurduqdan sonra Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun "Tellur" Xüsusi Konstruktor Bürosunda texnik vəzifəsinə təyin edilmiş və sonra mühəndis-alim vəzifəsində çalışmışdır. Bu elmi və istehsalat müəssisəsində bir neçə il işlədikdən sonra o, termoelektrik elementlərin və soyutma cihazlarının elektron istilik nəzarəti üçün innovativ məhsulların layihələndirilməsi və istehsalı ilə məşğul olan İstilik elektronikası tədqiqat və mühəndislik bölməsinə qoşulub. O, fizika üzrə biliklərini praktikaya və mühəndislik tədqiqatlarına çevirərək bir çox mühəndislik problemlərinin praktiki həllinə mühüm töhfələr vermişdir. Nəhayət, onun həmkarları ilə birlikdə hazırladığı "Şottki baryerin xassələri üçün zond" ixtirası patentləşdirilmişdir (№ 1505355, Moskva, SSRİ, 1989). MirHəsən Yu. Seyidov və həmkarları tərəfindən təklif olunan termoelektrik Peltier soyutma elementləri və generatorlarının tədqiqi üçün zərif və aydın metod istilik batareyası sistemləri və modullarının konstruktorları və istehsalçıları arasında tanınmışdır.

MirHəsən Yu.Seyidov 1987-ci ildə Bakıda Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda doktorantura təhsilinə başlamışdır. MirHəsən Yu.Seyidovun, təbii ki, bir qədər bəxti gətirib. Elmi rəhbəri Prof. Dr. Rauf A.Süleymanov yarımkeçiricilər fizikası sahəsində aparıcı mütəxəssislərdən biri idi. MirHəsən Seyidov 1988-ci ildə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutuna keçmiş, elmi işçi kimi fəaliyyətə başlamış, sonrakı illərdə Optoelektronika Laboratoriyasına çevrilən Raman Spektroskopiya Laboratoriyasında böyük elmi işçi və aparıcı elmi işçi vəzifələrində çalışmışdır. 1992-ci ildə "$TlInS_2$ və $TlGaSe_2$ laylı kristallarının struktur faza keçidləri bölgəsində elastik xassələri" mövzusunda doktorluq dissertasiyasını müdafiə etmişdir. MirHəsən Yu. Seyidov doktorluq dissertasiyasında yaranan çətinlikləri daha dərindən mənimsəmək üçün dərhal qrup nəzəriyyəsini və Landau faza keçidləri nəzəriyyəsini öyrənməyə başlamışdır. Ona 2002-ci ildən Azərbaycan Ali Atestasiya Komisiyası tərəfindən "Yarımkeçiricilər və dielektriklər fizikası" ixtisası üzrə dosent elmi adı verilmişdir.

MirHəsən.Yu.Seyidovun apardığı elmi işlər van der Vaals rabitəli $A^{III}B^{III}C_2^{VI}$ üçlü qrupuna daxil olan laylı yarımkeçiricilərin fiziki xassələrinin təcrübi və nəzəri tədqiqatlarına həsr olunmuşdur. Xüsusilə, o, bu yarımkeçirici-ferroelektriklərdə qeyri-mütənasib fazaların təcrübi və nəzəri tədqiqatlarına diqqət yetirmişdir. O, müxtəlif eksperimental metodlardan istifadə etməklə mühüm tədqiqatlar aparmışdır.Yarımkeçirici optika, ultrasəs, xətti istilik genişlənmə əmsalı, dielektrik və maqnit nüfuzluğu, dielektrik ilgəyi, lazer induksiya parçalanma spektrometriyası, Raman səpilməsi, fotoinduksiya edilmiş keçici cərəyan spektroskopiyası (PICTS), fotolüminessensiya (PL), elektron-spin rezonansı (ESR), maqnit sahəsinə qarşı maqnitləşmə, rentgen şüalarının difraksiyası (XRD) və əks etdirmə (XRR), atom qüvvəsi mikroskopiyası (AFM), və s. kimi müxtəlif eksperimental üsullardan uğurla istifadə etmişdir.Onun bu sahədə sistemli işi hazırda klassik hesab edilən qeyri-mütənasib fazanın yaddaş effekti, $TlGaSe_2$ laylı kristalın bəzi makroskopik xassələrinin anormal davranışında C_{13} elastik sabitinin mühüm rolu kimi yeni və ekzotik nəticələr üzə çıxarmışdır.

MirHəsən Yu. Seyidov 2004-cü ildən Türkiyənin Gebze Texnologiya İnstitutunun (indiki Gebze Texniki Universiteti) Fizika kafedrasına dosent vəzifəsinə təyin edilmişdir. O, 2009-cu ildə Gebze Texnologiya İnstitutundan "Professor" elmi adını almışdır. Gebze Texniki Universitetində iyirmi illik elmi fəaliyyəti müddətdə Prof.Dr. MirHəsən.Yu.Seyidov "Science Citation Index Expanded" indeksi ilə indekslənmiş yüzdən çox məqalə dərc etdirib və praktiki olaraq onun tədqiqatları kondensasiya olunmuş hal fizikasındakı demək olar ki, bütün əsas mövzuları və yarımkeçirici elektronika ilə bağlı bəzi mövzuları əhatə edib. Bu günə qədər o, həm bakalavr, magistr və həm də doktorant ixtisası üzrə təhsil alan tələbələr üçün bir sıra mühazirələr oxuyub. 2004-2023-cü illərdə Prof.Dr.

MirHəsən.Yu.Seyidov Klassik mexanika I və II, Klassik elektrodinamika I və II, Kvant mexanikası I və II, Qrup nəzəriyyəsinin fizikada tətbiqi, kimya və kristalloqrafiya I və II, yarımkeçiricilər fizikası, yarımkeçirici qurğular fizikası üzrə magistr və fəlsəfə doktorları üçün mühazirələr oxuyub. Bundan əlavə, o, uzun illər bakalavr tələbələri üçün mühazirə kursları verib. Məsələn, Ümumi Fizika (Termodinamikanın hissələri və Elektrik və Maqnetizm), Klassik Mexanika, Statistik Mexanika, Optika və Qrup Nəzəriyyəsinə Giriş. Prof.Dr.MirHəsən.Yu.Seyidov öz elmi-pedaqoji təcrübəsini səxavətlə gənclərlə bölüşüb. İndiyə qədər Prof.Dr. MirHəsən.Yu.Seyidov on dörd magistr və səkkiz fəlsəfə doktoru hazırlayıb və onlar müxtəlif Universitetlərdə və şirkətlərdə uğurla çalışırlar.

Prof.Dr. MirHəsən.Yu.Seyidov müxtəlif layihələrdə həm layihə rəhbəri, həm də tədqiqatçı kimi iştirak edib. Bu layihələr: BAP 2004-A-8: Mənfi kimyəvi təzyiqli bərk məhlul sistemlərində faza dəyişikliklərinin optik və dilektik tədqiqi; BAP 2010-A-14:

A^3 B^3 C^6_2 kristallarında aşqarlamanın Urbax quyruğuna təsiri; BAP 2017-A101-03: Terbium, Erbium və Bor aşqarlı $TlInS_2$ kristallarının Temperatur Həyəcanlı Metodlarla Tədqiqi; BAP 2018-A 102-13: Mn, Cr və Co aşqarlı $TlMeX_2$ (Me: In, Ga; X: S, Se) aşağı ölçülü yarımkeçirici materiallarda əmələ gələn tələlərin optik və elektron paramaqnit rezonans üsulu ilə tədqiqi; 106T323 TÜBİTAK: Laylı kristal yarımkeçiricilərə əsaslanan ultrabənövşəyi (UV) şüa detektorlarının dizaynı və aşağı qiymətli istehsalı; 213M524 TÜBİTAK: Spintronik Tətbiqlər üçün Yeni İncə Film və Kompozit Multiferroik Materialların İnkişafı. 118C098 TÜBİTAK: Düz şüşə üzərində elektroxrom örtüklərin inkişafı və məlumatların təhlili.

