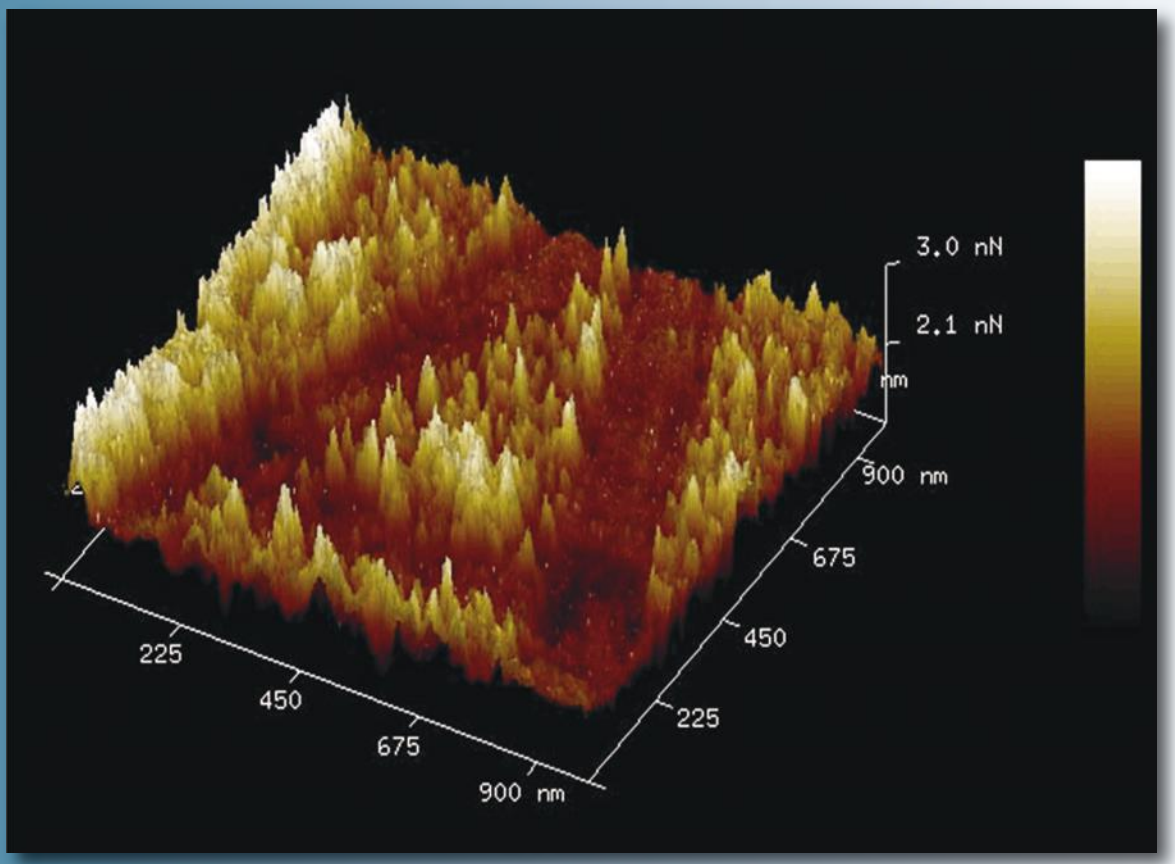
ISSN 1028-8546

Volume XXI, Number 4
Section: Az
December, 2015

# Azerbaijan Journal of Physics

# Fizika




www.physics.gov.az

G.M. Abdullayev Institute of Physics
Azerbaijan National Academy of Sciences
Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences

Published from 1995
Ministry of Press and Information
of Azerbaijan Republic,
Registration number 402, 16.04.1997

**ISSN 1028-8546**
vol. XXI, Number 04, 2015
Series: Az

# *Azerbaijan Journal of Physics*

# *FIZIKA*

*G.M.Abdullayev Institute of Physics*
*Azerbaijan National Academy of Sciences*
*Department of Physical, Mathematical and Technical Sciences*

**HONORARY EDITORS**

Arif PASHAYEV

**EDITORS-IN-CHIEF**

Nazim MAMEDOV Chingiz QAJAR

**SENIOR EDITOR**

Talat MEHDIYEV

**INTERNATIONAL REVIEW BOARD**

Ivan Scherbakov, Russia
Kerim Allahverdiyev, Azerbaijan
Mehmet Öndr Yetiş, Turkey
Gennadii Jablonskii, Buelorussia
Rafael Imamov, Russia
Vladimir Man'ko, Russia
Eldar Salayev, Azerbaijan
Dieter Hochheimer, USA
Victor L'vov, Israel
Vyacheslav Tuzlukov, South Korea
Majid Ebrahim-Zadeh, Spain
Firudin Hashimzadeh, Azerbaijan
Anatoly Boreysho, Russia
Mikhail Khalin, Russia
Hasan Bidadi, Tebriz, East Azerbaijan, Iran
Natiq Atakishiyev, Mexico
Maksud Aliyev, Azerbaijan
Arif Hashimov, Azerbaijan
Javad Abdinov, Azerbaijan
Bagadur Tagiyev, Azerbaijan
Tayar Djafarov, Azerbaijan
Talat Mehdiyev, Azerbaijan
Vali Huseynov, Azerbaijan
Ayaz Baramov, Azerbaijan
Tofiq Mammadov, Azerbaijan
Salima Mehdiyeva, Azerbaijan
Shakir Nagiyev, Azerbaijan
Rauf Guseynov, Azerbaijan
Almuk Abbasov, Azerbaijan
Yusif Asadov, Azerbaijan

**TECHNICAL EDITORIAL BOARD**

Senior secretary Elmira Akhundova, Nazli Guseynova, Sakina Aliyeva,
Nigar Akhundova, Elshana Aleskerova, Rena Nayimbayeva

**PUBLISHING OFFICE**

131 H.Javid ave, AZ-1143, Baku
ANAS, G.M.Abdullayev Institute of Physics

Tel.: (99412) 539-51-63, 539-32-23
Fax: (99412) 447-04-56
E-mail: jophphysics@gmail.com
Internet: www.physics.gov.az

It is authorized for printing:

Published at "**SƏRQ-QƏRB**"
17 Ashug Alessger str., Baku
Typographer : Aziz Gulaliyev

Sent for printing on: __.__. 201_
Printing approved on: __.__. 201_
Physical binding:_____
Number of copies:_____200
Order:_____

# MAQNİTLƏŞMİŞ MÜHİTDƏ NEYTRİNO-ANTİNEYTRİNO CÜTLƏRİNİN ELEKTRON-POZİTRON CÜTLƏRİNƏ ANNİHİLYASİYASI VƏ KOSMİK ŞÜALARDA RAST GƏLİNƏN POZİTRON ARTIQLIĞI

**RƏSMİYYƏ E. QASIMOVA**

*AMEA Şamaxı Astrofizika Rəsədxanası, Günəş fizikası şöbəsi; Bakı Dövlət Universiteti, Nəzəri fizika kafedrası; Qafqaz Universiteti, Fizika kafedrası, Bakı, Azərbaycan; Naxçıvan Dövlət Universiteti, Ümumi və nəzəri fizika kafedrası, Naxçıvan, Azərbaycan*

E-mail: gasimovar@yahoo.co.uk

Müəyyən edilmişdir ki, güclü maqnitləşmiş kosmik obyektlərdə neytrino-antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası prosesləri zamanı neytrinolar maqnit sahəsi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsinin əksi istiqamətində hərəkət etdikdə pozitronların doğula biləcəyi ən aşağı səviyyə birinci Landau səviyyəsi və bu halda elektronların doğula biləcəyi ən aşağı səviyyə isə əsas Landau səviyyəsidir. Bu halda əsas Landau səviyyəsində yaranan elektronlar maqnitləşmiş mühitdə və ya onun səthində qalır, birinci Landau səviyyəsində yaranan pozitronlar isə maqnitləşmiş mühiti tərk edərək kosmosa sıçrayır və nəticədə bu, kosmik şüaların tərkibində pozitron artıqlığına gətirib çıxarır. Alınmış bu nəticə PAMELA və AMS-02 eksperimentləri tərəfindən kosmik şüaların tərkibində qeydə alınmış pozitron artıqlığını izah etməyə imkan verir.

**Açar sözlər:** əsas Landau səviyyəsi, aşağı Landau səviyyələri, maqnit sahəsi, neytrino-antineytrino annihilyasiyası, elektron-pozitron cütləri.

**PACS:** 13.15. +g, 13.88.+e, 95.30.Cq, 97.10.Ld.

## 1. Giriş.

Adi neytron ulduzlarının, o cümlədən pulsarların səthində ~$10^{12}$-$10^{13}$Qs tərtibli maqnit sahələrinə rast gəlinir [1, 2]. Maqnitarlar adlanan anomal rentgen pulsarlarında və yumşaq qamma şüaların təkrarlayıcılarında ~$10^{14}$-$10^{15}$Qs tərtibli maqnit sahələri müşahidə olunur [3-7]. İfratyeni ulduzların partlayışı zamanı yaranan maqnit sahələrinin intensivliklərinin qiyməti ~$10^{15}$-$10^{17}$Qs tərtibində olur [8-13]. Qamma şüaların sıçrayışlı alışmasının kosmoloji mənbələrində ~$10^{16}$-$10^{17}$Qs intensivlikli maqnit sahələri yaranır [14-16]. Qeyri-mərkəzi ağır ion toqquşması zamanı reaksiya müstəvisinə perpendikulyar istiqamətdə yaranan maqnit sahəsinin intensivliyi RHİC eksperimentində ~$10^{17}$Qs tərtibində, LHC eksperimentlərində isə ~$10^{18}$Qs tərtibində qiymətləndirilir [17-23]. Böyük Adron Kollayderinin ALİCE experimentində qurğuşun ionlarının toqquşması zamanı yaranan maqnit sahəsinin intensivliyinin, hətta, ~$10^{20}$Qs tərtibinə çatması istisna olunmur [18, 19]. [24-34] işlərində ~$10^{20}$Qs -dan daha yüksək tərtibli kifayət qədər güclü və ifratgüclü maqnit sahələrinin mümkün varlığı müzakirə olunur. Məsələn, bizim Kainatda inflyasiyanın başlanğıcında ~$10^{47}$Qs tərtibli maqnit sahələrinin [28, 31] və ifratkeçirici kosmik məftillər ətrafında ~$10^{47}$Qs - ~$10^{48}$Qs tərtibli maqnit sahələrinin mümkün varlığı [26, 27] istisna olunmur. Yuxarıda qeyd olunan kifayət qədər güclü və ifratgüclü maqnit sahələrinin mövcud olması və ya mümkün varlığı yüksək enerjili elementar zərrəciklərin qarşılıqlı təsirinin intensiv maqnit sahələrində araşdırılması üçün stimul yaradır.

Son zamanlar aparılan PAMELA və AMS-02 eksperimentlərinin nəticələri kosmik şüaların tərkibində pozitron artıqlığının olduğunu göstərir [35-37]. Kosmik pozitronarın və elektronların mənbələrindən biri də

$$\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+ \qquad (1)$$

reaksiyası üzrə baş verən neytrino və antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası proseslərdir. (1) reaksiyası üzrə baş verən proseslərdə son halda elektronlar və pozitronlar iştirak edir. Elektronun və ya pozitronun kütləsi Şvinqer sahə intensivliyinin qiymətini $H_0 = m_e^2 c^3 / e\hbar = 4{,}41\times10^{13} Qs$ müəyyən etdiyinə görə ifratgüclü maqnit sahələri bu proseslərə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Bu cür güclü sahələrdə elektronun və ya pozitronun bir yüklü zərrəcik olaraq maqnit sahəsi hesabına qazandığı enerji və maqnit sahəsi ilə elektronun və ya pozitronun spini arasındakı qarşılıqlı təsir enerjisi onun sükunət enerjisi tərtibində və ya ondan böyük olur. Bu səbəbdən kifayət qədər güclü və ifrat güclü maqnit sahələrində sahə və spin effektləri nəzərə alınmalıdır. Yüksək enerjili kosmik elektronların və pozitronların əsas mənbələrindən biri olmaq, $\gamma$ -şüaların sıçrayışlı alışmasına təkan vermək və kosmik şüaların tərkibində rast gəlinən pozitron artıqlığını izah etmək baxımından güclü maqnitləşmiş kosmik obyektlərdə neytrino-antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası proseslərinin tədqiqi xüsusi aktuallıq kəsb edir. Bu baxımdan (1) reaksiyası üzrə gedən proseslərin bir sıra aspektləri müxtəlif müəlliflər tərəfindən [38-51] işlərində tədqiq olunmuşdur. Lakin həmin işlərdə maqnitləşmiş mühitdə neytrino-antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası prosesləri nəticəsində elektronların və pozitronların cüt şəklində doğula bilməsi mümkün olan ən aşağı Landau səviyyələri müəyyən edilməmiş və buradan alınan nəticələrin kosmik və astrofiziki tətbiqləri araşdırılmamışdır. Təhlillər göstərir ki, maqnitləşmiş mühitdə neytrino və antineytrinolar sahə üzrə müxtəlif kombinasiyalarda qarşı-qarşıya olan istiqamətlərdə hərəkət edərkən neytrino-antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası prosesləri nəticəsində elektronlar və pozitronlar eyni zamanda cüt şəklində ixtiyari aşağı Landau səviyyəsində doğula bilmir.

Bu işdə məqsəd maqnitləşmiş mühitdə neytrino və



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

antineytrinoların sahənin intensivlik vektoru ilə üst-üstə düşən z-oxu üzrə bir-birinə əks istiqamətlərdə hərəkət edərkən neytrino-antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası prosesləri nəticəsində elektronların və pozitronların cüt şəklində doğula bilməsi mümkün olan ən aşağı Landau səviyyələrini müəyyən etmək və alınan nəticələrin kosmik və astrofiziki tətbiqlərini göstərməkdir.