Həmçinin, Prof. Dr.MirHəsən.Yu.Seyidov Gebze Texniki Universitetinin Fizika fakültəsində üç elmi-tədqiqat laboratoriyası təşkil etmişdir: Yarımkeçirici optika və optoelektronika, Bərk cisimlərdə qüsur spektroskopiyası və İstilik Genişlənmə əmsalı Ölçmə Laboratoriyası. Son illərdə Prof.Dr.MirHəsən.Yu.Seyidovun elmi marağı üzvi yarımkeçiricilərə, laylı yarımkeçiricilərdə nasazlıq mühəndisliyinə və seyrəltilmiş maqnit yarımkeçiricilərə yönəlmişdir. Xüsusilə, bu eksperimental tədqiqatlar, eləcə də kompüter simulyasiyaları və elektron zolaq strukturu hesablamaları göstərdi ki, van der Vaals rabitəli laylı yarımkeçiricilərdəki qüsurlardan bu aşağı ölçülü yarımkeçiricilərin termoelektrik və maqnit xüsusiyyətlərini idarə olunan şəkildə artırmaq üçün istifadə edilə bilər. Prof. Dr.MirHəsən.Yu. Seyidovun son illər maraqlandığı digər bir sahə radiotezlikli maqnetron püskürtmə üsulu ilə müxtəlif kristal substratlar üzərində çökdürülmüş hidrogenləşdirilmiş nanokristal silisiumlu ultranazik filmlərin tədqiqi ilə bağlıdır. Prof.Dr. MirHəsən.Yu.Seyidov öz əməkdaşları ilə birlikdə filmlərin içərisində hidrogen atomlarının kimyəvi qarşılıqlı təsirinin müasir dərk edilməsinə mühüm elmi töhfə vermiş və filmlərin fiziki xassələrində bir sıra kvant-məhdudluq (ölçü) effektlərinin mövcudluğunun proqnozlaşdırılmasını mümkün etmişdir.

Prof.Dr. MirHəsən.Yu. Seyidov sıx beynəlxalq elmi əməkdaşlığın nüfuzlu müdafiəçisidir. Xarici fiziklərlə əlaqələrin qurulmasının tərəfdarıdır. Təsadüfi deyil ki, onun elmi məqalələrində Yaponiya, Moldova, Fransa, Rusiya, Almaniya və digər ölkələrin xarici fizikləri ilə əməkdaşlıq geniş yer tutur.

O, bütün fəaliyyətində qeyri-adi elmə məhəbbət, fundamental prinsiplərə sadiqlik, öz işinə tənqidi yanaşma, müxtəlif və bəzən bir-birinə uyğun gəlməyən insanları komandalarda ümumi məqsədə doğru təşkil etmək bacarığını nümayiş etdirmişdir.

PROF. DR. SALEH SULTANSOY
(SULTANOV SALEH FUAD OĞLU)

Saleh Sultanov 23.05.1952-ci ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur. 1969-cu ildə Bakı şəhərinin 134 nömrəli məktəbinin fizika-riyaziyyat təmaüllü sinfini bitirmişdir. 1968-1969-cu illərdə riyaziyyat və fizika üzrə Respublika olimpiadalarında iştirak etmiş və 1-ci və 2-ci yerləri tutmuşdur. 1969-cu ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin fizika fakültəsinə qəbul olunmuş və 1974-cü ildə fizik-fizika müəllimi ixtisası üzrə həmin Universiteti bitirmişdir. Universitetdə oxuduğu zaman 1971-1973-cü illərdə fizika fakültəsinin Tələbə-elmi cəmiyyətinin sədri vəzifəsinə, 1972-1973-cü illərdə Universitetin Tələbə-elmi cəmiyyətinin sədr müavini vəzifəsinə seçilmişdir. 1974-cü ilin sentyabr ayında Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunda işə başlamışdır.

Saleh Sultanov 1979-1989-cu illər arasında Sovet İttifaqı Atom Enerjisi Komitəsinin Moskva vilayətinin Protvino şəhərindəki Yüksək Enerjilər Fizikası İnstitutunda işləmişdir. Burada "Genişləndirilmiş tənzimləmə simmetriyasına sahib elektrozəif qarşılıqlı təsir modellərində ağır leptonlar və kvarklar" adlı namizədlik dissertasiyası müdafiə etmiş və 1985-ci ildə Fizika üzrə Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsinə layiq görülmüşdür. Sovet İttifaqının Yüksək Enerjilər Fizikası Dövlət Elmi-Texniki Proqramının (ГНТП-1) hazırlanmasında iştirak etmişdir. Bu proqramın elektron-proton kollayderi ilə bağlı hissəsi üzrə məsul idi. Bununla əlaqədar iki dəfə Yüksək Enerjilər Fizikası İnstitutunun və iki dəfə də Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunun (Dubna şəhəri) Elmi-koordinasiya şuralarında məruzə ilə çıxış etmişdir. Qeyd edilməlidir ki, Saleh Sultanov bu şuralarda sürətləndirici mövzularında məruzə edən ilk və tək Azərbaycanlı alimdir. 1989-cu ilin əvvəllərində Qarabağ hadisələri ilə bağlı Vətənə qayıtmağı özünə borc bilmişdir.

Saleh Sultanov 1989-cu ildə Fizika institutunda Böyük elmi işçi (dosent), 1993-cü ildə isə Aparıcı elmi işçi (professor) elmi adını almışdır. 1991-1993 illərində Azərbaycan Respublikası Milli Məclisi tərəfindən qurulmuş Elm və Texnologiya Qanunu hazırlanması üzrə Komissiyanın üzvü olmuşdur.

Prof. Dr. Saleh Sultansoy 1993-cü ildə elm və təhsil sahəsində fəaliyyət göstərmək üçün Türkiyənin Ankara Universitetinə dəvvət olunmuş və həmin Universitetdə 1999-cu ilə kimi professor vəzifəsində işləmişdir. Burada onun təşəbbüsü ilə Yüksək Enerjilər fizikası sahəsində sistemli tədqiqatlara start verilmiş, 1996-cı ildə Ankara Universiteti ilə Almaniyanın ən böyük milli elmi-tədqiqat mərkəzi olan DESY mərkəzi (Hamburq) arasında elmi əməkdaşlıq müqaviləsi imzalanmış və Ankara Universiteti 1997-ci ildə CERN-dəki ATLAS eksperimentinə daxil olmuşdur. Eyni ildə Saleh Sultansoyun təşəbbüsü ilə Türkiyə Dövlət Planlaşdırma Təşkilatının (DPT) dəstəyi ilə Türk Sürətləndirici Kompleksi ilə əlaqədar tədqiqatların birinci mərhələsi başlamışdır. Layihənin məqsədi yüksək enerjilər fizikasının və sürətləndirici texnologiyalarının Türk dünyasında inkişaf etdirilməsi idi.

1999-cu ildə DESY mərkəzinin (Hamburq, Almaniya) direktorunun xüsusi dəvəti ilə Beynəlxalq layihədə iştirak etmək üçün Almaniyaya getmişdir. Bu mərkəzdə il yarım ərzində professor vəzifəsində işləmiş, TESLA və THERA layihələrinin texniki dizayn hesabatlarının (TDR) hazırlanmasında iştirak etmiş və THERA layihəsinin "Foton-proton kollayderi" hissəsinə rəhbərlik etmişdir.

Prof. Dr. Saleh Sultansoy 2001-2006-cı illər arasında Qazi Universitetində (Ankara, Türkiyə) professor vəzifəsində işləmişdir. 2002-2005 illəri arasında DPT dəstəyi ilə Türk Sürətləndirici Kompleksi ilə əlaqədar aparılan tədqiqatların ikinci mərhələsinin rəhbəri olmuş və Qazi Universitetinin CERN-dəki ATLAS eksperimentində və CLIC sürətləndirici layihəsində iştirakını təmin etmişdir. O, həmçinin, 1997-ci ildən başlayaraq (indiyə kimi) İsveçrə və Fransa sərhəddində yerləşən dünyanın ən böyük sürətləndici kompleksinə sahib olan Avropa Nüvə Tədqiqatları Mərkəzində (CERN) Higgs bozonunu kəşf edən ATLAS eksperimentində, qurulması 2030-cu illərdə nəzərdə tutulan LHeC və FCC adlı kollayder layihələrində iştirak edir.

Prof. Dr. Saleh Sultansoy 2007-ci ildən başlayaraq TOBB Ekonomika və Texnologiya Universitetində professor vəzifəsində işləməkdədir. TOBB Universitetinin CERN-dəki ATLAS eksperimentinə, LHeC və FCC layihələrinə daxil olmasını təmin etmişdir.

Onun Türkiyədə inkişaf etdirdiyi elm sahələri aşağıdakılardır: Elementar zərrəciklər fizikası; Sürətləndirici texnologiyaları; Elm və texnologiya strategiyaları.

Rəhbəri olduğu qrant layihələrini aşağıdakı kimi sıralamaq olar:

1. 1997-2000-ci illərdə DPT-97K-120420 kodu olan "Zərrəciklərin Sürətləndiriciləri: Türkiyədə Nə Edilməli" adlı Dövlət Planlaşdırma Təşkilatı layihəsi (Ankara və Qazi universitetləri; 1997-1999-cu illərdə layihə rəhbəri, 1999-2000-ci illərdə layihə məsləhətçisi),
2. 2002-2005-ci illərdə DPT-2002K-120250 kodu olan "Türkiyə Sürətləndirici Kompleksinin Ümumi Dizaynı" adlı Dövlət Planlama Təşkilatı layihəsi (Qazi və Ankara universitetləri),
3. 2004-2008-ci illərdə "CLIC*LHC əsasında elektron-proton və elektron-nüvə kollayderləri"
4. 2008-2011-ci illərdə "Linak-LHC əsasında ep, γp, eA və γA Kollayderləri" adlı DPT-TAEK layihəsi,
5. 2015-2018-ci illərdə 114F337 kodu olan "TeV Enerjiyalı Kollayderlərdə Maddənin Mümkün Yeni Struktur Səviyyəsinin Axtarılması" adlı TÜBİTAK layihəsi.

Prof. Dr. Saleh Sultansoyun təklifi ilə başlayan meqa layihələr isə aşağıdakılardır:

1. **Türk Sürətləndirici Kompleksi** (Turkic Accelerator Complex – TAC). Super-Şarm Fabriki (linak-halqa tipli elektron-pozitron toqquşdurucu), Pozitron halqasına əsaslanan 3-cü nəsil sinxrotron radiasiya mənbəyi, Elektron linaka əsaslanan Sərbəst Elektron Lazeri və GeV enerji proton sürətləndiricisi TAC layihəsinin 4 əsas hissəsini təşkil edir.
2. **Türk Elm Şəhəri - ATAM layihəsi** (1994-cü ildə Ankara və Qazi universitetlərindən 18 nəfərlik alim qrupu tərəfindən hazırlanmışdır). ATAM layihəsi hazırlanarkən Yaponiyanın Tsukuba Elm Şəhəri (1964) və Cənubi Koreyanın Daedeok Elm Şəhəri (1973) nümunə kimi alınmış idi. ATAM layihəsi reallaşdıqdan sonra Türk Dünyasında (Türkiyə, Azərbaycan, Türküstan) daha bir neçə Elm Şəhərlərinin yaradılması nəzərdə tutulur.
3. **Ən yüksək enerjiyə malik lepton-adron toqquşdurucuları.** Böyük Adron elektron Kollayderinin (LHeC, CERN) 2030-cu illərdə qurulması; Gələcəyin Dairəvi Kollayderi (FCC, CERN) əsasında elektron-proton, elektron-nüvə, muon-proton və muon-nüvə toqquşdurucularının 2050-ci illərdə qurulması nəzərdə tutulur.

Elmə verdiyi töhfələr:

1. **ELEMENTAR ZƏRRƏCİKLƏR FİZİKASI SAHƏSİNDƏ:** Standart Modelin müxtəlif genişləndirmələri; ləzzət (flavour) demokratiyası hipotezinin yenilənməsi; yeni ağır leptonların və kvarkların xassələri və kollayderlərdə axtarışı; preon modelləri tərəfindən təxmin edilən yeni hissəciklərin və qarşılıqlı təsirlərin xassələri və kollayderlərdə axtarışı
2. **SÜRƏTLƏNDİRİCİLƏR SAHƏSİNDƏ**: Türk Sürətləndirici Kompleksi layihəsi; linak-halka tipli elektron-proton və elektron-nüvə kollayderləri; foton-proton və foton-nüvə kollayderləri; muon-proton və muon-nüvə kollayderləri; nüvə enerjisinin istehsalında sürətləndiricilərin istifadəsi.

Türkiyədə işlədiyi müddətdə 2013-cü ildə Türk Fizik Derneği Profesör Engin Arık mükafatına, 2016-cı ildə Türk Dünyası Kızıl Elma Elm mükafatına layiq görülmüşdür. 2017-ci ildə alimə Yəsəvi-Maturidi cəmiyyəti tərəfindən "Türk Elminin Ağsaqqalı" fəxri adı verilmişdir.

Prof. Dr. Saleh Sultansoy 1996-1999-cu illərdə Ankara Universiteti Fən Fakültəsi Elm Komitəsinin üzvü, 2002-2007-ci illərdə Gazi Universiteti Elm və Texnologiya Tədqiqat Mərkəzinin İdarə Heyətinin üzvü, 2008-2011-ci illərdə Türk Sürətləndirici Kompleksi (TAC) layihəsinin Beynəlxalq Məsləhət Şurasının üzvü, 2008-2011-ci illərdə TAEK - CERN Elm Komitəsinin üzvü, 2022-ci ildən indiyə qədər Türkiyə Sürətləndirici və Radiasiya Laboratoriyasının (TARLA) İdarə Heyətinin üzvü, həmçinin, çox sayda milli və beynəlxalq kofransların Məsləhət Şurasının, Elm Komitəsinin və Təşkilat Komitəsinin üzvü və sədri olmuşdur.

Prof. Dr. Saleh Sultansoy Yüksək Enerjilər Fizikası sahəsində 5 fəlsəfə doktoru və 15 magistrin elmi rəhbəri olmuşdur. Eyni zamanda 15 fəlsəfə doktoru və 40-a yaxın magistrin hazırlanmasında öz töhfəsini vermişdir. Çox sayıda professorluq, dosentlik, doktora və magistr jurilərinin üzvü və sədri olmuşdur.

Tanınmış fizik alim 1500-dən çox elmi məqalənin müəllifidir. Web of Science, Google Scholar kimi verilənlər bazalarına istinadən Azərbaycan alimləri sırasında 1-ci, Türkiyə alimləri sırasında ilk on alimin arasındadır. Saleh Sultansoyun məqalələrinə sitatların sayı və h-indeksi: Web of Science - 57400 və 111; Google Scholar - 207500 və 181; HEP Inspire - 143200 və 181.

PROF. DR. RAUF ADİL OĞLU SÜLEYMANOV
(1949-2017)

Rauf Adil oğlu Süleymanov 04 dekabr 1949-cu ildə Bakı şəhərində müəllim ailəsində anadan olmuşdur. 1967-ci ildə Qərbi Azərbaycanın İrəvan şəhər 1 saylı rus orta məktəbini qızıl medalla bitirmiş və həmin il İrəvan Dövlət Universitetinin fizika fakültəsinə qəbul olmuşdur. O, 1972-ci ildə İrəvan Dövlət Universitetini eksperimental nüvə fizikası ixtisası üzrə qırmızı diplomla bitirmiş və həmin il Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun aspiranturasına daxil olmuşdur.

R.A. Süleymanov1976-cı ildə akademik E. Yu. Salayev və fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor G.L.Belenkinin rəhbərliyi ilə "Qallium selenidinin enerji spektrinin optik və lüminessensiya metodu ilə tədqiqi" mövzusunda namizədlik, 1985-ci ildə "Laylı kristallarda deformasiya effektləri" mövzusunda doktorluq dissertasiyası müdafiə etmişdir ki, bu da indiyədək fəal tədqiqat mövzusu olaraq qalır. Onun doktorluq dissertasiyasının nəticələri 1988-ci ildə "Успехи физических наук" jurnalında eyni başlıqla nəşr olunan icmal məqaləsində sistemləşdirilmişdir.

Prof. Rauf A. Süleymanov elmə təmənnasız bağlılığı, böyük əməksevərliyi, yüksək səviyyəli fiziklərə məxsus istedadı qısa zamanda dünya şöhrətli alimə çevrilmişdir.

O, nəinki mükəmməl bir fizik-eksperimentator, eyni zamanda nəzəriyyənin dərin bilicisi idi. Prof. Rauf A. Süleymanov Bərk Cisimlər Fizikasının müxtəlif istiqamətlərində çalışmışdır. 1988-ci ildə, laylı kristalların fiziki xassələrinin tədqiqi ilə bağlı elmi işlərinə görə Azərbaycan SSR Dövlət mükafatına layiq görülmüşdür.

R.A. Süleymanov 1976-2003-cü illərdə AMEA Fizika İnstitutunda elmi işçi, aparıcı elmi işçi və laboratoriya müdiri vəzifələrində işləmişdir.

Ötən əsrin 90-cı illərində Türkiyədə elmi pedaqoji fəaliyyətə dəvət olunan ilk azərbaycanlı alimlər sırasında fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, prof. Rauf A.Süleymanov da var idi. Məhz o illər Ankaradakı Orta Doğu Texnik Universitetində Bərk cisim fizikasının rövnəqlənməsində, digər azərbaycanlı fiziklər prof. Nizami Həsənli, prof. Kərim Allahverdiyev və prof. Həmdulla Mehrabov ilə yanaşı, məhdud sayda xarici fiziklər çalışırdı. Prof. Rauf A.Süleymanov 1993-1996-cı illərdə Orta Doğu Texnik Universitetinin tələbələrinə Bərk cisim fizikası fənnindən ingilis dilində mühazirələr oxumuşdur.