## 2. Maqnitləşmiş mühitdə neytrino-antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası proseslərinin effektiv kəsiyi

Maqnitləşmiş mühitdə neytrino-antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası proseslərinin effektiv kəsiyi aşağıdakı ifadə ilə verilir:

$$\sigma = \frac{G_F^2}{4\pi} m_e^2 \frac{H}{H_0} \frac{1}{1-\sin\vartheta\sin\vartheta'\cos(\alpha-\alpha')-\cos\vartheta\cos\vartheta'} \times$$
$$\times \sum_{n,n'=0}^{\infty} \sum_i \frac{E_i E_i'}{|E_i' p_{zi} - E_i p_{zi}'|} (1-f_{e^-})(1-f_{e^+}) R_0 . \qquad (2)$$

Burada $G_F$ - zəif qarşılıqlı təsirin Fermi sabiti, $m_e$- elektronun (pozitronun) kütləsi, $H$- maqnit sahəsinin intensivliyinin qiyməti, $H_0 = m_e^2/e$ - Şvinqer sahə intensivliyi ($\hbar = c = 1$ olan vahidlər sistemində), $\vartheta(\vartheta')$ və $\alpha(\alpha')$, uyğun olaraq, neytrinonun (antineytrinonun) impulsunun polyar və azimutal bucağı, $E_i(E_i')$ və $p_{zi}(p_{zi}')$, uyğun olaraq, pozitronun (elektronun) enerjisi və impulsunun üçüncü komponenti, $f_e$ və $f_{e-}$ , uyğun olaraq, elektron və pozitron qazlarının Fermi-Dirak paylanma funksiyasıdır.

Qeyd etmək lazımdır ki, biz bu işdə $(+---)$ siqnaturalı psevdoevklid metrikasından və $\hbar = c = k_B = 1$ olan vahidlər sistemindən istifadə edirik. Burada $k_B$ - Bolsman sabitidir. (2) düsturuna daxil olan $R_0$ kəmiyyəti elektronun və pozitronun spinlərinin eninə polyarlaşmaları halında $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ proseslərinin amplitudunun (və ya matris elementinin) modulunun kvadratından alınan kəmiyyət olub, aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$R_0 = a_1 I_1^2 + a_2 I_2^2 + a_3 I_3^2 + a_4 I_4^2 + a_5 I_1 I_2 + a_6 I_1 I_3 + a_7 I_1 I_4 + a_8 I_2 I_3 + a_9 I_2 I_4 + a_{10} I_3 I_4 . \qquad (3)$$

Burada $\alpha_i$ ($i$=1,2, ...,10) $a_i$ $(i = 1, 2, \ldots, 10)$ kəmiyyətləri neytrinonun və antineytrinonun impulsunun polyar və azimutal bucaqlarını özündə ehtiva edən $d_i$ bucaq əmsallarından və elektronun və pozitronun spin kvant ədədlərini, enerjilərini, impulslarının üçüncü komponentlərini, kütləsini, maqnit sahəsinin intensivliyinin qiymətini və digər parametrləri özündə ehtiva edən $t_i$ spin əmsallarından düzəldilmiş yeni əmsallardır:

$$a_1 = 2(d_2 - d_6)t_4 , \qquad (4)$$
$$a_2 = 2(d_2 + d_6)t_5 , \qquad (5)$$
$$a_3 = d_1 t_2 + d_3 t_7 - 2d_5 t_{11} \qquad (6)$$
$$a_4 = d_1 t_1 + d_3 t_6 - 2d_5 t_{10}, \qquad (7)$$
$$a_5 = 4d_4 t_9 , \qquad (8)$$
$$a_6 = -2[(d_7 - d_{10})t_{13} - (d_8 + d_9)t_{17}] , \qquad (9)$$
$$a_7 = -2[(d_7 - d_{10})t_{14} - (d_8 + d_9)t_{18}] , \qquad (10)$$
$$a_8 = -2[(d_7 + d_{10})t_{15} + (d_8 - d_9)t_{19}], \qquad (11)$$
$$a_9 = -2[(d_7 + d_{10})t_{16} + (d_8 - d_9)t_{20}] , \qquad (12)$$
$$a_{10} = 2[d_1 t_3 + d_3 t_8 - d_5 t_{12}]. \qquad (13)$$

Burada $d_i$ (i=1, 2, …, 10) əmsalları aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$d_1 = 1 + \cos\vartheta\cos\vartheta' , \qquad (14)$$
$$d_2 = 1 - \cos\vartheta\cos\vartheta' , \qquad (15)$$
$$d_3 = \sin\vartheta\sin\vartheta'\cos(\alpha-\alpha'), \qquad (16)$$
$$d_4 = \sin\vartheta\sin\vartheta'\cos(\alpha+\alpha'-2\varphi), \qquad (17)$$
$$d_5 = \cos\vartheta + \cos\vartheta' , \qquad (18)$$
$$d_6 = \cos\vartheta - \cos\vartheta' , \qquad (19)$$
$$d_7 = \sin\vartheta\cos(\alpha-\varphi) + \sin\vartheta'\cos(\alpha'-\varphi), \qquad (20)$$
$$d_8 = \sin\vartheta\cos(\alpha-\varphi) - \sin\vartheta'\cos(\alpha'-\varphi), \qquad (21)$$
$$d_9 = \cos\vartheta\sin\vartheta'\cos(\alpha'-\varphi) + \cos\vartheta'\sin\vartheta\cos(\alpha-\varphi). \qquad (22)$$
$$d_{10} = \cos\vartheta\sin\vartheta'\cos(\alpha'-\varphi) - \cos\vartheta'\sin\vartheta\cos(\alpha-\varphi). \qquad (23)$$

$R_0$ funksiyasına daxil olan $I_1$, $I_2$, $I_3$ və $I_4$ funksiyaları müxtəlif indeksli Lyaher funksiyaları olub, uyğun olaraq, aşağıdakı şəkildə təyin edilir:

$$I_1 = I_{n,n'-1}(x), \qquad (24)$$
$$I_2 = I_{n-1,n'}(x), \qquad (25)$$
$$I_3 = I_{n-1,n'-1}(x), \qquad (26)$$
$$I_4 = I_{n,n'}(x). \qquad (27)$$

Ümumi halda, Lyaher funksiyası aşağıdakı kimi təyin olunur [52, 53]:

$$I_{nn'}(x)=\left(\frac{n'!}{n!}\right)^{1/2} e^{-x/2}x^{(n-n')/2}L_{n'}^{n-n'}(x). \quad (28)$$

Burada $L_{n'}^{n-n'}(x)$ çoxhədlisi

$$x=\frac{\omega^2\sin^2\vartheta+\omega'^2\sin^2\vartheta'+2\omega\omega'\sin\vartheta\sin\vartheta'\cos(\alpha-\alpha')}{2eH} \quad (29)$$

arqumentindən asılı olan Lyaher çoxhədlisidir [54]:

$$L_k^s(x)=\frac{1}{k!}e^x x^{-s}\frac{d^k}{dx^k}\left(e^{-x}x^{k+s}\right). \quad (30)$$

(29) ifadəsində $\omega$ - neytrinonun enerjisi, $\omega'$ isə antineytrinonun enerjisidir. (3) ifadəsindən göründüyü kimi $R_0$ kəmiyyətinə Lyaher funksiyalarının cüt-cüt hasili aşağıdakı müxtəlif kombinasiyalarda daxil olur: $I_1^2$, $I_2^2$, $I_3^2$, $I_4^2$, $I_1I_2$, $I_1I_3$, $I_1I_4$, $I_2I_3$, $I_2I_4$, $I_3I_4$.

### 3. Neytrino və antineytrinolar sahənin intensivlik vektoru ilə üst-üstə düşən $z$ -oxu üzrə bir-birinə əks istiqamətlərdə hərəkət etdikdə proseslərin effektiv kəsikləri

Qeyd etmək lazımdır ki, Lyaher funksiyasının indekslərindən biri və ya hər ikisi mənfi qiymət aldıqda, Lyaher funksiyası sıfra bərabər götürülür [53]. Əsas və aşağı Landau səviyyələrinə uyğun gələn $n$ və $n'$ kvant ədədlərinin $n, n'$=0, 1, 2, 3 qiymətlərindən düzəldilmiş və elektronların və pozitronların müxtəlif Landau səviyyələrində yerləşdiyi hallara uyğun olan ($n, n'$) şəklində aşağıdakı kombinasiyalar mümkündür: (0,0), (0,1), (0,2), (0,3), (1,0), (1,1), (1,2), (1,3), (2,0), (2,1), (2,2), (2,3), (3,0), (3,1), (3,2), (3,3).

Bir çox praktik məsələlərdə $I_1$, $I_2$, $I_3$ və $I_4$ Lyaher funksiyalarının arqumentinin

$$x=0 \quad (31)$$

olan halına rast gəlinir. Məsələn, xarici maqnit sahəsində neytrino-antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası prosesləri zamanı neytrino və antineytrinolar sahənin intensivlik vektoru ilə üst-üstə düşən $z$ -oxu üzrə bir-birinə əks istiqamətlərdə hərəkət etdikdə $x=0$ olur. Bu halda Lyaher funksiyalarının qiyməti ya sıfra, ya da vahidə bərabər olur. Neytrinolar maqnit sahəsi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsinin əksi istiqamətində hərəkət etdikdə, (2) düsturuna uyğun olaraq, proseslərin effektiv kəsiklərini müəyyən edən $R_0$ kəmiyyəti üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$R_0(\vartheta=0,\vartheta'=\pi)=8t_5I_2^2(x=0)=8t_5I_{n-1,n'}^2(x=0). \quad (32)$$

Burada

$$t_5=\frac{1}{8}\left[g_+(1+\nu\nu')-g_-(1-\nu^2)^{1/2}(1-\nu'^2)^{1/2}\zeta\zeta'+2g_\perp(\nu+\nu')\right](1+\zeta\beta)(1-\zeta'\beta') \quad (33)$$

və

$$\nu=\frac{p_z}{E}, \quad (34)$$

$$\nu'=\frac{p_z'}{E'}, \quad (35)$$

$$\beta=\frac{m_e}{\sqrt{E^2-p_z^2}}, \quad (36)$$

$$\beta'=\frac{m_e}{\sqrt{E'^2-p_z'^2}}, \quad (37)$$

$$E=\sqrt{m_e^2+2eHn+p_z^2}, \quad (38)$$

$$E'=\sqrt{m_e^2+2eHn'+p_z'^2}, \quad (39)$$

$$g_\pm=g_V^2\pm g_A^2, \quad (40)$$

$$g_\perp=g_Vg_A, \quad (41)$$

$\zeta$ və $\zeta'$ - uyğun olaraq, pozitronun və elektronun spinlərinin sahə istiqamətində və ya onun əksi istiqamətində proyeksiyaları, $g_V=-0{,}5+2\sin^2\theta_w$, $g_A=-0{,}5$ ($\nu_\mu\tilde{\nu}_\mu\to e^-e^+$ və $\nu_\tau\tilde{\nu}_\tau\to e^-e^+$ prosesləri üçün $g_V=0{,}5+2\sin^2\theta_w$, $g_A=0{,}5$ ($\nu_e\tilde{\nu}_e\to e^-e^+$ prosesi üçün), $\theta_w$ – Vaynberq bucağı, $\sin^2\theta_w\sim 0{,}23$ [55].

(32) ifadəsinə daxil olan $I_{n-1,n'}(x=0)$ funksiyası

$$\Delta n=n-n' \quad (42)$$

fərqinin yalnız

$$\Delta n=+1 \quad (43)$$

şərtini ödəyən $n, n'$ qiymətləri üçün sıfırdan fərqli olub vahidə bərabərdir. $\Delta n=+1$ olduqda

$$R_0(\vartheta=0,\vartheta'=\pi,n,n'=n-1)=8t_5I_{n-1,n-1}^2(x=0)=8t_5. \quad (44)$$

$n, n'$ baş kvant ədədlərinin

$$\Delta n \neq +1 \qquad (45)$$

qiymətləri üçün $I_{n-1,n'}(x=0)$ funksiyası sifra bərabər olduğuna görə

$$R_0(\vartheta = 0, \vartheta' = \pi, n, n' \neq n-1) = 0 \qquad (46)$$

olur və $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ prosesləri qadağan olunub.

Deməli, neytrinolar maqnit sahəsi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsinin əksi istiqamətində hərəkət etdikdə $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ prosesləri hesabına pozitronların və elektronların doğula biləcəyi aşağı Landau səviyyələri aşağıdakılardır: *n=1, n′=0*; *n=2, n′=1*; *n=3, n′=2 v*ə s. Başqa sözlə, neytrinolar maqnit sahəsi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsinin əksi istiqamətində hərəkət etdikdə $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ prosesləri hesabına pozitronların və elektronların doğula biləcəyi aşağı Landau səviyyələri üçün

$$n = n' + 1. \qquad (47)$$

münasibəti ödənilir. Burada *n*=1, 2, 3,... və *n′=0, 1, 2,* .... Beləliklə, təhlillər göstərir ki, neytrinolar maqnit sahəsi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsinin əksi istiqamətində hərəkət etdikdə $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ proseslərinin hesabına pozitronların əsas Landau səviyyəsində doğulması mümkün deyil. Pozitronların doğula biləcəyi ən aşağı səviyyə birinci Landau səviyyəsidir. Bu halda elektronun doğula biləcəyi ən aşağı səviyyə əsas Landau səviyyəsidir. Əsas Landau səviyyəsində yaranan elektronlar üçün $n' = 0, p'_z = 0, \zeta' = -1$ olduğuna görə onların enerjisi öz sükunət enerjisinə $E = m_e$ bərabər olur və həmin elektronlar kinetik enerjiyə və ümumiyyətlə, əlavə enerjiyə malik olmadıqlarına görə yarandıqları güclü maqnitləşmiş mühitdə qalır. Güclü maqnitləşmiş mühit dedikdə, güclü maqnitləşmiş kosmik obyektlər, o cümlədən güclü maqnitləşmiş ulduzlar başa düşülür. Birinci Landau səviyyəsində yaranan pozitronlar isə

$$E = \sqrt{m_e^2 + 2eH + (\omega - \omega')^2} \qquad (48)$$

enerjisinə malik olduqlarına görə mühiti tərk edə bilir. Nəticədə bu pozitronlar kosmosa sıçrayır və yüksək enerjili pozitronlar kimi kosmik şüaların tərkibində elektronlarla müqayisədə üstün pay yaradır.

Neytrinolar maqnit sahəsi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsinin əksi istiqamətində hərəkət etdikdə $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ proseslərinin hesabına pozitronların doğula biləcəyi ən aşağı səviyyənin birinci Landau səviyyəsi və bu halda elektronların doğula biləcəyi ən aşağı səviyyənin əsas Landau səviyyəsi olması belə bir sual ortaya qoyur: neytrinolar maqnit sahəsinin əksi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsi istiqamətində hərəkət edərsə, $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ proseslərinin hesabına pozitronların əsas Landau səviyyəsində ($n = 0, p_z = 0, \zeta = +1,$) doğula bilməsi mümkündürmü? Bu məqsədlə neytrinoların maqnit sahəsinin əksi istiqamətində, antineytrinoların isə maqnit sahəsi istiqamətində hərəkət etdiyi hala baxaq. Bu halda $R_0$ kəmiyyəti üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$R_0(\vartheta = \pi, \vartheta' = 0, n = 0) = 8t_4 I_1^2(x=0) = 8t_4 I_{0,n'-1}^2(x=0) \qquad (49)$$

Burada

$$t_4 = \frac{1}{8}\left[g_+(1+\nu\nu') - g_-(1-\nu^2)^{1/2}(1-\nu'^2)^{1/2}\zeta\zeta' - 2g_\perp(\nu+\nu')\right](1-\zeta\beta)(1+\zeta'\beta'). \qquad (50)$$

Bu düsturda

$$t_4 \sim (1-\zeta\beta) \qquad (51)$$

mütənasibliyinin olması və əsas Landau səviyyəsində olan pozitronlar üçün (36) və (38) ifadələrindən istifadə etməklə $\beta$=1 olduğunun alınması və $t_4$ əmsalının sıfra bərabər olması, yekunda

$$R_0(\vartheta = \pi, \vartheta' = 0, n = 0) = 8t_4 I_{0,n'-1}^2(x=0) = 0 \qquad (52)$$

nəticəsinə gətirib çıxarır.