Sovetlər İttifqı dağıldıqdan sonra, Azərbaycanın faktiki müstəqilliyini təmin etmək üçün ali hakimiyyətə dəvət olunan nəhəng siyasətçi və mahir dövlət qurucusu Heydər Əliyevin respublikaya rəhbərliyi illərində Prof. Rauf A. Süleymanov, AMEA-nın rəhbərliyinin dəvəti ilə öz doğma Fizika İnstitutunda elmi fəaliyyətini davam etdirmiş və eyni zamanda Bakı Dövlət Universitetində tələbələrə Bərk cisim fizikası və Yarımkeşiricilər fizikasından azərbaycan, ingilis və dillərində mühazirələr aparmışdır.

O, illərdə müstəqil Azərbaycanda dünya və bazar iqtisadiyatı üzrə mütəxəssislər çatışmadığından, dəqiq və analitik düşüncə sahiblərini ölkədə gedən iqtisadi islahatlar aparmaq üçün dövlət idarəetmə strukturlarına işləməyə tez-tez dəvət edirdilər. Bu proseslər konteksində Prof. Rauf A. Süleymanov da islhatları aparmaq prosesinə dəvət olunmuş, yeni yaradılmış Azərbaycan Əmlak Komitəsinin Auksionlar Mərkəzinin baş direktoru vəzifəsində işləyərkən Azərbaycanda müvəffəqiyətlə dövlət mülkiyyətinin özəlləşdirmə prosesinə də öz tohvəsini vermişdir.

Gebze Texnik Universitetinin təkidli dəvətilə Prof. Rauf A. Süleymanov 2003-cü ildə Türkiyəyə köçmüş və ömrünün sonuna qədər həmin Universitetin Fundamental elmlər fakültəsinin Fizika bölməsində professor və kafedra

müdiri vəzifəsində çalışmışdır. Eyni zamanda 2016-2017-ci illərdə Sabançı Universitetində dəvətli professor kimi Bərk cisim fizikası və Yarımkeçiricilər fizikasından doktorantlara ingilis dilində mühazirələr oxumuşdur.

Prof. Rauf A. Süleymanov son elmi tədqiqat işləri seqnetoelektrik-yarımkeçiricilərdə faza keçidlərinin tədqiqi ilə bağlı idi. Burada, ilk nöbədə, yarımkeçiricilərdə məxsusi dərin defektlərin aktivasiyası və onların kristalların seqnetoelektrik xassələrinə təsiri nəticəsində yeni effektlərin yaranmasına səbəb olan yarımkeçirici və seqnetoelektrik altsistemlərin qarçılıqlı təsir məsələsinin öyrənilməsinə həsr olunan işləri qeyd etmək lazımdır. O, demək olar ki, ömrünün son günlərinə qədər intensiv və məhsuldar işləməklə davam etmişdir. Son illərdə, onun yaradıcı işinin vacib istiqaməti laylı kristallar əsasında hazırlanan həcmli strukturlarda müşahidə edilən memrisor effektin tədqiqi olmuşdur.

Prof. Rauf A. Süleymanov Orta Doğu Texnik Universitetində, Sabançı Universitetində və Gebze Texniki Universitetində işlədiyi müddətdə təhsilin bakalavr, magistr və doktorant pilləsi üzrə təhsil alan tələbələr üçün Bərk cisim fizikası, Optoelektronika, Yarımkeçiricilər fizikası və Yarımkeçirici cihazların fizikası fənlərindən mühazirələr oxumuşdur.

Prof. Rauf A. Süleymanovun tədqiqatçılıq istedadı onun pedaqoji istedadı ilə harmonoya təşkil edirdi. Prof. Rauf A. Süleymanovun yüksək insani keyfiyyətlər aşıladığı, dərin elmi biliklər bəxş etdiyi çox sayda tələbələri olmuşdur. AMEA Fizika İnstitutunda işlədiyi müddətdə onun elmi rəhbərliyi altında 5 tələbəsi fizika üzrə fəlsəfə doktoru və 2 tələbəsi elmlər doktoru elmi dərəcəsi almışdır. Gebze Texnik Universitetində işlədiyi müddətdə 6 fəlsəfə doktoruna elmi rəhbərlik etmişdir.

Hazırda həm Türkiyə elm və təhsil müəssisələrində, həm də dünyanın bir sıra qabaqcıl ölkələrində, digər mütəxəssislərlə yanaşı Prof. Rauf A. Süleymanovun da yetişdirdiyi alimlər bərk cisim fizikası və nano-tədqiqatlara öz töhvələrini verirlər.

Həmişə hörmət və qayğı ilə yanaşdığı tələbələrindən Prof. Dr.M.Yu.Seyidov və Prof. F.Ə.Mikayılov 2004-cü ildən Türkiyənin Gebze Texniki Universitetinin Fən-Ədəbiyyat fakültəsinin Fizika bölümündə və Prof. Dr. Məhərrəm Zərbəliyev isə 2006-cı ildən Türkiyənin Harran Universitetinin Fən-Ədəbiyyat fakültəsinin Fizika bölümündə Prof. Rauf A. Süleymanovun elmi irsini davam etdirirlər.

Təsadüfi deyil ki, onun rəhbərliyi altında çalışan işçilər və tələbələri ona hörmət əlaməti olaraq sadəcə "Şef" deyərək müraciət edirdilər.

Zəngin elmi intuisiyası ona bir çox perspektvli elmi işləri və istiqaətləri səhvsiz müəyyən etməyə imkan vermişdir. Prof. Rauf A. Süleymanovun elmi irsini impakt faktorlu jurnallarda 100-ə yaxın nəşr təşkil edir və əsərlərinə istinadların sayı 800-dən çoxdur.

Elmi yaradıcılığına, elmi problemlərin mahiyyətinə və ilkin prinsiplərini üzə çıxarmağa yönələn özünəməxsusluq və orginallıq xas olan Prof. Rauf A. Süleymanov şərəfli bir ömür yaşadı. Onun elmi axtarışlarındakı cəsarətli və qüsursuz vicdanı gənc alimlərin elmə fədakarlıqla xidmət etmək ruhunun tərbiyyəsində vacib əhəmiyyət kəsb etmişdir. O, heç vaxt çətin suallardan çəkinməmiş, elmi rəhbər və ya sadəcə həmkar olaraq məsləhət vermiş və yeri gələrsə tənqid də etmişdir.

08 noyabr 2017-ci il tarixində ağır qısamüddətli xəstəlikdən sonra 68 yaşında Azərbaycanın tanınmış alimi, görkəmli fizik, professor Rauf A. Süleymanov vəfat etmişdir. Geniş dünyagörüşü, zəkası, təkrarsız yumor hissi, ətrafda baş verən proseslərə qarşı laqeyd olmamaq kimi mükəmməl insani keyfiyyətləri ilə Prof. Rauf A. Süleymanov xatirələrimizdə əbədi yaşayacaqdır.

PROF. DR. RƏHİLƏ TAĞIYEVA-ƏSGƏRBƏYLİ

Prof. Dr.Tağıyeva-Əsgərbəyli Rəhilə Tağı qızı 1963-cü ilin avgust ayının 15-də Bakıda anadan olmuşdur. 1970-1980-ci illərdə Bakı şəhəri 258 saylı orta məktəbdə təhsil almıştır. 1980-ci ildə məktəbi əla qiymətlərlə bitirdikdən sonra həmin il Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsinə daxil olmuşdur. 1985-ci ildə Dubna şəhərində Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunda diplom işini yerinə yetirərək Fizika fakültəsini fərqlənmə diplomu ilə bitirmişdir. Təyinatla Kosmik Tədqiqatlar İnstitutunda mühəndis olarak işə başlamışdır.

1987-ci ildə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının (AMEA) Fizika İnstitutunda istehsalatdan ayrılmaqla aspiranturaya daxil olmuşdur. Aspirantura illərində SSRİ Elmlər Akademiyasının Lebedev adına Fizika İnstitutunun Nəzəri Fizika şöbəsinə ezam edilmişdir. 1996-ci ildə AMEA-nın müxbir üzvü, Prof. Yuhənnas Seyıdovun rəhbərliyi altında "Maqnetik ifratqəfəslərdə Spin dalgaları" mövzusunda namizədlik dissertasiyasını müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri namizədi alimlik dərəcəsi almışdır. Aspiranturanı bitirdikdən sonra AMEA-nın Fizika İnstitutunda elmi işçi vəzifəsində işə başlamışdır. 1999-

ci ildə Fizika İnstitutunda Atestasiya Komissiyasının qərarı ilə böyük elmi işçi vəzifəsinə keçirilmişdir.