Beləliklə, neytrinolar maqnit sahəsinin əksi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsi istiqamətində hərəkət edərsə, $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ proseslərinin hesabına pozitronların nəinki əsas Landau səviyyəsində, hətta, onların birinci Landau səviyyəsində və, eyni zamanda, elektronların isə əsas Landau səviyyəsində *(n =1, n′ =0)* doğula bilməsi qadağan olunub. Çünki mənfi indeksli $I_{1,-1}^2$ funksiyasının sıfra bərabər olması səbəbindən

$$R_0(\vartheta = \pi, \vartheta' = 0, n = 1, n' = 0) = 8t_4 I_{1,-1}^2(x=0) = 0 \qquad (53)$$

olur.

## 4. Yekun

Güclü maqnitləşmiş kosmik obyektlərdə (məsələn, güclü maqnitləşmiş ulduzlarda) neytrinolar maqnit sahəsi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsinin əksi istiqamətində hərəkət etdikdə $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ prosesləri hesabına pozitronların əsas Landau səviyyəsində yaranması qadağan olunub və bu halda eyni zamanda cüt şəklində pozitronların doğula biləcəyi ən aşağı səviyyə bi-

rinci Landau səviyyəsi, elektronların doğula biləcəyi ən aşağı səviyyə isə əsas Landau səviyyəsidir. Bu halda əsas Landau səviyyəsində yaranan elektronlar maqnitləşmiş mühitdə və ya onun səthində qalır, birinci Landau səviyyəsində yaranan pozitronlar isə maqnitləşmiş mühiti tərk edərək kosmosa yayılır və nəticədə kosmik şüaların tərkibində pozitron artıqlığına gətirib çıxarır. Alınmış bu nəticə PAMELA və AMS-02 eksperimentləri tərəfindən kosmik şüaların tərkibində qeydə alınmış pozitron artıqlığını izah etməyə imkan verir [15-17].

Neytrinolar maqnit sahəsinin əksi istiqamətində, antineytrinolar isə maqnit sahəsi istiqamətində hərəkət etdikdə $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ proseslərinin hesabına bir tərəfdən pozitronların əsas Landau səviyyəsində, digər tərəfdən eyni zamanda cüt şəklində elektronların əsas, pozitronların isə birinci Landau səviyyəsində doğulması qadağan olunub.

Beləliklə, güclü maqnitləşmiş kosmik obyektlərdə (məsələn, güclü maqnitləşmiş ulduzlarda) neytrinolar və antineytrinolar maqnit sahəsinin intensivlik vektoru ilə üst-üstə düşən $z$ -oxu üzrə bir-birinə əks istiqamətlərdə hərəkət etdikdə $\nu_i + \tilde{\nu}_i \to e^- + e^+$ prosesləri hesabına pozitronların əsas Landau səviyyəsində yaranması qadağan olunubdur. PAMELA və AMS-02 eksperimentlərində müşahidə olunan pozitron artıqlığının mümkün mənbəyi və mexanizmi güclü maqnitləşmiş kosmik obyektlərdə maqnit sahəsi istiqamətində hərəkət edən neytrinolarla maqnit sahəsinin əksi istiqamətində hərəkət edən antineytrinoların əsas Landau səviyyəsində olan elektronlara və birinci Landau səviyyəsində olan pozitronlara annihilyasiyası proseslərdir.

---


[1] *В. М. Липунов.* Астрофизика нейтронных звезд. М.: Наука, 1987.

[2] *P. Meszaros.* High-energy radiation from magnetized neutron stars. Chicago: University of Chicago Press, 1992.

[3] *R. C. Duncan and C. Thompson*. Astrophys. J. Lett., 1992, 392, L9.

[4] *C. Thompson and R. C. Duncan.* Mon. Not. R. Astron. Soc., 1995, 275, 255.

[5] *C. Kouveliotou et al.,* Nature (London), 1998, 393, 235.

[6] *J. S. Heyl and S. R. Kulkarni.* Astrophys. J., 1998, 506, L61.

[7] *R.N. Manchester, G.B. Hobbs, A.Teoh and M.Hobbs.* Astron. J., 2005, 129, 1993.

[8] *G.S. Bisnovatiy-Kogan, Yu.P. Popov and A.A. Samochin.* Astrophys. and Space Sciences, 1976, 41, 287.

[9] *G.S. Bisnovatyi-Kogan.* Workshop on Frontier Objects in Astrophysics and Particle Physics (Vulcano Workshop, 1994). 23-28 May 1994, Vulcano, Italy, pp.443-449.

[10] *S.W. Bruenn.* Astrophys. J. Suppl. Ser., 1985, 58, 771.

[11] *J. LeBlanc and J. R. Wilson*. Astrophys. J., 1970, 161, 541.

[12] *A. Mezzacappa and S. W. Bruenn.* Astrophys. J., 1993, 405, 669.

[13] *M. Rampp and H.T. Janka.* Astrophys. J., 2000, 539, L33.

[14] *V. V. Usov.* Nature (London), 1992, 357, 472.

[15] *J. I. Katz.* Astrophys. J., 1997, 490, 633.

[16] *M.A. Ruderman, L. Tao and W. Kluzniak*. Astrophys. J., 2000, 542, 243.

[17] *V. Skokov, A.Y. Illarionov and V. Toneev*. Int. J. Mod. Phys. A, 2009, 24, 5925.

[18] *W.-T Deng and X.-G. Huang*. Phys. Rev. C, 2012, 85, 044907.

*[19]* *A. Bzdak and V. Skokov*. Phys. Lett. B, 2012, 710, 171.

[20] *D.E. Kharzeev, L.D. McLerran and H. Warringa.* J. Nucl. Phys. A, 2008, 803, 227.

[21] *M.N. Chernodub*. Phys. Rev. D, 2010, 82, 085011.

[22] *M.N. Chernodub*. Phys. Rev. Lett., 2011, 106, 142003.

[23] *M.N. Chernodub*. Lect. Notes Phys., 2013, 871, 143.

[24] *M. Bander and H. Rubinstein*. Phys. Lett. B, 1992, 280, 121.

[25] *M. Bander and H. Rubinstein*. Phys. Lett. B, 1992, 289, 385.

[26] *E. Witten*. Nucl. Phys. B, 1985, 249, 557.

[27] *E.M. Chudnovsky, G.B. Field, D.N. Spergel and A.Vilenkin*. Phys. Rev. D, 1986, 34, 944.

[28] *S. Kawati and A. Kokado*. Phys. Rev. D, 1989, 39, 3612.

[29] *D. Grasso and H. Rubinstein*. Phys. Report, 2001, 348, 163.

[30] *A. Shabad and V. Usov*. Phys. Rev. Lett., 2006, 96, 180401.

[31] *A. Shabad and V. Usov*. Phys. Rev. D, 2006, 73, 125021.

[32] *A. Shabad and V. Usov*. Phys. Rev. Lett., 2007, 98, 180403.

[33] *A. Shabad and V. Usov*. Phys. Rev. Lett., 2007, 99, 228902.

[34] *S. Chakrabarty et al.* Phys. Rev. Lett., 1997, 78, 2898.

[35] *O. Adriani et al.* PAMELA Collaboration. Nature, 2009, 458, 607.

[36] *M. Aguilar et al*. AMS Collaboration, Phys. Rev. Lett., 2013, 110, 141102.

[37] *L. Accardo*. AMS Collaboration. Phys. Rev. Lett., 2014, 113, 121101.

[38] *В. А. Люлька* . Ядерная физика, 1985, 42, 1211.

[39] *V.S. Berezinsky and O.F. Prilutsky*. Astron. and Astrophys., 1987, 175, 309.

[40] *J. Goodman, A. Dar and Sh. Nussinov.* Astrophys. J., 1987, 314, L7.

[41] *J. Cooperstein, L.J. van den Horn and E. Baron.* Astrophys. J., 1987, 321, L129.

[42] *J.J. Blanco-Pillado, R.A. Vazquez, E. Zas.* e-print archive: astro-ph/ 9902266.

[43] *D. Fargion, B. Mele*. e-print archive: astro-ph/9902024.

[44] *M. Giller, W. Michalak.* In: Proceedings of International Conference «Relativistic Jets in AGNs», Krakow, May 27-30, 1997, Krakow, 1997, p.189.

[45] Benesh C. J., Horowitz C. J. e-print archive: astro-

ph/9708033 v1.
[46] *J.D. Salmonson, J.R. Wilson*. Astrophys. J., 1999, 517, 859.
[47] *V.A. Gusseinov*. Academic Open Internet Journal, 2001, 4, http://www.acadjournal.com/2001/v4/part4/p1.
[48] *S.J. Hardy, M.H. Thoma*. Phys. Rev. D, 2001, 63, 025014.
[49] *J.D. Salmonson, J.R. Wilson*. Astrophys. J., 2001, 561, 950.
[50] *V.S. Berezinsky*. Astrophys. and Space Sciences, 2007, 309, 453.
[51] *M. Giller*. Journal of Phys. G: Nucl. and Part. Phys., 2008, 35, 023201.
[52] *А.А. Соколов, И.М. Тернов*. Релятивистский электрон. М.: Наука, 1983, 304 с.
[53] *А.Д. Каминкер, Д.Г. Яковлев*. Теоретическая и математическая физика, 1981, 49, 248.
[54] *И.С. Градштейн, И.М. Рыжик*. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М: Физматгиз, 1962, 1100 с. с илл.
[55] *Л.Б. Окунь*. Лептоны и кварки. М.: Наука, 1990, 346 с.

**R. E. GASIMOVA**

## ANNIHILATION OF NEUTRINO-ANTINEUTRINO PAIRS INTO ELECTRON-POSITRON PAIRS IN MAGNETIZED MEDIUM AND POSITRON EXCESS ENCOUNTERED IN COSMIC RAYS

It is determined that when neutrinos move along the magnetic field direction and antineutrinos move against the magnetic field direction in the process of the neutrino-antineutrino annihilation into the electron-positron pairs in a magnetized medium, the first Landau level is the lowest level for the positrons where they can be produced and in this case the ground Landau level is the lowest level for the electrons where they can be produced. In this case the electrons produced on the ground Landau level stay in the magnetized medium or on its surface, but the positrons produced on the first Landau level leaving the magnetized medium are ejected into space and in consequence it leads to the positron excess in the cosmic rays. The obtained result enables to interpret the positron excess in cosmic rays registered by the PAMELA and AMS-02 experiments.

**Р. Э. ГАСЫМОВА**

## АННИГИЛЯЦИЯ НЕЙТРИНО-АНТИНЕЙТРИННЫХ ПАР В ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫЕ ПАРЫ В ЗАМАГНИЧЕННОЙ СРЕДЕ И ИЗБЫТОК ПОЗИТРОНОВ В СОСТАВЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Определено, что при движении нейтрино вдоль направления магнитного поля и антинейтрино против направления магнитного поля в процессах аннигиляции нейтрино-антинейтринных пар в электрон-позитронные пары, протекающих в сильно замагниченных космических объектах, первый уровень Ландау является наизшиим уровнем, на котором могут рождаться позитроны, и основной уровень Ландау является наинизшим уровнем, на котором могут рождаться электроны. В этом случае электроны, рождающиеся на основном уровне Ландау, остаются в замагниченной среде или на ее поверхности, а позитроны, рождающиеся на первом уровне Ландау, покидая замагниченную среду, выбрасываются в космос и, в результате, это приводит к избытку позитронов в составе космических лучей. Полученный результат позволяет объяснить избыток позитронов в составе космических лучей, зарегистрированный экспериментами PAMELA и AMS-02.

*Qəbul olunma tarixi: 06.11.2015*

# QIZIL SULFİD $(Au_2S)_{22}$ NANOHİSSƏCİYİ VƏ ONUN $(Au_2S)_{22}$ +PP, $(Au_2S)_{22}$ +PVDF NANOKOMPOZİSİYALARININ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ TƏDQİQİ

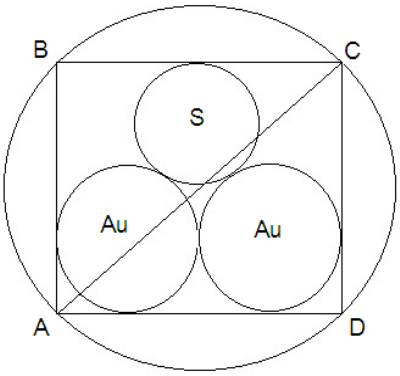
**MƏHƏMMƏDƏLİ Ə. RAMAZANOV, ARZUMAN Q. HƏSƏNOV, FAİQ H. PAŞAYEV**
*Bakı Dövlət Universiteti, Z. Xəlilov küç., 23, AZ1148*
E-mail: hasanovarzuman@hotmail.com,

$(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyi və onun $(Au_2S)_{22}$ +PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozisiyalarının elektron quruluşu molekulyar orbitallar metodunun variantlarından biri olan Genişlənmiş Hükkel metodu ilə tədqiq olunmuşdur. Molekulyar orbitallar nanohissəciyin atomlarınıın valent atom orbitallarının xətti kombinasiyaları şəklində axtarılmışdır. Atom orbitalları olaraq Au atomlarının 6s-, $6p_x$-, $6p_y$-, $6p_z$-, $5d_{x^2-y^2}$, $5d_{xz}$ -, $5d_{yz}$ , $5d_{x^2}$-, $5d_{xy}$ - və S, kükürd atomlarının isə 3s-, $3p_x$-, $3p_y$-, $3p_z$-, $3d_{z2}$-, $3d_{xz}$ -, $3d_{yz}$ , $3d_{x^2-y^2}$, $3d_{xy}$ -, C və F atomlarının 2s-, $2p_x$-, $2p_y$-, $2p_z$ və H atomlarının – 1s atom orbitalından istifadə edilmişdir. Naməlum xətti kombinasiyanın əmsallarının qiymətləri molekulyar orbitallar metodunun tənlikləri həll olunmaqla tapılmışdır. Hesablamalar nəticəsində $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyin və onun $(Au_2S)_{22}$ +PP, $(Au_2S)_{22}$ +PVDF nanokompozisiyalarının orbital enerjiləri, ionlaşma potensialı, tam elektron enerjisinin qiymətləri və $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinə və onun $(Au_2S)_{22}$ +PP, $(Au_2S)_{22}$ +PVDF nano-kompozisiyalara daxi olan atomların exdffektiv yükləri hesablanmışdır. Hesablamaların nəticələri göstərir ki, $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyi və onun $(Au_2S)_{22}$ +PP, $(Au_2S)_{22}$ +PVDF nanokompozisiyaları yumşaq, elektrofil və stabil keçirici materiallardır.

**Açar sözlər:** Nanotexnologiya, kompüter modelləşdirmə, kvantmexaniki hesablama.
**PACS:** 81.07.-b, 07.05.Tp, 03.67.Lx.

## NƏZƏRİ METODOLOGİYA

Qızıl sulfid $Au_2S$ nanohissəcikləri öz xassələrinə görə geniş tətbiq sahələrinə malikdir [1]. Bu nanohissəcik rəngləyici maddələrin, elektron sxemlərinin və s. hazırlanmasında geniş istifadə oluna bilər. Buna görə də $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin (şəkil 2) və onun$(Au_2S)_{22}$+ PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozisiyalarının (şəkil 3) elektron quruluşunun kvantmexaniki metodlarla öyrənilməsinin böyük əhəmiyyəti vardır. Məlumdur ki, nanohissəciklərin quruluşu və xassələri nanohissəcikdəki atomların sayı və ölçüsü ilə müəyyən olunur. Atomların sayını müəyyən etmək üçün isə müxtəlif üsullar mövcuddur. Au və S atomlarının kovalent radiuslarının qiymətlərini bilərək ($r_{Au}$=0,134nm, $r_S$=0,102nm) iki Au və bir S atomlarınının təqribi olaraq yerləşdiyi kürənin radiusunu şəkil 1-dən istifadə edərək təyin etmək olar. *ΔACD-də r=AC/2.*




*Şəkil 1.* $Au_2S$ hissəciyi

Bu düzbucaqlı üçbucaqdan $AC=\sqrt{AD^2+CD^2}$ ; $AD=4r_{Au}$ və $CD\approx 2(r_{Au}+r_S)$ götürmək olar. Beləliklə, $AC$=0,71419885nm. $r$=0,35709943nm alarıq. Nanohissəcikdəki atomların sayı təqribi olaraq $n=\left(\frac{R}{r}\right)^3$ düsturu ilə hesablana bilər. Burada $R$ kürə formalı hesab olan $(Au_2S)_n$ nanohissəciyinin radiusu, $r$ isə kürə formalı hesab olunan $Au_2S$-nin radiusudur. Adətən, $(Au_2S)_n$ nanohissəciyinin radiusu $R\approx 1-2nm$ tərtibində olur. $R=1nm$ olduqda, $n$=22 alınır. Onda, 66 atomdan ibarət $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin nəzəri modelini qurmaq olar (şəkil 2).

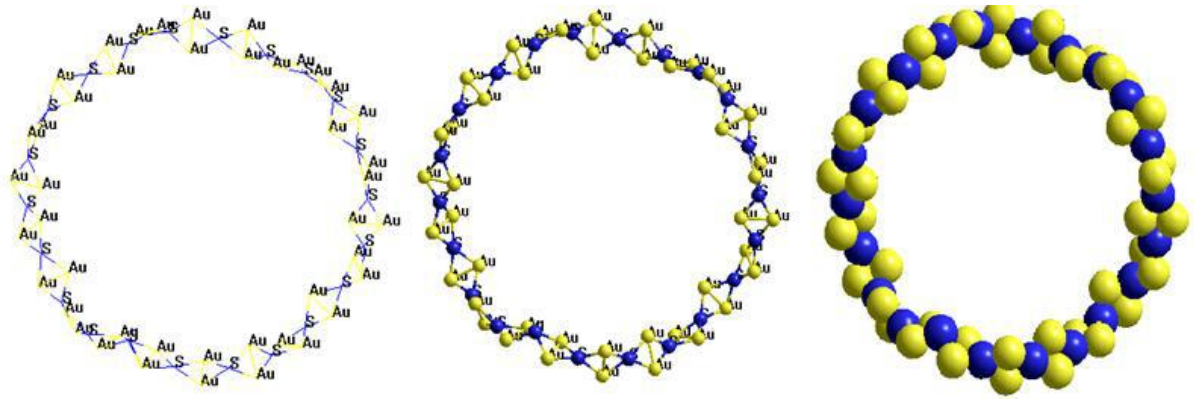
$(Au_2S)_{22}$ +PP və $(Au_2S)_{22}$ + PVDF nanokompozisiyalarının nəzəri modelləri isə şəkil 3-də verilmişdir. Təqdim olunan işdə qızıl sulfid $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin və onun $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozisiyalarının elektron quruluşu və xassələri Genişlənmiş Hükkel metodu ilə öyrənilmişdir [4, 5]. Məlumdur ki, Genişlənmiş Hükkel metodu molekulyar orbitallar (MO) metodunun sadə yarımempirik variantıdır. MO metodunda hesab olunur ki, molekulda hər bir elektron molekuldakı nüvələrin və digər elektronların yaratdığı müəyyən effektiv sahədə başqa elektronlardan asılı olmadan hərəkət edir. Molekulda elektronun halı molekulyar orbital adlanan birelektronlu dalğa funksiyası ilə təsvir olunur. Onlar çoxmərkəzli funksiyalardır. Belə ki, onların ifadəsinə elektronun müxtəlif atom nüvələrindən olan məsafələri daxil olur. Molekulyar orbitalların axtarılmasının müxtəlif variantları mövcuddur. Onlardan biri də $U_i$ molekulyar orbitallarını molekula daxil olan atomların atom orbitallarının xətti kombinasiyası şəklində axtarılması metodudur (MO LCAO metodu [7, 8]:

$$U_i=\sum_{q=1}^{m}C_{qi}\chi_q \qquad (1)$$

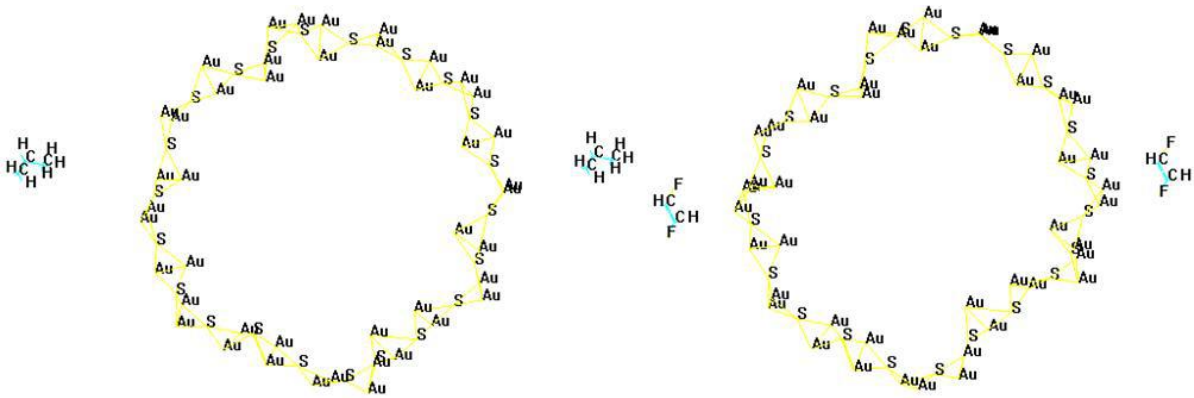
burada $C_{qi}$ - naməlum əmsallar, $\chi_q$- isə bazis funksiyaları kimi seçilən atom orbitallarıdır. Molekulların elektron quruluşunun kvantmexaniki hesablamalarında, adətən, valent elektronların atom orbitallarını nəzərə almaqla kifayətlənirlər. $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin molekulyar orbitallarını qurmaq üçün, qızıl və kükürd atomlarının hər birindən, 9 olmaqla, 66*9=594 atom orbitallarından istifadə olunmuşdur. Hesablamalar zamanı $\chi_q$ atom orbitalları olaraq Au atomlarından 6s-, $6p_x$-, $6p_y$-, $6p_z$-, $5d_z2$-, $5d_{xz}$ -, $5d_{yz}$ , $5d_{x^2}$-, $5d_{xy}$ - və S atomlarından isə 3s-, $3p_x$-, $3p_y$-, $3p_z$-, $3d_z2$-, $3d_{xz}$ -, $3d_{yz}$ , $3d_{x^2}$-, $3d_{xy}$ -, atom orbitallarından istifadə edilmişdir. (1) düsturu əsasında molekulyar orbital qurulmuşdur. Hər qızıl atomundan 11 və hər kükürd

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

atomundan 6 elektron olmaqla, $44*11+22*6=616$ sayda valent elektronu ən aşağı enerjili 308 enerji səviyyəsini doldurur. C və F atomlarının hər birindən dörd ( 2s-, $2p_x$-, $2p_y$-, $2p_z$ ) və H atomlarından hər birindən bir (1s-) valent atom orbitalından istifadə olunmuşdur. $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin və onun $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozisiyalarının tam enerjisini, ionlaşma potensialının qiymətlərini hesablamaq, mexaniki, elektrik, maqnit xassələrini və s. tədqiq etmək olar.



*Şəkil 2.* $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin vizual modelləri



*Şəkil 3.* $(Au_2S)_{22}$ +PP və $(Au_2S)_{22}$ +PVDF nanokompozitlərinin vizual modelləri

## $(Au_2S)_{22}$ NANOHİSSƏCİYİ ÜÇÜN HESABLAMALAR VƏ NƏTİCƏLƏRİN ANALİZİ

Hesablamalar nəticəsində $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyin orbital enerjiləri, ionlaşma potensialı, tam elektron enerjisinin qiymətləri və nanohissəciyinə daxil olan atomların effektiv yükləri və s. hesablanmışdır. $Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin 616 elektronu ən aşağı enerji səviyyəsindən başlayaraq iki-iki səviyyələrdə yerləşdirilir. Elektronlar tərəfindən tutulmuş ən yuxarı molekulyar orbitalın enerjisi: $\varepsilon_{YTMO}=\varepsilon_{308}=$ -11.540509eV. Ən aşağı boş molekulyar orbitalın enerjisi: $\varepsilon_{ABMO}=\varepsilon_{309}=$-10.324232eV. Nanohissəciyin ionlaşma potensialı: $I_p$=- $\varepsilon_{YTMO}$=11.540509eV. Qadağan olunmuş zonanın qiyməti $E_g=\varepsilon_{ABMO}-\varepsilon_{YTMO}$=1.216277eV və elmi ədəbiyyatda isə $E_g$=1,8±0,2eV [1]. Bu isə $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin keçirici material olduğunu göstərir. Möhkəmlik $\eta=\frac{1}{2}\left(\varepsilon_{ABMO}-\varepsilon_{YTMO}\right)$ və nanohissəciyinin şüalandıra biləcəyi fotonun dalğa uzunluğu $\lambda=\frac{c\cdot h}{\left(\varepsilon_{ABMO}-\varepsilon_{YTMO}\right)\times 1{,}6\times 10^{-19}}\times 10^{6}\,mkm$ düsturu ilə hesablana bilər. $\eta$=0.6081385a.v. və $\eta<1eV$ olduğundan $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyi yumşaq material hesab olunur. Ən aşağı boş molekulyar orbitalın enerjisi mənfi işarəli olduğuna görə $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyi elektrofildir. $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin stabilliyi

$$\Delta E\left((Au_2S)_{22}\right)=E_{(Au_2S)_{22}}-22\cdot E_{Au_2}-11\cdot E_{S_2}-3^{*}E_{C_2}-6^{*}E_{H_2}$$

düsturu ilə hesablanır. $\Delta E\left((Au_2S)_{22}\right)>0$ olduqda, material qeyri stabil, $\Delta E\left((Au_2S)_{22}\right)<0$ olduqda, material stabil hesab olunur. $E_{(Au_2S)_{22}}$-$(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinin, $E_{Au_2}$-$Au_2$ və $E_{S_2}$-$S_2$ molekulunun tam enerjisidir. $E_{(Au_2S)_{22}}$=-344.4884046a.v., $E_{Au_2}$=-9.996839837a.v. və $E_{S_2}$=-7.156810571a.v. olduğundan, $\Delta E\left((Au_2S)_{22}\right)$=-45.83301192a.v. və $\Delta E<0$ olduğundan $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyi stabildir. $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyi-

nin şüalandıra biləcəyi fotonun dalğa uzunuğu $\lambda$=1,02207mkm-dir.

## $(Au_2S)_{22}$ +PP NANOKOMPOZİTİ ÜÇÜN HESABLAMALAR VƏ NƏTİICƏLƏRİN ANALİZİ

$(Au_2S)_{22}$ +PP nanokompozitinin nəzəri modeli kimi iki $C_3H_6$ polimeri arasında yerləşdirilmiş $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinə baxılmışdır. Hər C atomundan 4, H atomunun bir valent elektronundan istifadə olunmuşdur. Nanokompozitin 652 sayda elektronu ən aşağı enerjili 326 enerji səviyyəsini doldurur. Hesablamalar nəticəsində $(Au_2S)_{22}$+PP nanokompozitinin orbital enerjiləri, ionlaşma potensialı, tam elektorn enerjisinin qiymətləri və nanokompozitə daxi olan atomların effektiv yükləri və s. hesablanmışdır. Elektronlar tərəfindən tutulmuş ən yuxarı molekulyar orbitalın enerjisi:

$$\varepsilon_{YTMO} = \varepsilon_{326} = 11.449077\text{eV}.$$

Ən aşağı boş molekulyar orbitalın enerjisi:

$$\varepsilon_{ABMO} = \varepsilon_{327} - 10.436444\text{eV}.$$

Nanokompozitin ionlaşma potensialı:

$$I_p = -\varepsilon_{YTMO} = 11.449077\text{eV}.$$

Qadağan olunmuş zonanın qiyməti:

$$\varepsilon_{ABMO} - \varepsilon_{YTMO} = 1.012633\text{eV}.$$

Bu isə $(Au_2S)_{22}$+PP nanokompozitinin keçirici material olduğunu göstərir. Möhkəmlik $\eta = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_{ABMO} - \varepsilon_{YTMO}\right)$ düsturu ilə hesablana bilər. $\eta$ = 0.5063165a.v. və $\eta < 1eV$ olduğundan, $(Au_2S)_{22}$+PP nanokompoziti yumşaq material hesab olunur. $\varepsilon_{ABMO}=\varepsilon_{327}$=-10.436444eV ən aşağı boş molekulyar orbitalın enerjisi mənfi işarəli olduğuna görə, $(Au_2S)_{22}$ +PP nanokompoziti elektrofildir. $(Au_2S)_{22}$ +PP nanokompozitinin stabilliyi

$$\Delta E\left(\left(Au_2S\right)_{22} + PP\right) = E_{(Au_2S)_{22}+PP} - 22\cdot E_{Au_2} - 11\cdot E_{S_2} - 3*E_{C_2} - 6*E_{H_2}$$

düsturu ilə hesablanır. $E_{(Au_2S)_{22}+PP}$ - $(Au_2S)_{22}$+PP nanokompozitinin, $E_{Au_2}$ - $Au_2$-nin, $E_{S_2}$ - $S_2$-nin, $E_{C_2}$ - $C_2$-nin, $E_{H_2}$ - $H_2$-nin tam enerjisidir.