Tağıyeva-Əsgərbəyli Rəhilə 2000-2001-ci illərdə Türkiyə Elm və Texnika Komitəsinin (TUBİTAK) dəvəti ilə NATO postdoc qrantı ilə Ankara Universiteti Fən Fakültəsinin Fizika Bölümündə çalışmışdır. Sonra 2004-2005-ci illərdə eyni Universitetdə TUBİTAK-ın "Konuk Bilim Adamı" (dəvətli elmi işçi) qrantı ilə araşdırmalar aparmışdır. Bu illərdə ona Azərbaycan AAK tərəfindən "Bərk cisim nəzəriyyəsi" ixtisası üzrə Dosent diplomu verilmişdir. 2009-2011–ci illərdə Türkiyənin ilk sıralarında yer alan Bilkənt Universitetində TUBİTAK qrantı ilə elmi-tədqiqat işləri həyata keçirmişdir.

2013-2014-cü illərdə Ankara Universitetinin Nallıhan Yüksek Okulunda (Kolec) pedaqoji fəaliyət göstərmiştir. 2014-cü ildən başlayaraq və hal-hazırda Türkiyə Cümhuriyətinin Karabük Universitetində işləyir. 2015-ci ildə Dosentlik imtahanını müvəffəqiyətlə verərək Türkiyə Ali Təhsil Şurasının qərarı ilə Fizika sahəsində Dosent ünvanını almış və yuxarıda adı keçən Universitetdə öncə Dosent, hal- hazırda isə Professor vəzifəsində çalışır.

Bu illər ərzində Prof. Dr. Rəhilə Tağıyeva–Əsgərbəyli tələbələrə və doktorantlara fərqli fənlərdən dərs vermiştir. Bunlardan "Ümumi Fizika 1 və Ümumi Fizika 2", "Elektromaqnit nəzəriyyəsinin əsasları","Riyazi Analiz 1 və Riyazi Analiz 2", "Tətbiqi Statistika 1 və Tətbiqi Statistika 2", "Ədədi Analiz ","Qeyri-səlis xətti proqramlaşdırma və iqtisadi problemlərin tətbiqi", "Elektronika nəzəriyyəsi", "Güc Elektronikası" və digərləri göstərilə bilər.

Prof. Dr. Rəhilə Tağıyeva–Əsgərbəyli bərk cisim nəzəriyyəsinin aşağıdakı sahələrində tədqiqat işləri aparır: düzgün olmayan (defektli) maqnetik (ferromaqnetik və antiferromaqnetik) superstrukturlarda (nanostrukturlarda) və onlardan alınan ferromaqnetik və antiferromaqnetik kontaktlarda yayılan spin dalgaları (mikroskopik yaxınlaşma), maqnetostatik dalgalar və maqnetik polaritonların (makroskopik yaxınlaşma) fiziki xassələri və xarici maqnetik sahənin enerji spektrinə təsiri öyrənilmiştir. Maqnetik ifratqəfəslər ilə maqnit mühitin birləşdiyi yerdə lokalizə olan səthi maqnetik polaritonları, Voıgt konfiqürasyasiyasında elektromaqnetik dalğa teorimi istifadə olunarak araşdırlmakdadır. Lokalizə maqnetik polaritonlar üçün dalğa spektri, uzun dalğa boyu limitində əldə olunmuşdur. Antiferromaqnetik ifratqəfəs-antiferromaqnet sistemində yayılan səthi lokalizə maqnetik polaritonlar və manyetostatik dalğalar üçün ümumi dalğa tənliyinə əlavə olaraq, uzun dalğa boyu limiti $\lambda \gg L$ üçün bəsitləştirilmiş bir nəticə əldə edilmişdir (L, ifratqəfəsin periyodudur) ifratqəfəsin bir anizotropik maddə kimi davrandığı təsbit edildiyində ortalama təsir yaxınlaşması inkişaf etdirilmişdir və səmərəli nəticələr əldə edilmişdir.

Prof. Dr. Rəhilə Tağıyeva–Əsgərbəylinin Dirak ifratkeçiricilərinə aid olan araşdırmalarında standart Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) modelindən istifadə olumuşdıur. Kulon potensialının hesablanmasında qrafenin və alt təbəgə materialının qalınlığını nəzərə alınmış və kritik temperatur Tc hesablanmışdır. Həmçinin qrafendə elektron sıxlığının elektron-fonon qarşılıqlı təsirinə və Coulomb psevdopotensialına təsirini təhlil olunmuşdur. Bundan əlavə, alt təbəqə qrafen monolayında kritik temperaturun izotopik yerdəyişmə faktoru qiymətləndirilmişdir. Həmçinin göstərilmişdir ki, qrafen monolayında plazmon spektri uzun dalğa yaxınlaşmasında çoxqatlı qrafendən fərqli olaraq xətti dispersiyaya malikdir. Plazmon spektrinin mailliyi alt təbəgənin qalınlığı və dielektrik sabiti ilə müəyyən edilir.

Prof. Dr. Rəhilə Tağıyeva–Əsgərbəyli son zamanlar optimizasiya problemlerinin iqtisadiyatda tətbiqi məsələləri üzrə tədqiqat işləri aparır. Onun araşdırmaları arasında Türkiyə Dəmir-Polad Sektorunda fəaliyət göstərən fabrikdən tələb nöktəsinə paylanma əsas problemini həlli kimi dəgərləndirilməktədir. Tələb nöktələrinə coğrafi bölgə olaraq müəyyən edildi. İlk növbədə minimuma endirilməli olan ümumi xərc və ümumi tələb və ya təklif məbləği ilə birlikdə mərkəzdən müştərilərə göndəriləcək malların ümumi miqdarı. Daşıma modelinin optimal həlli, həm Vogels yanaşma metodu (VAM), həm modifikasiya olunmuş paylama (MODI) istiqaməti, həm də xətti proqramlaşdırma üsulu ilə həll edilmiş və mühüm nəticələr əldə edilmişdir.

Prof. Dr. Rəhilə Tağıyeva–Əsgərbəyli tərəfindən başqa bir çalışma da Türkiyə sement sektoruna tətbiq olumuşdur. Hədəf funksiyasına yönəlmiş bir tolerantlıq verilməmiş, sadəcə məhdudiyyətlər üçün tolerantlıq dəyərləri verilmiştir. Bu səbəbdən əməliyyat məlumatları ilə yaradılmış modelin həllində qeyri-səlis proqramlaşdırma həlli yaxınlaşmalarından biri olan Verners yaxınlaşmasından istifadə edilmişdir. Bu yaxınlaşmaya görə optimal nəticəni əldə etmək üçün bərabər dərəcəli olan həll fəzasının α–kəsiyi coxluğunun, qeyri-səlis qərar coxluğu kimi qəbul edilməlidir. Optimal həll dəyərləri, α-nın 0.5 olduğu giymətə uygundur. Bu vəziyyəti nəzərə alaraq, hədəf funksiyasının alt və üst limitləri, yəni minimum və maksimumlari hesablanmış və bu funksiyanın optimal qiyməti və istehlakçılar üçün optimal paylama planı əldə olunmuşdur. Nəzərə alınan nəqliyyat probleminin Riyazi modelləşdirilməsi qeyri-səlis proqramı və R/Simplex paket proqramından istifadə edilmişdir. Qeyri-səlis proqramlaşdırma modeli çərçivəsində Werner yaxınlaşmasındakı həlllərə əsaslanaraq, həllərdən başlayaraq, mövcud tədarük və tələbə görə minimum xərcə optimal bir paylama planı təklif olunmuşdur.

Prof. Rəhilə Tagiyeva-Əsgərbəylinin bu illər ərzində xarici ölkələrdə və Azərbaycanda keçirilən Beynalxalq Elmi Konfranslarda elmi məruzələrlə çıxış edib. Fizika sahəsində tanınmış bir çox xarici və yerli elmi jurnallarda (SCI) 50-dən çox məqaləsi çap olunmuşdur. Bunlardan Rusiyada, Avropada və uzaq Şərqdə nəşr olunan Fizika Tverdogo Tela, Solid State Communication, Modern Physics Letters B, Physica E, Modern Physics Letters B, Superlattice and Microstructures, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Physica Scripta, PRAMANA Journal of Physics, Journal of Physics and Chemistry of Solids, Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, Superconductor Science and Technology, Optoelectronics and Advanced Materials-Rapid Communications, Modern Physics Letters B, Turkish Journal of Physics və digər jurnallardır.

Hal hazırda Türkiyənin Karabük Universitetində pedaqoji və elmi fəaliyətini davam etdirir. Prof. Rəhilə Tagiyeva-Əsgərbəylinin rəhbərliyi altında 2 namizədlik və 11 magistr dissertasiyası yerinə yetirilib müvəffəqiyyətlə müdafiə olunmuşdur.

PROF. DR. AYDIN ULUBEY
(QULUBƏYOV AYDIN MİKAYİL OĞLU)

Qulubəyov Aydın Mikayıl oğlu 04 oktyabr 1955-ci ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur. 1961-ci ildə Bakı şəhəri 167 saylı orta məktəbinin birinci sinfinə getmiş və 1971-ci ild həmin orta məktəbi bitirmişdir. 1972-ci ildə Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakultəsinə qəbul olunmuş və 1977-ci ildə eyni Universitetdən fizik-fizika müəllimi ixtisası üzrə məzunu olmuşdur. 05.12.1977-14.12.1984-cü illərində keçmiş SSRİ-nin Müdafiə Sənayesi Nazirliyinin tabeliyindəki Tətbiqi Fizika İnstitutunun Bakı filialında mühəndis, baş mühəndis vəzifələrində işləmişdir. Eyni zamanda 1979-1983-cü illərdə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutunun aspiranturasında istehsalatdan ayrılmamaq şərti ilə təhsil almış və dissertasiya işini uğurla tamamlamışdır.

A.M. Qulubəyov 1983-cü ilin yanvar ayında "GeSe yarımkeçiricilərinin optik xassələri və zona quruluşu" mövzusunda dissertasiya işini müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, 1994-cu ilin oktyabr ayında isə "A^4B^6 tipli yarımkeçiricilərin optik və anizotrop xassələri" mövzusunda dissertasiya işini müdafiə edərək "Yarımkeçiricilər və dielektriklər fizikası" ixtisası üzrə fizika üzrə elmlər doktoru alimlik elmi dərəcəsini almışdır.

O, 15.12.1984-24.11.1995-ci tarixləri arasında Azərbaycan İnşaat-Mühəndisləri Universitetinin Fizika kafedrasında assisent, baş müəllim və professor vəzifələrində işləmişdir.

A.M. Qulubəyov ilk dəfə 1995-ci ildə Türkiyə Elmi və Texnoloji Araşdırmalar Qurumunda (TÜBİTAK) Uzman Araşdırmaçı vəzifəsinə dəvvət olunmuş və həmin elmi mərkəzdə 2000-ci ilin sonuna kimi elmi tədqiqat işləri ilə məşğul olmuşdur.

2000-2006-cı illərdə Muğla Universiteti Fən-Ədəbiyyat fakültəsi Fizika bölməsində əcnəbi professor vəzifəsində çalışmış və 25 sentyabr 2006-cı ildən Trakya Universiteti Fən-Ədəbiyyat Fakültəsi Fizika kafedrasında daimi dosent, 2011-ci il daimi professor vəzifələrində işləyir. Vəzifəyə təyin olunduqdan sonra həmin kafedrada doktorantura proqramı açılmışdır. 2006-2022-cı ıllər arasında Trakya Universitetində Bərk cisim fizikası şəbəsinin müdiri vəzifəsində işləmişdir.

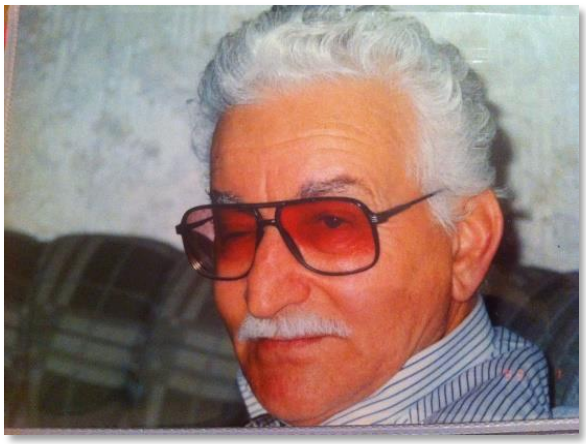
ÖSYM YDS (Rusça) Türkiyə birinciliyinə (2014-2018) və NATO-nun Təhlükəsizlik Sertifikatına sahibdir.

Türkiyədə işlədiyi dövrdən etibarən 8 magistr və 3 fəlsəfə doktoru tələbəsinə elmi rəhbərlik etmişdir. Bu müddət ərzində bakalavr, magistr və fəlsəfə doktoru tələbələrinə Ümumi Fizika, Bərk cisim fizikası, Yarımkeçiricilər optikası, Kvant optikası, Kristal dinamikası, Kvant elektronikası, Teknik Rusça vs. dərslərini tədris etmişdir.

Prof. Dr. A.M. Qulubəyovun elmi tədqiqat fəaliyətlərinin nəticələri, 50-dən çox məqalə şəklində yerli və xarici SCI-yə daxil olan elmi jurnallarda nəşr olunmuştur.Yerli və xarici ölkələr olmaqla çoxlu sayda konfrans və elmi toplantılarda iştirak etmişdir. Eyni zamanda 4 müəlliflik şəhadətnaməsi almışdır.

Prof. Dr. A.M. Qulubəyov 04.10.2022-cu il tarixindən Trakya Universitetində müqavilə əsasında professor vəzifəsidə işləyir.

aydinulubey@trakya.edu.tr aydinanar@yahoo.co.uk



PROF. DR. VERDİYEV YILMAZ ƏSƏD OĞLU
(1937-2003)

Verdiyev Yılmaz Əsəd oğlu 24 iyul 1937-ci ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur.
1962-ci ildə M. V. Lomonosov adına Moskva Dövlət Universitetinin fizika fakültəsinin məzunu olmuşdur.
1962-1965-ci illərdə Moskvada Nəzəri Eksperimental Fizika İnstitutunun "Nəzəri fizika" laboratoriyasında assistant vəzifəsində işləmişdir.
Verdiyev Yılmaz Əsəd oğlu 1965-ci ildə "Reggi-Pole hipotezi və yüksək enerjidə n hissəciklərin yaradılması" mövzusunda dissertasiya işini müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri namizədi elmi dərəcəsini və 1973-cü uldə "Helisity Qrupunun genişləndirilməsi" mövzusunda dissertasiya işini müdafiə edərək fizika-riyaziyyat elmləri doktoru elmi dərəcəsini almışdır. 1977-ci ildə professor olmuşdur.
1972-1992-ci illərdə AMEA Fizika İnstitutunun "Kvant sahələri nəzəriyyəsi" laboratoriyasının müdiri olmuşdur.
Prof. Dr. Verdiyev Yılmaz Əsəd oğlu 1992-ci ildə Trakya Universitetinin dəvətilə Fən-Ədəbiyyat fakültəsinin Riyaziyyat bölümündə professor vəzifəsində işə başlamış və ömrünün sonuna kimi (2003-cü il) həmin Universitetdə

tələbələrə Elementar hissəciklər və riyazi fizikadan dərs demişdir. Elementar hissəciklər və riyazi fizika sahələri üzrə 49 məqalə, 3 kitab və 18 tezis dərc etdirmişdir.
Nəzəri və riyazi fizika sahəsində dünyada tanınan Prof. Dr. Verdiyev Yılmaz həm də dilçilərimizin bugünə qədər xəbərsiz qaldığı "Ləhcə farkımız fərqimizdədir" adlı unikal bir araşdırmanın müəllifidir. Çünki bu kitabında Yılmaz Əsədoğlu öz bənzərsiz alim təfəkkürünü həm də ortaq türkcənin gerçəkliyə çevrilməsi probleminə yönəltmişdi. Bundan başqa Yılmaz Əsədoğlu "Bir fizikin xatirələri və düşüncələri" kitabının da müəllifidir.
Prof. Dr. Verdiyev Yılmaz Əsəd oğlu 2003-cü ildə Türkiyədə vəfat etmişdir.

DOSENT. DR. YUSİFOV İSMAİL MUSA OĞLU

Yusifov İsmail Musa oğlu 1973-cü ildə M.V. Lomonosov ad. MDU-nun fizika fakultəsindən "Astronom" ixtisası ilə məzun olmuş və həmin ildən də Y. Məmmədəliyev adına Şamaxı Astrofizika Rəsədxanasının "Ulduz atmosferi fizikası" laboratoriyasında əmək fəaliyyətinə başlamışdır.