$E_{(Au_2S)_{22}+PP}$ =-367.3541543a.v., $E_{Au_2}$ =-9.996839837a.v. və $E_{S_2}$ =-7.156810571a.v., $E_{C_2}$ =-5.015905604a.v., $E_{H_2}$ =-1.291132619a.v., onda $\Delta E\left(\left(Au_2S\right)_{22} + PP\right)$=-53.65104481a.v. < 0 olduğundan, $(Au_2S)_{22}$+PP nanokompoziti stabildir. $(Au_2S)_{22}$+PP nanokompozitinin şüalandıra biləcəyi fotonun dalğa uzunuğu $\lambda$=1,22762mkm-dir.

## $(Au_2S)_{22}$+PVDF NANOKOMPOZİTİ ÜÇÜN HESABLAMALAR VƏ NƏTİICƏLƏRİN ANALİZİ

$(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozitinin nəzəri modeli kimi iki $C_2H_2F_2$ polimeri arasında yerləşdirilmiş $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyinə baxılmışdır. Hər F atomunun 7 valent elektronundan istifadə olunmuşdur. Nanokompozitin 664 sayda elektronu ən aşağı enerjili 332 enerji səviyyəsini doldurur. Hesablamalar nəticəsində$(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozitinin orbital enerjiləri, ionlaşma potensialı, tam elektron enerjisinin qiymətləri və nanokompozitə daxi olan atomların effektiv yükləri və s. tapılmışdır. Elektronlar tərəfindən tutulmuş ən yuxarı molekulyar orbitalın enerjisi: $\varepsilon_{YTMO}=\varepsilon_{332}$=-11.449075eV. Ən aşağı boş molekulyar orbitalın enerjisi: $\varepsilon_{ABMO} = \varepsilon_{333}$ = -10.43641eV. $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozitinin ionlaşma potensialının qiyməti: $I_p$= -$\varepsilon_{YTMO}$ =11.449075eV. Qadağan olunmuş zonanın qiyməti: $\varepsilon_{ABMO}$ - $\varepsilon_{YTMO}$ = 1.012665eV. Bu isə $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozitinin keçirici material olduğunu göstərir. Möhkəmlik $\eta = \frac{1}{2}\left(\varepsilon_{ABMO} - \varepsilon_{YTMO}\right)$ düsturu ilə hesablana bilər. $\eta$=0.5063325a.v. $\eta < 1eV$ olduğundan $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompoziti yumşaq material hesab olunur. Ən aşağı boş molekulyar orbitalın enerjisi mənfi işarəli olduğuna görə $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompoziti elektrofildir. $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozitinin stabilliyi

$$\Delta E\left(\left(Au_2S\right)_{22} + PVDF\right) = E_{(Au_2S)_{22}+PVDF} - 22\cdot E_{Au_2} - 11\cdot E_{S_2} - 3*E_{C_2} - 6*E_{H_2} - 2E_{F_2}$$

düsturu ilə hesablanır. Burada $E_{(Au_2S)_{22}+PVDF}$ - $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozitinin, $E_{Au_2}$ - $Au_2$-nin, $E_{S_2}$ - $S_2$-nin, $E_{C_2}$ - $C_2$-nin, $E_{H_2}$ - $H_2$-nin və $E_{F_2}$ - $F_2$-nin tam enerjisidir. $E_{(Au_2S)_{22}+PVDF}$ =-382.320567689a.v., $E_{Au_2}$ = -9.996839837a.v. və $E_{S_2}$ =-7.156810571a.v., $E_{C_2}$ =-5.015905604a.v., $E_{H_2}$ =-1.291132619a.v. və $E_{F_2}$ =-12.57307174a.v., onda $\Delta E\left(\left(Au_2S\right)_{22} + PVDF\right)$=-45.90495506a.v.<0 olduğundan $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompoziti stabildir. $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozitinin şüalandıra biləcəyi fotonun dalğa uzunluğu $\lambda$=1,22758 mkm-dir

## NƏTİCƏ

$(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyi və onun $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozisiyalarının elektron quruluşu Genişlənmiş Hükkel metodu ilə öyrənilmişdir. Nanohissəciyin və onun $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozisiyalarının orbital enerjiləri, ionlaşma potensialı, tam elektron enerjisinin qiymətləri, nanohissəciyə və onun $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozisiyalarına daxil olan atomların effektiv yükləri hesablanmışdır. Hesablamaların nəticələri göstərir ki, $(Au_2S)_{22}$ nanohissə-

ciyi və onun $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozisiyaları yumşaq, elektrofil və stabil yarım keçirici materiallardır. Bu materiallar müxtəlif elektron sxemlərin hazırlanmasında istifadə oluna bilər.

Cədvəl 1.

Alınmış nəticələr

| N | Nano obyekt | Tam enerji $E$(a.v.) | Stabillik parametri $\Delta E$( a.v.) | İonlaşma potensialı $I_p$(eV) | Qadağan olunmuş zonanın qiyməti $E_g$ (eV) | Möhkəmlik parametri $\eta$(eV) | Şüalanan fotonun dalğa uzunuğu $\lambda$ (mkm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $(Au_2S)_{22}$ | -344.488405 | -45.833012 | 11.540509 | 1.216277 | 0.6081385 | 1,02207 |
| 2 | $(Au_2S)_{22}$+PP | -367.354154 | -53.651045 | 11.449077 | 1.012633 | 0.5063165 | 1,22762 |
| 3 | $(Au_2S)_{22}$+PVDF | -382.320568 | -45.904955 | 11.449075 | 1.012665 | 0.5063325 | 1,22758 |


[1] *Todd Morris, Hollie Copeland and Greg Szulczewski.* Langmuir, 2002, 18 (2), pp. 535-539.

[2] *M.Ə. Ramazanov, A.A.Şirinzadə, A.Q. Həsənov, F.H. Paşayev, N.F.Kazımov.* AMAKA-nın xəbərləri, Cild 18№ 1(18), s.59-65, Bakı 2015.

[3] *M.A. Ramazanov, F.G. Pashaev, A.G. Gasanov, A. Maharramov, A.T. Mahmood.* Chalcogenide Letters, 2014, v 11( 7), 359.

[4] *A.S. Feodrov, P.B. Sorokin and etc.* Modeling of the properties of the electronic structure of some carbon and non-carbon nanoclusters and their interaction with light elements. Novosibirsk, 2006.

[5] *G.A. Shembelov and etc.* Quantum chemical methods of calculation of molecules, M., Chemstry, 1980.

[6] *V.I. Minkin, B.Y. Simkin, R.M. Minyaev.* Theory of structure of molecule. Rostov at Don, Feniks, 2010.

[7] *A.M. Magerramov, R.A. Alieva, F.G. Pashaev, A.G. Gasanov and et. al.* Journal of Dyes and Pigments, V 85, Issues 1-2, 1, 2010.

[8] *R.A. Alieva, F.G. Pashaev, A.G. Gasanov, K.T. Mahmudov.* Russian Journal of Inorganic Chemistry, 2009, vol. 54, No. 9, pp. 1407-1411.


**Mahammadali A. Ramazanov, Arzuman G. Gasanov, Faiq H. Pashayev**

## MODELLING AND INVESTIGATION OF SULFOR GOLD $(Au_2S)_{22}$NANOPARTICLES AND ITS $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF NANOCOMPOSITIONS

The electronic structure of the $(Au_2S)_{22}$ nanoparticles and its $(Au_2S)_{22}$ +PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanocompositions were investigated by semiempirical Generalized Hukkel method. This method is a variant of the molecular orbitals method. Molecular orbitals are represented as a linear combination of valence atomic orbitals of the atoms of the nanoparticle. As the atomic orbitals used 6s-, $6p_x$-, $6p_y$-, $6p_z$-, $5d_z2$-, $5d_{xz}$ -, $5d_{yz}$ , $5d_x^2$-$_y^2$, $5d_{xy}$ - of gold atoms and 3s-, $3p_x$-, $3p_y$-, $3p_z$-, $3d_z2$-, $3d_{xz}$ -, $3d_{yz}$ , $3d_x2$-$_y^2$, $3d_{xy}$ of sulfor atoms, 2s-, $2p_x$-, $2p_y$-, $2p_z$ atomic orbitals of C and F atoms, 1s atomic orbitals of H atoms. The numerical values of the unknown coefficients of the linear combination are found by solution of equations of molecular orbitals method. The orbital energies, potential ionization, the total electronic energy and effective charge of atoms of $(Au_2S)_{22}$ nanoparticles and its $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$ +PVDF nanocompositions were calculated. The calculation results show that the $(Au_2S)_{22}$ nanoparticle and its $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanocompositions are soft, electrophile and stable conductive materials.

**Махаммадали А. Рамазанов, Арзуман Г. Гасанов, Фаиг Г. Пашаев**

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИСЛЕДОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДА ЗОЛОТА $(Au_2S)_{22}$ И ЕГО $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF НАНОКОМПОЗИЦИЙ

Исследовано электронное строение наночастицы $(Au_2S)_{22}$ и его $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF нанокомпозиций расширенным полуэмпирическим методом Хюккеля являющимся одним из вариантов метода молекулярных орбиталей. Молекулярные орбитали представлены в виде линейной комбинации валентных атомных орбиталей атомов наночастицы. В качестве атомных орбиталей использованы 6s-, $6p_x$-, $6p_y$-, $6p_z$-, $5d_z2$-, $5d_{xz}$ -, $5d_{yz}$ , $5d_x^2$-$_y^2$, $5d_{xy}$ орбитали атомов золота, 3s-, $3p_x$-, $3p_y$-, $3p_z$-, $3d_z2$-, $3d_{xz}$ -, $3d_{yz}$ , $3d_x^2$-$_y^2$, $3d_{xy}$ атомов сульфида, 2s-, $2p_x$-, $2p_y$-, $2p_z$ атомов C и F и və 1s атомов H. Численные значения неизвестных коэффициентов линейной комбинации найдены решением уравнений метода молекулярных орбиталей. В результате расчетов вычислены орбитальные энергии, потенциал ионизации, полная электронная энергия и эффективные заряды атомов наночастицы $(Au_2S)_{22}$ и ее $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF нанокомпозиций. Результаты расчетов показывают, что наночастицы $(Au_2S)_{22}$ и ее $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF нанокомпозиций являются мягкими, электрофильными и устойчивыми проводящими материалами.

*Qəbul olunma tarixi: 12.11.2015*

# KVAZİ-BİR ÖLÇÜLÜ İFRATKEÇİRİCİLƏRDƏ MAJORANA FERMİONLARININ YARANMA ŞƏRTLƏRİ

**Ə.P. NƏHMƏDOV, S.O. MƏMMƏDOVA, O.Z. ƏLƏKBƏROV**
*AMEA-nın H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Bakı, Az 1143, H.Cavid 131*
*e-mail: Enver.Nakhmedov@physik.uni-wuerzburg.de*

Məqalədə göstərilmişdir ki, zamanın geri dönməsinə görə invariant olan topoloji ifratkeçiricilər kvazi bir ölçülü sistemlərdə reallaşa bilər. Bu sistemlər yüksək təzyiq altında seolit və asbestos kimi dielektriklərdə periodik olaraq yerləşən boşluqlara ifratkeçirici maddənin doldurulması yolu ilə hazırlanır. Topoloji ifratkeçirici faza güclü spin-orbit qarşılıqlı təsirinə malik sistemlərdə ifratkeçirici naqillər boyunca *s*- və naqil arasında *d*-simmetriyalı cütlərinin yarandığı halda meydana çıxır. Kramer cütləri Majorana sərhəd şərtlərində hər bir naqilin uclarında yaranır. Zamanın geri dönməsinə görə invariant olan topoloji ifratkeçirici $Z_2$ invariant ilə DIII simmetriya sinfinə aiddir.

**Açar sözlər:** ifratkeçiricilik, spin-orbit qarşılıqlı təsiri, Majorana fermionları
**PACS:** 74.78.-w, 71.10.Pm, 71.70.Ej, 74.50.+r

## GİRİŞ

Son vaxtlar topoloji izolyator və ifratkeçiricilər [1] haqqında nəzəri və eksperimental araşdırmalar böyük maraq doğurmuşdur. Topoloji izolyator və ifratkeçiricilərin qadağan olunmuş zonası üçün Hamiltonian on topoloji simmetriya sinfi [2, 3] ilə təsnif olunur, bunların hər biri topoloji invariant ilə xarakterizə olunur. Zamanın geri dönməsinə görə invariant topoloji ifratkeçiricilər, Boqolyubov de Gennes (BdG) Hamiltonianın nəzəri təsnifatına əsasən, tamamilə fərqli DIII simmetriya sinfini təşkil edir. Topoloji ifratkeçirici çox böyük qadağan olunmuş zonaya və keçirici Andreev səviyyələrinə malikdir. Sistemin zərrəcik-deşik simmetriyasına mailk olduğuna görə, sıfır enerjili keçirici səviyyə topoloji ifratkeçiricilərdə Majorana fermionları ilə ifadə olunur, Abel olmayan statistikasını ödəyir, və bu da dayanıqlı topoloji kvant komputerlərinin reallaşması üçün faydalıdır. Əsas məqsədlərdən biri də, topoloji ifratkeçiricilərin xassələrini dəstəkləyən real materialı tapmaqdan ibarətdir.