İ.M. Yusifov 1982-ci ildən Azərbaycan EA Fizika institutunun Astrofizika laboratoriyasında işləyir. Namzədlik dissertasiyasını İ. M. Yusifov 1984-cü ildə Moskvada, Kosmik Tədqiqatlar İnstitutunda (ИКИ) Astrofizika ixtisası üzrə müdafiə etmişdir.

İ.M. Yusifovun əsas tədqiqat obyektləri ulduz təkamülünün son məhsulları olan neytron ulduzlar (pulsarlar), ifrat yeni ulduz qalıkları və Galaktikanın strukturasıdır. İşlədiyi müddət ərzində bu sahədə yerli və xarici jurnallarda 60-dan çox məqalə, məruzə və texniki hesabat çap etdirmişdir. Bu məqalələrə 250-dən çox istinad vardır.

Yüksək kvalifikasiyalı mütəxəssis olan Yusifov İ.M. tədqiqatlarında yeni texnika və texnalogiyanı geniş tətbiq edir və lazım olan bütün hesablama işlərini özü tərfindən hazırlanan proqramlarla aparır.

Bizdə, respublikada radioteleskop yoxdur. Laboratoriyada aparılan tədqiqatlarda istifadə olunan materiallar isə əsasən xaricdə aparılmış radioastronomik müşahidə nəticələridir. Tədqiqatları praktik radioastronomiya sahəssində də apara bilmək üçün 1996-da birgə radioastronomik tədqiqatlar barədə TÜBİTAK və AMEA Fizika institutu arasında saziş imzalandı və bu saziş çərçivəsində Yusifov İ.M. birgə tədqiqatlar üçün 1996-da TÜBİTAKa (Türkiyə) ezam olundu. Ezamiyyət müddətində İ.M. Yusifovun həm nəzəri və həm də praktik radioastronomiya mövzusunda 30-a yaxın məgalə və məruzəsi çap olundu. Türkiyənən ilk radioteleskopunun layihələşdirilməsində, inşasında, nizamlanmasında fəal iştirak edən və teleskopun proqram təchizatını da hazırlayan Yusifov İ.M., 2008-də layihə tamamlanıb və teleskop işə başlayandan sonra əvvəlki iş yerinə dönmüşdür. Bu sahədki fəaliyyətləri yüksək dəyərləndirilərək, İ.M. Yusifov Türk Astronomi Dərnəgi və Erciyes Universiteti Rektorluğu tərəfində yazılı surətdə təşəkkürnamə ilə təltif olunmuşdur.

Yusifov İ.M. "Bilik" cəmiyyətinin üzvü olmuş, elmi-texniki biliklərin təbliğ edilməsində fəal iştirak etmiş və buna görə də cəmiyyətin fəxri-fərmanı ilə təltif olunmuşdur.

Yusifov İ.M. 2013-cü ildə vəfat etmiş və Bakıda dəfn olunmuşdur.

PROF. DR. MƏHƏRRƏM Z. ZƏRBƏLİ
(MƏHƏRRƏM ZƏRBƏLİ OĞLU ZƏRBƏLİYEV)
Maharram_z@yahoo.com

Məhərrəm Zərbəli 16 sentyabr 1955-ci ildə Qazıməmməd rayonu Qubalı kəndində anadan olmuş və 1981-ci ildə Azərbaycan Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsini "Yarımkeçiricilər və dielektriklər" ixtisası üzrə bitirmişdir. İxtisası üzrə əmək fəaliyyətinə 1981-cü il mart ayından SSRİ Müdafiə Sənayesi Nazirliyinin Tətbiqi Fizika İnstitutu Bakı filialında fizik mühəndisi vəzifəsində başlamış və 1985-ci il dekabr ayından Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Fizika İnstitutuna keçmişdir. AMEA Fizika İnstitutunda aparıcı elmi işçi vəzifəsinə qədər yüksəlmişdir.

1987-ci ildə AMEA Fizika İnstitutunun aspiranturasına qəbul olunmuş və 1991-ci ildə "InSe, GaSe və GaS laylı yarımkeçiricilərinin səthi və həcmi fotokeçiriciliyi" mövzusunda namizədlik dissertasiyasını müdafiə edərək (elmi rəhbərləri Prof. Dr. R.A.Süleymanov və Dr. M.Ö. Qocayev) fizika-riyaziyyat elmləri namizədi elmi dərəcəsi almışdır. Məhərrəm Zərbəli Fizika İnstitutunda 1991-ci ildən elmi işçi, 1996-cı ildən böyük elmi işçi, 2006-cı ildən aparıcı elmi işçi vəzifələrində çalışmışdır .

Məhərrəm Zərbəli 2005-ci il sentyabr ayından 2006-cı il iyun ayına qədər Türkiyənin TÜBİTAK araşdırma mərkəzinin NATO PC-B proqramı ilə Türkiyə Cumhuriyəti Harran Universitetində çalışmış və 2006-cı il noyabr ayından Harran Universitetinə dəvət olunmuşdur.

Prof. Dr. Məhərrəm Zərbəli Harran Universitetində işlədiyi müddətdə aşağıdakı mövzular üzrə elmi tədqiqat işləri ilə məşğul olmuşdur:

1. Laylı yarımkeçiricilərin səth xassələri (*Surface properties of layered semiconductors*)
    a. Spektrin ultrabənövşəyi bölgəsi fotokeçiriciliyi (Ultraviolet photoconductivity)
    b. Ultrabənövşəyi detektorlar və cihazlar (ultraviolet detectors and devices)
    c. Laylı yarımkeçiricilərdə günəş batareyasının istehsalı (Solar cells on the base of layered semiconductors)
    d. Laylı yarımkeçiricilərdə dərin eksiton səviyələri (Deep exciton states in layeredsemiconductors)
2. Laylı yarımkeçiricilərin səth özəlliklərinin Skanirə edən Tunel Mikroskopu (STM) spektroskopiyası metodu ilə öyrənilməsi (Scanning Tunnelling Microscope spectroscopyof layer semiconductors)
3. A^3B^6, $A^1B^2C^6_2$, $A^3_2B^6_3$ yarımkeçirici nazik təbəqli materiallarının bir neçə üsulla hazırlanması və bu yarımkeçiricilərin fiziki, optik və elektrik xassələrinin öyrənilib müqayisə edilməsi (Preparation of $A^{III}B^{VI}$, $A^IB^{II}C^{VI}_2$, $A^{III}_2B^{VI}_3$semiconductor thin film materials via several method and investigation of physical and electronically properties of these semiconductors)
4. Sol-Gel üsulu ilə nazik təbəqələrin hazırlanması və bu əsasda günəş batareyalarının istehsalı (Thin film preparation by sol-gel method and on these base solar cells fabrication)
    a. Yarımkeçirici nazik təbəqələrin alınması və onların əsasında günəş batareyalarının hazırlanması (preparation of semiconductors thin films and solar cells fabrication on base of these films)
    b. Maqnit nazik təbəqələrin hazırlanması (preparation of magnetic thin films)

Prof. Dr. Məhərrəm Zərbəli Harran Universitetinin Fizika Bölümündə işlədiyi müddətdə elmi tədqiqat laboratoriyası qurmaqla bərabər bakalavr və magistr tələbələrinə eksperimental fizika çalışmalarında rəhbərlik etmiş və çok sayda lahiyələrdə yer almışdır. Universitetin Araşdırma Fondunun dəstəyi ilə iştirak etdiyi layihələr və layihələrdə vəzifəsi aşağıdakı kimi sıralanmışdır:

1. **15092** Sol-Gel metodu ilə $CuInSe_2$ yarımkeçirici nazik təbəqələrin hazırlanması və fiziksel fiziki xassələrinin tədqiqi, Ali təhsil müəssisələri tərəfindən dəstəklənən elmi tədqiqat layihəsi, 15.09.2015 – 29.09.2016 (ULUSAL), icraçı,
2. **17003** Al/n-ZnO:Mg/p-Si qovşaq diodunun istehsalı və xarakteristikası, Ali təhsil müəssisələri tərəfindən dəstəklənən elmi tədqiqat layihəsi; Tədqiqatçı,24.02.2017- 07.12.2017 (ULUSAL)
3. **13095** Sol-Gel metodu ilə Cu əlavə edilmiş ZnS və Mg əlavə edilmiş ZnO nazik təbəqələrin struktur, optik və elektrik xassələri, tədqiqatçı, 28.05.2014-28.12.2015,
4. **K13018** Nanomaqnetizm üzrə Beynəlxalq Konfrans, ICNM, 2013.24.04.2013-08.10.2015, tədqiqatçı,
5. **19332** Kesterit əsaslı nazik təbəqə günəş batareyalarının hazırlanması və inkişafı, tədqiqatçı, 31.12.2019
6. **17155** Yüksək təzyiq altında tavlamanın sulfidli yarımkeçirici birləşmələrə təsirinin tədqiqi, tədqiqatçı, 21.08.2017 – 22.02.2019.