Son işlərdə [5, 6] $\nu=1$ qiymətini alan $Z_2$ invariantlı zamanın geri dönməsinə görə invariant topoloji ifratkeçirici (DIII sinfi) təklif edilmişdir. Bu ifratkeçiricilər özlüyündə və ya qonşuluq effektinə əsasən ifratkeçirici hala keçən *p*- dalğa simmetriyalı, spin-triplet və ya *d*-dalğa simmetriyalı və *s* ± dalğa spin-singlet cütləşməli sistemlər üçün reallaşır. Bu işdə biz göstəririk ki, zamanın geri dönməsinə görə invariant topoloji ifratkeçiricilər naqil daxili *s*-simmetriyalı və naqillərarası *d*- simmetriyalı Kuper cütləri olan kvazi-bir-ölçülü sistemlərdə reallaşa bilər. Oxşar strukturlar [7,8] 30 *kbar*-a qədər yüksək təzyiqdə seolit və asbestos (şəkil1a) kimi dielektriklərin atomlararası boşluqlarına ifratkeçirici maddənin doldurulması yolu ilə hazırlanır. Seolit kristalında *5-10Å* diametrli və asbestos *20-30Å* dan 100-150*Å* qədər diametrli requlyar boşluqlar müxtəlif bir-, iki-, üç- ölçüdə periodik qəfəsləri kimi formalaşır. Bu strukturların kritik temperaturu $T_c$ eyni maddələrin həcmli ifratkeçiricilərin kritik temperaturundan 2-5 dəfə daha yüksək olur [7]. Tel ətrafında yüksək deformasiya, strukturda spin-orbit qarşılıqlı təsirinin yüksək olmasını təmin edir. Kritik temperaturun artması naqillər arasında dielektrik matrisin polyarizasiyası hesabına naqil arasında əlavə Kuper cütlərinin meydana çıxması nəticəsində ola bilər.

## ZAMANIN GERİ DÖNMƏSİNƏ GÖRƏ İNVARİANT TOPOLOJİ İFRATKEÇİRİCİ

*(x,y)* müstəvisində *x*-istiqamətində yerləşən eyniməsafəli ifratkeçirici naqillər impuls fəzasındakı Hamiltonianı, naqilin daxilində *s*- və naqillər arasında *d*-simmetriyalı cütləri (şəkil 1b) olduğu halda, spin-orbit qarşılıqlı təsirinin iştirakı ilə asağıdakı şəkildə təsvir olunur

$$\hat{H} = \int_{-\pi}^{\pi}\int_{-\pi}^{\pi} \frac{dk_x dk_y}{(2\pi)^2} \psi_k^+ H \psi_k$$

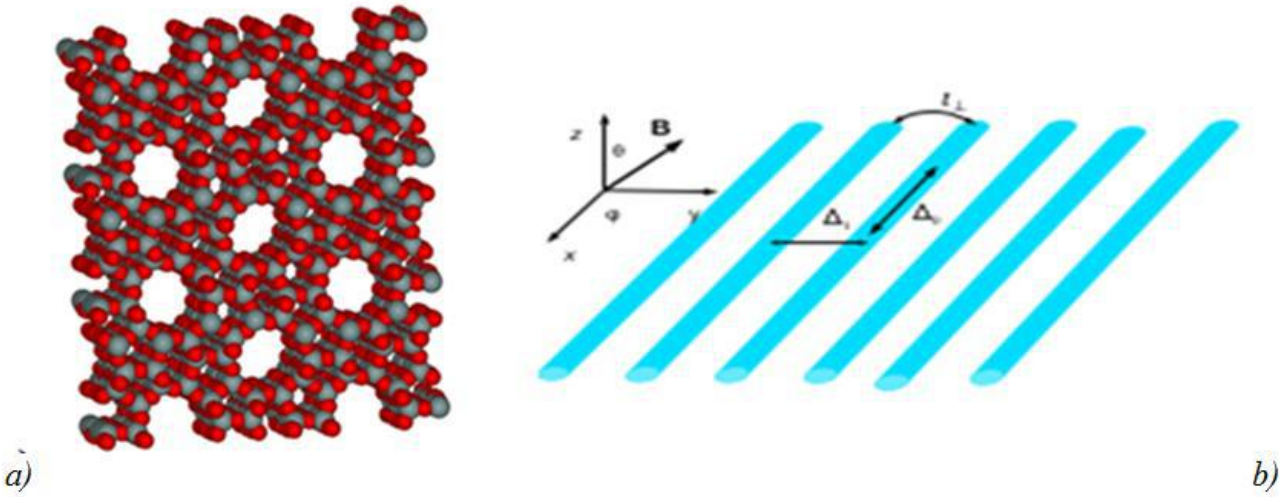
Geniş Nambu spinor bazis

$$\psi_k^+ = (\psi_{k,\uparrow}^+, \psi_{k,\downarrow}^+, \psi_{-k,\downarrow}, -\psi_{-k,\uparrow})$$

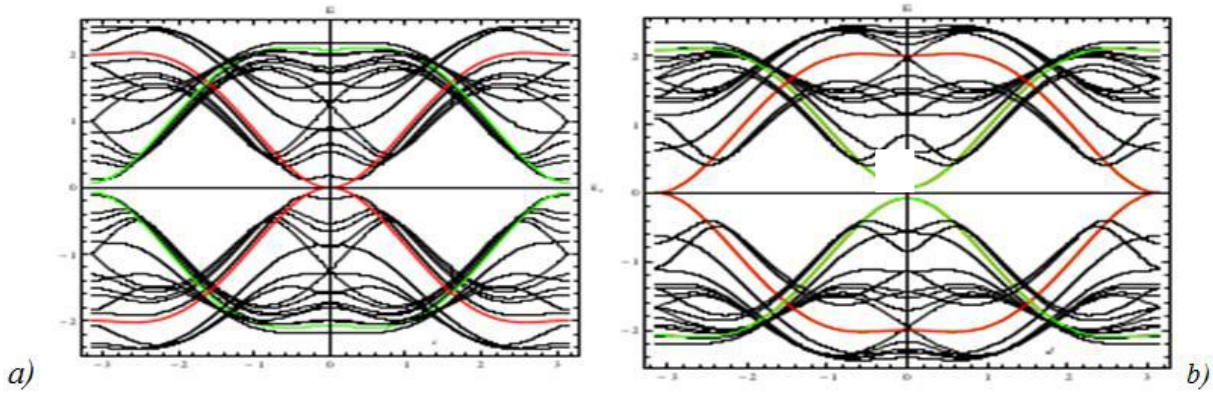
$$H = \xi_k \tau_z + 2(\alpha \sin k_x - \bar{\beta} \sin k_y)\tau_z\sigma_y + 2(\beta \sin k_x - \bar{\alpha} \sin k_y)\tau_z\sigma_x + \Delta(k_y)\tau_x \qquad (1)$$

Burada $\xi_k = -2t_{//} \cos k_x - 2t_{\perp} \cos k_y - \mu$ bir naqildə enerji dispersiyasıdır, $t_{//}(t_{\perp})$ və $\mu$ uzununa (eninə) tunel inteqral və Fermi enerjisidir, $\alpha(\beta)$ və $\bar{\alpha}(\bar{\beta})$ Raşba (Dresselhaus) spin-orbit sabitlərinin uzununa və eninə komponentləridir. $\Delta_0$ və $\Delta_1$ naqilin daxilində *s*- və naqillər arsında *d*-dalğa nizam paramterlərin mövcüdluğundan, impuls fəzasında effektiv nizam parametri $\Delta(k_y)=\Delta_0+2\Delta_1 \cos k_y$ ifadəsi ilə göstərilir, burada $\Delta_0$ və $\Delta_1$ nizam parametrlərini real parametrlər kimi seçirik. Pauli matrisləri $\sigma_i$ və $\tau_i$ uyğun olaraq spin- və zərrəcik-deşik fəzasında təsir edir. Qəbul edirik ki, struktur güclü anizotropikdir və $t_{\perp} << t_{//}$ şərtini ödəyir. Fermi səthi bu şərtlər altında açıq olur, iki dalğavari xətlərdən ibarətdir. Qeyd edək ki, $t_{\perp} < k_B T_{c0} << t_{//}$ şərti orta sahə nəzəriyyəsində qiymətləndirilir, burada $T_{c0}$ ifratkeçirici fazanın kri-

tik tempereturudur. Zamanın geri dönməsinə görə simmetriya və zərrəcik-deşik simmetriyası topolji ifratkeçiricilərdə saxlanılır. $H$ Hamiltonian $\Theta H_0(k)=H_0(-k)\Theta$ münasibəti zamanın geri dönməsinə görə invariant operatorla $\Theta=i\sigma_y K$ ödəyir, $K$ anti-unitar kompleks qoşma operatordur.




*Şəkil 1.* (a) periodik kanallara malik məsaməli seolitin strukturu və (b) səthdə kvazi-bir ölçülü ifratkeçirici naqil üçün uyğun model




*Şəkil 2.* Kvazi-bir ölçülü ifratkeçiricilərin enerji spektri trivial olmayan topoloji fazada (ν=1) $k_x$ funksiyası kimi $\Delta_0$ >0 (a) olduqda, sıfır enerji halı (qırmızı əyrilərlə) Brillüen zonasının mərkəzində və $\Delta_0$ <0 (b) olduqda, sıfır enerji halı (qırmızı əyrilərlə) Brillüen zonasının sərhədlərində. $2t_{II}=1$ zonanın eni vahid seçilir. İki haldan biz $|\Delta_0| = 0.5\cdot 2t_{II}$ seçirik, $t_\perp = 0.2\cdot 2t_{II}$ və $\alpha=0.6\cdot 2t_{II}$.

Zərrəcik-deşik simmetriyası BdG Hamiltonianın daxili strukturundan alınır, hansı ki, $\Xi=\tau_y\sigma_y K$ zərrəcik-deşik operatoru ilə $\Xi H_0=-H_0\Xi$ anti-komutasiya münasibətini ödəyir, $\Xi^2=-1$ ödəndikdə. Zamanın geri dönməsinə görə simmetriya və zərrəcik-deşik simmetriyanın varlığından unitar xiral operator $\Pi=-i\Theta\cdot\Xi=\tau_y\sigma_0$ ilə xiral simmetriya $\Pi H(k)=-H(-k)\Pi$ alınır.

$\det|E_0-H_0|=0$-dan alınmış enerji spektri,

$$E_0=s\sqrt{(\xi_k^2\pm\varepsilon_s)^2+\left|\Delta_{eff}(k_y)\right|^2} \qquad (2)$$

Burada $s=\pm$ və

$$\varepsilon_s=\sqrt{(\sin^2 k_x+\sin^2 k_y)(\alpha^2+\beta^2)-4\alpha\beta\sin k_x\sin k_y}$$

(biz sadəlik üçün $\alpha=\overline{\alpha}$ və $\beta=\overline{\beta}$ götürmüşük).Əgər $|\Delta_0|<2\Delta_1$ $k_y$ boyunca $k_y=0$-dan $k_y=\pi$- qədər hərəkət edərsə, $\Delta(k_y)=\Delta_0+2\Delta_1\cos k_y$ düyün nöqtələrində işarəsini dəyişir, $\cos k_y=\mp\frac{\Delta_0}{2\Delta_1}$.Əgər nizamlı mənfi parametrlərin cütləri [3] ilə tək sayda Fermi səthi varsa, trivial olmayan zamanın geri dönməsinə görə invariant ifratkeçirici $\nu=1$ ilə reallaşır. Düyün nöqtələrində

$$E_{0N}=s[2t_{//}\cos k_x+\mu-t_\perp\frac{\Delta_0}{2\Delta_1}\pm\varepsilon_{SN}(k_x,k_{yN})]$$

Burada $\delta = \sqrt{1 - \frac{\Delta_0^2}{4\Delta_1^2}}$ və $\varepsilon_{SN}(k_x, k_{yN})$ spin-orbit qarşılıqlı təsirin $E_{SN}$ enerjisinin düyün nöqtələrində

$$k_{yN} = \arccos(-\frac{\Delta_0}{2\Delta_1})$$ qiymətidir,

$$\varepsilon_{SN}(k_x, k_{yN}) = 2\sqrt{(\sin^2 k_x + \delta^2)(\alpha^2 + \beta^2) - 4\alpha\beta\delta \sin k_x}\ .$$

$\varepsilon_{SN}(k_x, k_{yN})$ maksimum $\varepsilon_{SN}^{max}$ və minimum $\varepsilon_{SN}^{min}$ qiymətləri arasında dəyişir. Düyün nöqtələri bir tərəfdən başqa tərəfə keçdikdə nizamlı parametrlərin işarəsi dəyişir. Digər tərəfdən spin-orbit qarşılıqlı təsiri Fermi səthini parçalayır. Parçalanmış Fermi səthi düyün nöqtələri ətrafında bir-birindən $\varepsilon_{SN}(k_x, k_{yN})$ enerji intervalında yerləşirlər. Kinetik enerjinin ($E_{0N}$ -də ilk üç hədd) maksimum qiyməti spin-orbit qarşılıqlı təsiri vasitəsi ilə parçalanır. Parçalanmış enerjinin $E_{SN}(k_x, k_{yN}, \alpha, \beta)$,

$\left|2t_{//} + \mu - t_{\perp}\Delta_0 / \Delta_1\right| < \varepsilon_{SN}^{min}(k_{x0}, \alpha, \beta)$ minimum qiymətindən kiçik olduqda, trivial olmayan zamanın geri dönməsinə görə invariant olan $\nu = 1$ ilə topoloji faza reallaşa bilər.

$\left|2t_{//} + \mu - t_{\perp}\Delta_0 / \Delta_1\right| > \varepsilon_{SN}^{\max}(k_{x0}, \alpha, \beta)$ olduqda ifratkeçirici tamamilə qadağan olunmuşdur. BdG kvazi-zərrəciklərin enerji spektrinin hesablanması $\beta=0$ üçün sadələşir, hansı ki, $\varepsilon_{SN}^{min}(k_{x0}, \alpha, \beta) = 2\alpha\delta$ və $\varepsilon_{SN}^{\max}(k_{x0}, \alpha, \beta) = 2\alpha\sqrt{1+\delta^2}$ -dir. Sıfırıncı enerjinin səth halları ilə topoloji ifratkeçiricinin zona quruluşu Şəkil 2a,b-də verilib. $\Delta_0 < 0$ olduqda, Majorana səth halları şəkil 2a-da göstərildiyi kimi qırmızı əyrilərlə $k_x = 0$ nöqtəsində yaranır. $\Delta_0 > 0$ olduqda, sıfır enerji halı Brillüen zonanın sərhədlərinə $k_x = \pm\pi$ keçir (şəkil 2b). Sıfır enerji halının cütü hər bir uc nöqtəsində localizə olunmasına baxmayaraq, zamanın geri dönməsinə görə simmetriya onların hibridləşməsinin və sonlu enerji ilə parçalanmasının qarşısını alır.

## NƏTİCƏ

Bu məqalədə biz müzakirə edirik ki, zamanın geri dönməsinə görə invariant ifratkeçirici faza dielektrik matrisdə [7–9] nizamlı, zəif-əlaqəli ifratkeçirici naqillərdən ibarət yeni materiallarda reallaşa bilər. Bu strukturlar yüksək təzyiq altında hazırlandığı üçün, burada spin-orbit qarşılıqlı təsirinin yüksək olacağı gözlənilir. Eksperimentdə müşahidə olunan kritik temperaturun artmasına əsasən deyə bilərik ki, paralel naqil daxilindəki *s*-simmetriyalı cütləşmədən əlavə naqillər arasında *d*-simmetriyalı cütləşmələr də meydana çıxır. Düyün nöqtəsinin bir tərəfindən digər tərəfinə keçdiyi zaman iki Fermi səthindəki cütləşmə parametrləri işarəsini dəyişir. Qeyd edək ki, strukturun trivial olmayan topoloji ifratkeçirici fazaya keçməsi üçün bu şərt yetərlidir. Zamanın geri dönməsinə görə invariant olan topoloji ifratkeçirici DIII simmetriya sinfinə aiddir və $Z_2$ topoloji invariant DIII ilə təsnif edilir.


[1] *M. Z. Hasan and C. L. Kane*. Rev. Mod. Phys. 82, 30453067, 2010.

[2] *A.P. Schnyder, S. Ryu, A. Furusaki, and A. W. W. Ludwig*. Phys. Rev. B 78, 195125, 2008.

[3] *X. L. Qi, T. L. Hughes, and S. C. Zhang*. Phys. Rev. B 81, 134508, 2010.

[4] *C. Nayak, S. H. Simon, A. Stern, M. Freedman, and S. Das Sarma*. Rev. Mod. Phys. 80, 1083, 2008.

[5] *F. Zhang, C. L. Kane, and E. J. Mele*. Phys. Rev. Lett. 111, 056402, 2013.

[6] *C. L. M. Wong and K. T. Law*. Phys. Rev. B 86, 184516, 2012.

[7] *V. N. Bogomolov*, Fiz. Tverd. Tela (Leningrad) 13, 815, 1971; ibid 15, 1312, 1973, [Sov.Phys. Solid State 13, 672, 1971; ibid 15, 894,1973.

[8] *V. N. Bogomolov and Yu. A. Kumzerov*, Pis'ma v Zh. Eksp. Teor. Fiz. 21, 434, 1975, JETP Lett. 21, 198, 1975.

[9] *V. N. Bogomolov*. Sov. Phys. Usp. 21, 77 (1978)[Usp. Fiz. Nauk 124, 171, 1978.


**E. Nakhmedov, S. Mammadova, O. Alekperov**

## CREATION CONDITIONS OF MAJORANA FERMIONS IN QUASI-ONE-DIMENSIONAL SUPERCONDUCTOR

We show that a time-reversal invariant topological superconductivity can be realized in a quasi-one dimensional structure, which is fabricated by filling the superconducting materials into the periodic channel of dielectric matrices like zeolite and asbestos under high pressure. The topological superconducting phase sets up in the presence of large spin-orbit interactions when intra-wire s-wave and inter-wire d-wave pairings take place. Kramers pairs of Majorana bound states emerge at the edges of each wire. The time-reversal topological superconductor belongs to DIII class of symmetry with a $Z_2$ invariant.

**Э. Нахмедов, С. Мамедова, О. Алекперов**

## УСЛОВИЯ СОЗДАНИЯ МАЙОРАНОВСКИХ ФЕРМИОНОВ В КВАЗИОДНОМЕРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ

Мы показываем, что топологическая сверхпроводимость, которая остается инвариантной при инверсии времени, может быть реализована в квази-одномерных системах, изготовленных с помощью внедрения сверхпроводящих материалов под высоким давлением в пустые периодические каналы диэлектриков, таких как цеолит и асбест. Топологическая фаза сверхпроводника устанавливается в присутствии сильного спин-орбитального взаимодействия когда Куперовские спаривания появляются как вдоль проволоки с s- симметрией так и между соседними проволоками с d-симметрией. Пары Крамерса Майорановских состояний возникают в концах каждой проволоки. Инвариантные при инверсии времени топологические сверхпроводники относятся к DIII классу симметрии с инвариантом $Z_2$.

*Qəbul olunma tarixi: 18.11.2015*

# $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ FERRİTLƏRİNİN RAMAN SPEKTRLƏRİ

**Ş.N. ƏLİYEVA, A.M. KƏRİMOVA, S.S. BABAYEV, E.K. HÜSEYNOV, T.R. MEHDİYEV**

*AMEA-nın H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu, Bakı, Az 1143, H.Cavid 131*

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ mikrotozlarının və nazik təbəqələrinin Raman səpilmə spektrlərinin dolayı mübadilə proseslərində elektronların hərəkəti nəticəsində yaranan və maqnit altqəfəsləri ilə şərtlənən spektral xətlər qruplarından ibarət olması göstərilmişdir.

Leykosapfir altlıqlı və qalınlığı 20 nm olan $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ nazik təbəqələrinin Nd:YAG lazeri ilə (həyəcanlanma dalğa uzunluğu 532 nm-dir) həyacanlandırma zamanı 26,4THz tezlikli şüalanmanın generasiyası aşkar edilmişdir.Məqalədə nəticələrimizin interpretasiyası verilib.

**Açar sözlər:** Raman səpilmə spektrləri, simmetriya nəzəriyyəsi, maqnit altqəfəsi, Neel nəzəriyyəsi.
**PACS:** 78.30-j; 78.35+C; 33.20Fb.

## 1. GİRİŞ

Kristal və qeyri-kristal materialların fonon altsistemləri haqqında informasiya, adətən, infraqırmızı və Raman spektrlərinin tədqiqlərindən əldə edilir. Bu tədqiqatların spektral diapazonunun genişlənməsi, hər şeydən öncə, nanoquruluşlu materiallar texnologiyasının (nanotozlar, liflər, nazik təbəqələr) sürətli inkişafı ilə bağlıdır. Bu amillər dəmirittrium qranat monokristallarında təbiəti spin dalğasının həyəcənlanması ilə bağlı olan həddsiz dar ferromaqnit rezonans xətlərinin aşkar olunması ilə ifratyüksək tezlikli nanoelektronikanın yaranması və inkişafını stimullaşdırmışdır. Spin dalğasının uzunluğu mübadilə qarşılıqlı təsirinin radiusu ilə müqayisə olunduğundan, informasiya siqnallarının qəbulu-ötürülməsi və işlənməsi üçün mikrominiatür İYT və terahers qurğularının layihələndirilməsi üçün əlverişli imkan yarandı. Nazik (Ni-Fe) permaloy təbəqəsinin tədqiqindən müəyyən olundu ki, mübadilə spin dalğalarının rezonans halları mövcuddur. Bu rezonans halları hətta İYT sahədə də həyəcanlana bilər, belə ki, onların əsas həyəcanlanma şərti, ferrit təbəqələrində spinlərin səthdə "bərkiməsi"dir. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ nazik təbəqələrinin tədqiqinin nəticələri spinlərin səthi «bərkiməsi»nin ferrit təbəqəsinin səth layında lokallaşan maqnit qeyri-bircinsliyi ilə bağlı olmasını fərz etməyə imkan verir. Bu layın qalınlığı mübadilə spin dalğasının uzunluğu ilə müqayisə olunduğundan, həmin lay məxsusi rezonans xassələrinə malikdir. Bu fərziyyə həmçinin $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin analoqu olan maqnetit üçün verilmiş fiziki modelə görə də əsaslandırılır [1]. Bu modelin əsasında maqnetitdə iki altsistemin olması ideyası dayanır. Bu altsistemlərdən biri, ($Fe^{2+}$ və $Fe^{3+}$) kationları ilə, digəri isə $Fe^{2+} \rightleftarrows Fe^{3+}$ kationlararası sıçrayışlı *3d*-elektronları ilə bağlıdır. Qeyd edək ki, sıçrayışlı *3d* elektronları "struktur-elektron keçidi" modeli ilə izah olunmayan maqnit düzülüşə səbəb olur. Bu halda maqnetitdə elektronların kiçik yürüklüyünün təyininə, kationlararası güclü elektrokstatik qarşılıqlı əlaqə və Vonsovsk *s-d* mübadilə qarşlıqlı təsiri daxildir. Bu qarşılıqlı təsir müsbət *s-d* mübadiləsi zamanı maqnitpolyar halları, mənfi *s-d* mübadiləsi zamanı isə yalnız elektronların keçiriciliyinin lokallaşması deyil, həmçinin keçirici elektronların spinlərinin bu momentə nısbətən antiparalel istiqamətlənməsi nəticəsində atomların maqnit momentlərinin qismən ekranlaşmasını nəzərə alır. Maqnetitin elektrik və maqnit müqavimətinin təcrübi tədqiqi təsdiq etdi ki, *s-d*-mübadilə qarşılıqlı təsiri elektronların effektiv kütləsinin artırılmasına və beləliklə onların nəinki Küri nöqtəsinin yaxınlığında, hətta uzaq nöqtələrdə də kationlar üzərində lokallaşmasına səbəb olmalıdır. Qeyd edək ki, hətta maqnit sahəsi olmadıqda belə, ferromaqnit təbəqəni femtosaniyə lazer impulsu ilə Küri temperaturundan yuxarı temperatura qədər qızdırmaqla, $Fe^{2+}$ və $Fe^{3+}$ kationlararası mübadilə enerjisini dəyişmək və uyğun olaraq, elektronları delokallaşdırmaq olar. Belə ki, təbəqənin maqnitlənmə prosesinin *xarakterik* müddəti THs diapazonuna uyğundur.

Bu məqaləmizdə $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ mikrotozlarının və nazik təbəqələrinin Raman səpilmə spektrlərinin tədqiqinin nəticələri göstərilmişdir.

## 2. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ MİKROTOZLARI VƏ NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN SİNTEZİ

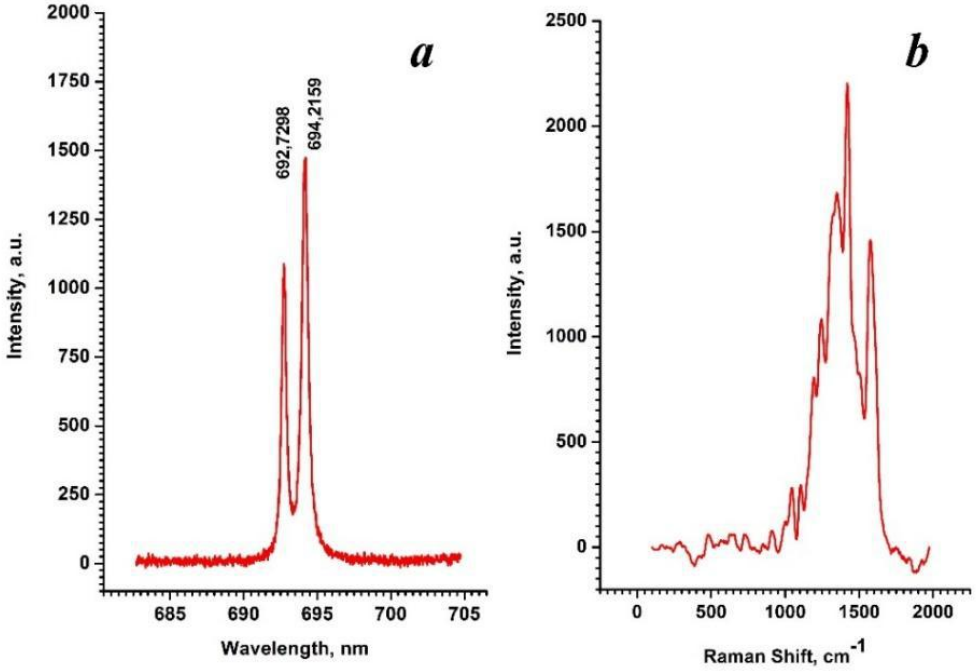
$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x$=0;0.25;0.4;0.5;0.6;0.75;1.0) tərkibli mikrotozların sintezi və 960°C temperaturunda termik emalı yüksək temperatur texnologiyasına [2,3,13] uyğun olaraq aparılmışdır. Alınmış nümunələrin keyfiyyətinə rentgen difraktoqrammaları vasitəsi ilə nəzarət edilmişdir.

20nm qalınlıqlı $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ nazik təbəqələri leykosapfir altlıqlar üzərinə [3,13] işlərində göstərilən texnologiyaya uyğun sintez olunmuşdur. Leykosapfir altlıqların qalınlığı 2 mm, diametri isə 12 mm-dir. Alınmış $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x$=0.25,0.4,0.5,0.6,0.75) təbəqələrin səthinin keyfiyyəti (3D Confokal Laser Raman Microspectroscopy System Nanofinder®30) və AIST-NT (Tokyo Instruments, Japan) ölçü başlıqlı SmartSPM™ atom qüvvə mikroskoplarında tədqiq olunmuşdur.

$x$=0;0,25;0,4;0,5;0,6;0,75;1,0 tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərin toz və nazik təbəqələri 3DLaser Raman Microspectroscopy System Nanofinder®30 Raman spektrometrində (Tokyo Instruments, Japan) tədqiq olunmuşdur. Həyacanlanma mənbəyi kimi YAGNd ($\lambda$=532nm) lazerindən istifadə edilmişdir (şüalanma gücü 0,1-10mW arasında dəyişir, spektral ayırdetmə 0,5см$^{-1}$-dir).

Şəkil 1-də Leykosapfir altlığın lüminessensiya və Raman səpilmə spektrləri verilmişdir. Lüminessensiya spektrində xromun məlum $\lambda_1$=694,3nm və $\lambda_2$= 692,8 nm dubletinin maksimumlarına uyğun iki ensiz xətt müşahidə olunmuşdur. 12*Å* tərtibli xətlərin eninin kiçik olması lüminessensiyaya səbəb olan xrom ionlarının qəfəsində yüksək nizamlı düzülüşü göstərir.

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




*Şəkil 1.* $Al_{2-x}Cr_xO_3$ altlığının lüminessensiya (*a*) və Raman səpilmə spektrləri (*b*).