Bunlardan əlavə Türkiyə miqyasındakı layihələrdə də çalışmaları ilə yer almışdır. Günəş batareyaları mövzusunda Harran Universitetin iki DPT layihəsində tədqiqatşı olaraq yer almışdır.

Bütün bunlara əlavə olaraq TUBİTAK dəstəyi və Türkiyənin Şişə-Cam şirkətinin dəstəyi ilə SANTEZ layihəsində yer almışdır. Bu layihələrdəki iştirakı çox saylı məqalə və hesabatlarda öz əksini tapmışdır.

Yuxarıda göstərilən elmi tədqiqatların hamısını şəxsi iştirakı ilə və tələbələrinin iştirakı ilə yerinə yetirmşdir. Məhərrəm Zərbəlinin Fizika Bölümündə istər öz rəhbərliyində və istərsə başqa elmi rəhbərlərin çox sayda magistr və doktora tələbələrinin çalışmalarında töhvəsi olmuşdur. Hətta əlaqədə olduğu digər universitetlərin doktora tələbələri ilə çalışmalara katkı saxlamışdır.

Bütün bu söylənənlər Məhərrəm Zərbəli tərəfindən beynəlxalq dərgilərdə yayımlanmış 30-dan çok məqlədə və bir o qədər də beynəlxalq elmi konfranslarada məruzələrdə oz əksini tapmışdır. Bunlara əlavə olaraq 2 patentin müəllifidir.

Prof. Dr. Məhərrəm Zərbəli 2022-ci il sentyabr ayında Harran Universitetindən təqaüdə ayrılmışdır.

ISSN 1028-8546

Section C: Conference, 2023
Türkiye

MÜNDƏRİCAT

1. Xarici maqnit sahəsi olmayan keçirici anizotrop mühitlərdə temperatur qradiyenti olanda eninə və uzununa termomaqnit dalğalarının həyəcanlanması
E.R. Həsənov, Ş.Q. Xəlilova, R.K. Mustafayeva 3

2. Elektrik qaz boşalmasında modifikasiya olunmuş yarımkeçirici-polimer kompozitlərində struktur dəyişikliklərinin tədqiqi
Ş.M. Əhədzadə, E.Z. Quliyev 9

3. Elektroenergetikanın ekoloji problemlərinin tədqiqində istifadə olunan üsullar və texnoloji qurğular
A.M. Həşimov, K.B. Qurbanov, H.C. Hüseynov, L.Ç. Süleymanova, S.A. Hüseynova, V.M. Hacıyeva 14

4. Transformator yağının xassələri ilə onun element analizi arasındakı qarşılıqlı əlaqəsi
T.K. Nurubəyli, Ə.N. Sultanlı, N.Ş. Cəfər, Ə.A. Abdullayeva 23

5. Ətraf mühitin ekoloji problemləri üzrə icmal
A.M. Həşimov, K.B. Qurbanov, H.C. Hüseynov, L.Ç. Süleymanova, Z.A. Tağıyeva, S.S. Əhədova 28

6. **"**Günəş-Yer-İnsan" ekoloji sistemində maqnit amili və onun insana təsirinin biofizikası
N.N. Əliyev, G.N. Hüseynova 40

7. İstilik elektrik stansiyalarının sinxron və asinxronlaşdırılmış turbogeneratorlarında nasos və ventilyator qurğularının ötürücü iş xüsusiyyətləri
Ülkər İzzət qızı Aşurova 44

8. Herbig Ae/Be ulduzlarının ümumi xarakteristikaları
F.S. Hüseynova 50

9. $Cu_{1.04}Fe_{1.12}Te_{1.84}$ kristalının aşağı temperaturlarda istilik tutumu
A.M. Abdullayev, M.C. Nəcəfzadə, A.İ. Əhmədov, İ.N. İbrahimov 57

10. $CoGa_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ kristallarının maqnitlənməsi, maqnit həssaslığı və histerezisi
A.M. Abdullayev, İ.N. İbrahimov, R.Ə. Əlizadə, M.C. Nəcəfzadə, A.İ. Əhmədov 63

11. Aqaroza-su sistemində geləmələgəlmə prosesinə müxtəlif qeyri-üzvi duzların təsirinin optik metodla öyrənilməsi
E.Ə. Məsimov, A.R. İmaməliyev, A.H. Əsədova 67

12. $TlGaSe_2$<Pr> kristallarının fotoelektrik xassələri
P.H. İsmayılova, A.İ. Həsənov, A.A. Hacıyeva, N.Z. Həsənov, S.S. Abdinbəyov, M.C. Nəcəfzadə 70

13. CdS-də keçid cərəyanları
N.N. Lebedeva, V.İ. Orbux, Ç.Q. Axundov, Q.M. Eyvazova, İ.M. Əfəndiyeva 73

14. Polimer matrisli kompozitlərdə fazalararası qarşılıqlı təsirin diferensial skan kalorimetriya (DSK) və termoqravimetrik analiz (TGA) metodları ilə tədqiqi
T.D. İbrahimov, Z.A. Dadaşov, G.X. Hüseynova, A.F. Nuraliyev, F.F. Yəhyayev 77

15. Determination of the optical properties of muscle phantom by Kubelka-Munk function approach
Hüseyin Okan Durmuş, Baki Karaböce & Mirhasan Yu. Seyidov 83

16. Thermoelectric properties of solid solution of $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ ($0 \le x \le 10$)
V.I. Eminova, S.Z. Damirova 93

17. Phase equilibrium of La – Ga – Se and dielectric spectroscopy of single-crystal $LaGaSe_3$
S.N. Mustafaeva, M.M. Asadov, V.F. Lukichev 97

18. Characteristics of secondary electron emissions in cold plasmas with nanoporous zeolite cathode
E. Koç, S. Ozturk Koç, B.G. Salamov 106

19. Investigation of the prepared MW-CNT/polymer composites as gas-sensitive active elements for the fabrication of gas sensors
Huseynov Asgar, Mammadova Samira, Zeynalov Eldar 110

20. Comparative heat transfer method
N.M. Abdullayev, S.R. Azimova 113

21. I-V curve of granular superconductor using long Josephson junction approach
I.N. Askerzade, D. Matrasulov, R.T. Askerbeyli, M. Salati 115

22. Half-metallic ferromagnetism in V-doped ZnSe: DFT study
Vusala Nabi Jafarova 118

23. Heat capacity of one-dimensional Kane oscillator
A.M. Babanli 123

24. Tellurium adsorbed on $TlInTe_2$ structures for advanced energy applications
S.S. Huseynova, S.O. Mammadova 126

25. Change in the electron density of Sb_2Te_3 as a result of the formation of nanoobjects
S.R. Azimova, N.M. Abdullaev, N.A. Abdullaev, H.M. Asgerov, H.V. Orujova, S.Sh. Gahramanov, A.Sh.Gahramanov, K.Sh.Gahramanov 129

26. Mechanism of influence of surface structural defects on the photovoltaic effect in a uniaxial $CuAlS_2$ crystal with a superlattice
Gasimoglu Ibrahim 134

27. On the "fuzzy" essence of the microcosm in the radiation of an absolutely black body: the two-valued Aristotle and the many-valued Lutfi Zade of logic. Planck's formula
Elmira A. Isayeva 138

28. Magnetic properties of ternary layered $TlGa_{0.977}Fe_{0.023}Se_2$ dilute magnetic semiconductor crystal
Faik Mikailzade, Serdar Gökçe, Tofig G. Mammadov, Arzu I. Najafov, Savaş Berber, Mirhasan Yu. Seyidov 142

29. Tunable phononic waveguide: finite element analysis
Zafer Ozer, Amirullah M. Mamedov, Ekmel Ozbay 150

30. Preparation of thin films of some semiconductor materials by the sol-gel method
Maharram Z. Zarbaliyev 155

31. The structural, mechanical, electronic and optical properties of AMn_7O_{12} (A= Ca, Cd, Sr) perovskite compounds
Yilmaz Şener, Husnu Koc, Amirullah M. Mamedov, Ekmel Ozbay 157

32. Dielectric spectroscopy study of native spider silk: phase transitions in protein chains
F.M. Salehli 166

33. Türkiyədə fizika sahəsində çalışan azərbaycanlı fiziklərin qısa tərcümeyi-halı (əlifba sırası ilə siyahı)
167

www.physics.gov.az