## 3. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ MİKROTOZLARININ RAMAN-SPEKTRLƏRİ

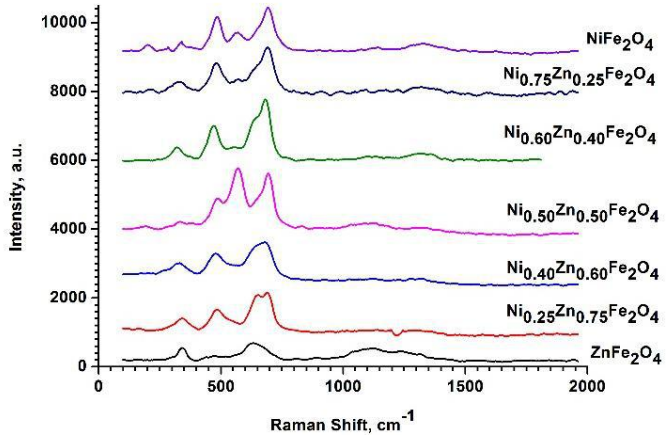
Şəkil 2-də $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x$=0; 0,25; 0,4: 0,5; 0,6; 0,75; 1,0) ferritlərinin mikrotozlarının otaq temperaturunda əldə edilmiş Raman spektrləri göstərilmişdir. Həmin mikrotozların bütün tərkibləri üçün dənəciklərin ölçüsü 20nm tərtibindədir.

Simmetriya nəzəriyyəsinə əsasən $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin Raman spektrlərində ($A_{1g}$+$E_g$+$3F_{2g}$) tipli 12 aktiv-Raman modu müşahidə olunmalıdır. Raman spektrlərinin çoxsaylı tədqiqatları göstərdi ki, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin Raman spektrlərində əlavə maksimumlar müşahidə olunur. Bu maksimumların təbiətinin sadəcə strukturdakı defektlərin və vakansiyaların xaotik paylanması ilə izahı çətindir. Onların öyrənilməsinə və interpretasiyasına [16,17] işləri həsr olunmuşdur. Bu işlərdə əlavə maksimumlar qarşılıqlı əlaqəli "normal" və "çevrilmiş" şpinellərin mövcudluğu nöqteyi nəzərindən izah olunur. Lakin, göstərilmişdir ki, stexiometriyadan kənara çıxdıqda meydana gələn şpinel qəfəsinin təhrifi Raman spektrlərinə cüzi təsir edir. Digər interpretasiya isə $Zn^{+2}$ və $Ni^{+2}$ –nin ion radiuslarının müxtəlif olması ilə əlaqədardır. İon radiuslarının fərqli olması elementar özək paramertlərinin dəyişməsinə və bu da öz növbəsində Raman spektrlərindəki dəyişikliyə səbəb olur.

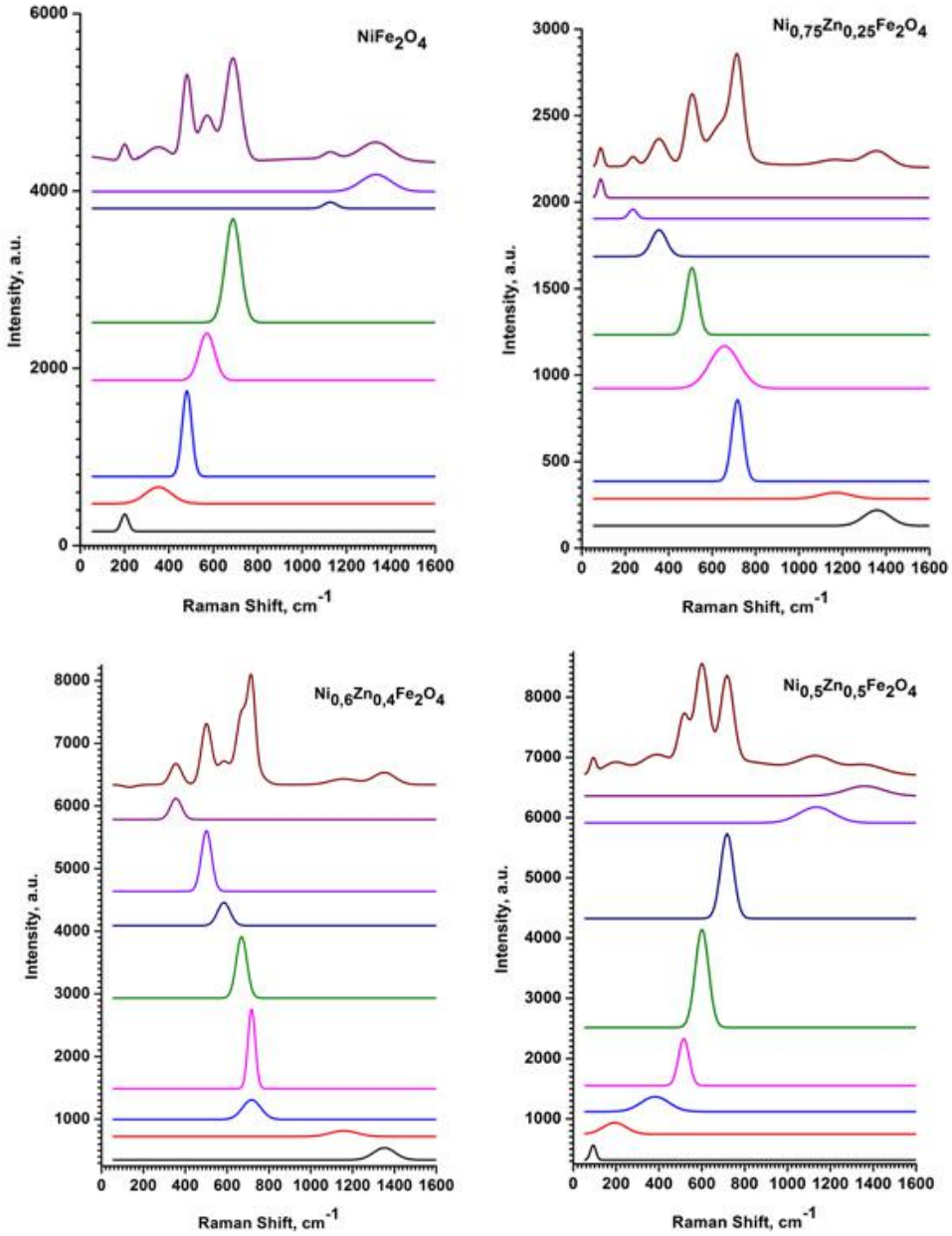
Çevrilmiş şpinellərin analizi zamanı Raman səpilmə spektrlərindəki əlavə maksimumların *B*-altqəfəsindəki qeyri-ekvivalent atomların mövcudluğu ilə bağlı olduğu fərziyyəsi [6] işində irəli sürülmüşdür.

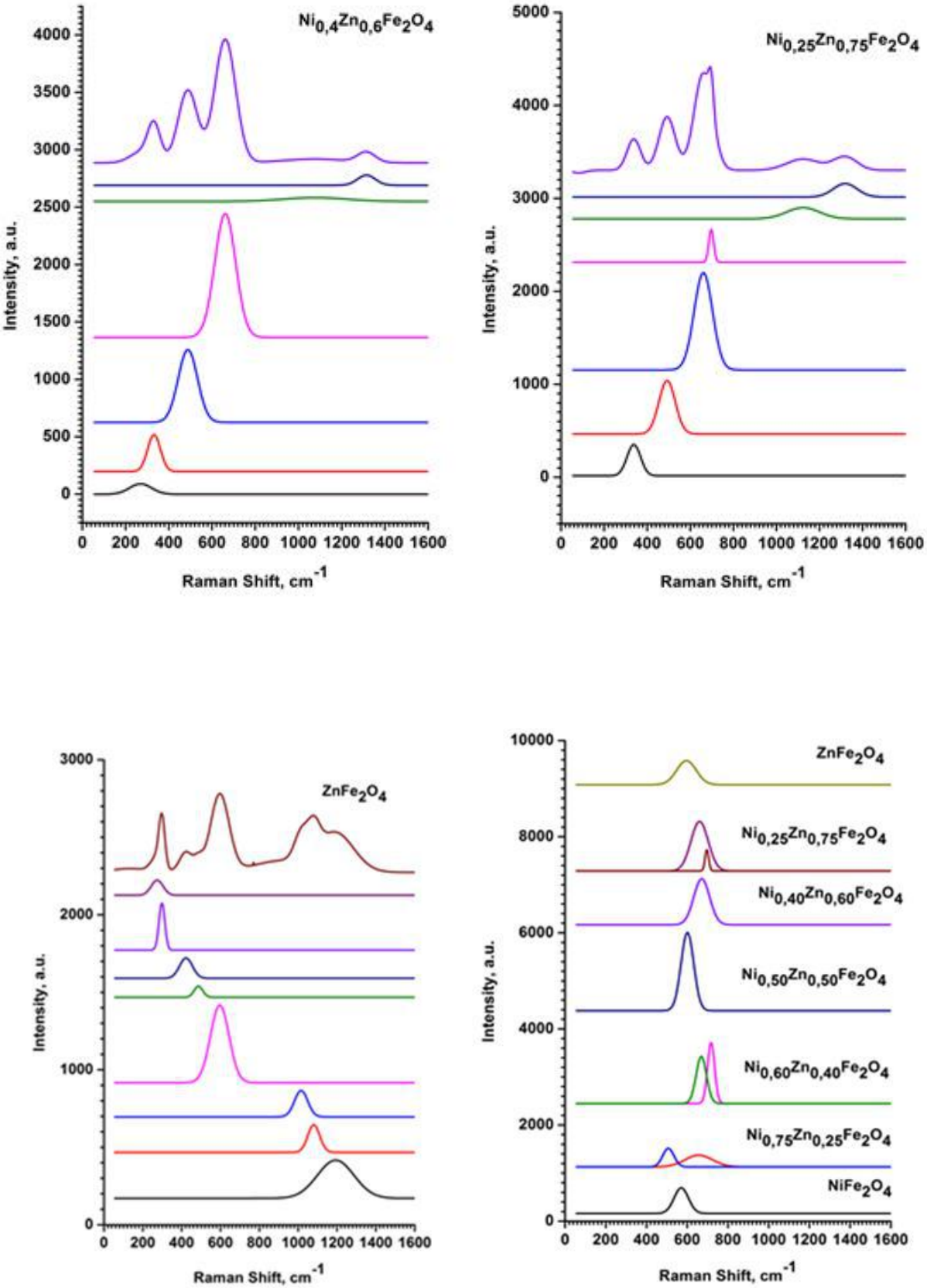
[18] işində $NiFe_2O_4$ çevrilmiş şpinellərin Raman spektrlərinin analizi qəfəs dinamikasının hesablanması ilə həyata keçirilib. Qeyd edək ki, qəfəs dinamikası $Ni^{2+}$ və $Fe^{3+}$kationlarının B -altqəfəsində nizamli yaxud nizamsız düzülüş ehtimalına görə hesablanır. Göstərilmişdir ki, belə düzülüşün mümükün iki tipi mövcuddur: $\alpha$-tip və $\beta$-tip. Çevrilmiş şpinelin Raman spektlərində təcrübi müşahidə olunan xüsusilik strukturun nizamlı düzülüşünün müxtəlif variantlarının mövcud olmasını əks etdirir. Belə ki, qəfəsin dinamikasının hesablamaları göstərir ki [19], $NiFe_2O_4$-nın Raman spektrlərində əlavə maksimumların əmələ gəlməsi $Ni^{2+}$ və $Fe^{3+}$ kationların yaxın düzülüşünün yaranması və ionların oktaedrik *B*-altqəfəsi üzrə təsadüfi paylanması ilə deyil, polyarizasiya üzrə yığma qaydasının dəyişməsi ilə bağlıdır.

$NiFe_2O_4$-da $\alpha$ və $\beta$ nizamlılıq tipləri tetraqonal $P4_122/P4_322$- $D_4^3/D_4^7$ və ortorombik Imma- $D_{2h}^{28}$ strukturlarına uyğundur [19]. $\alpha$ nizamlılıq tipi kubun [110] və [110] istiqamətləri boyunca ...-$Ni^{2+}$-$Fe^{3+}$ - $Ni^{2+}$-$Fe^{3+}$- zəncirinin mövcudluğu ilə xarakterizə olunur. $P4_122$ fəza qrupuna malik tetraqonal elementar özək $\vec{a_t} = \frac{1}{2}(\vec{a_c} + \vec{b_c}), \vec{b_t} = \frac{1}{2}(\vec{a_c} - \vec{b_c}), \vec{c_t} = \vec{c_c}$qəfəs parametrli şpinellərin səthəmərkəzləşmiş özəyindən iki dəfə kiçikdir. Analoji nizamlılıq tipi $D_4^3 - P4_122$–na enantiomorf olan $D_4^7 - P4_322$ fəza qrupu çərçivəsində təsvir edilə bilər. Hər iki fəza qrupunda normal rəqslərin simmetriyasının vəziyyəti və klassifikasiyası ekvivalentdir. Simmetriya təsvirlərinə görə Fd3m→$D_4^3/D_4^7$ keçidi birinci növ faza keçidinə aiddir. Faza diaqramında kubik və tetraqonal fazaların eyni zamanda mövcud olduğu ikifazalı oblastlar mövcud ola bilər. Əgər soyuma zamanı $\alpha$ nizam tipi yaranırsa, onda tetraqonal oxlar hər üç ekvivalent istiqamətlər üzrə düzülə bilər. Bu otaq temperaturunda tetraqonal domenlərin altı tipinin eyni zamanda mövcud olmasını göstərir: bir-biri ilə ortoqonal 4 tərtib oxlu üç $P4_122$- $D_4^3$ və üç $P4_322$- $D_4^7$ tipi.




*Şəkil 2* $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ mikrotozlarının Raman-spektrləri ($x$=0;0,25;0,4:0,5; 0,6;0,75;1,0)






*Şəkil 3.* $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit mikrotozlarının hər bir tərkibi üçün qauss funksiyalarının dəsti vasitəsilə Raman spektrlərinin parçalanması və $NiFe_2O_4$ –də müşahidə olunan 570sm$^{-1}$ spektral xəttin parçalanmasına aid misal.

Cədvəl 1.

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ mikrotozlarının Raman-spektlərində maksimumların vəziyyəti və onların interpretasiyası.

| $NiFe_2O_4$, $sm^{-1}$ | | | | $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$, $sm^{-1}$ | | | | $ZnFe_2O_4$, $sm^{-1}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Təcrübi. [18] | Hes. [18] | İnterpre. [18] | Hazırkı iş $x$=0 | $x$=0,25 | $x$=0,4 | $x$=0,6 | $x$=0,75 | Hazırkı iş $x$=1 | Təc. | dəbi y. |
| | | | 107 | 107 | 107 | 107 | 101 | 105 | | |
| | | | 113 | 112 | 112 | 113 | 113 | 114 | | |
| | | | 118 | 118 | 118 | - | 118 | 120 | | |
| | | | 130 | 132 | 130 | 124 | 127 | 134 | | |
| | 147 | E, $P4_122$ | 147 | 149 | 142 | 141 | | | | |
| | 148 | $B_1$, $P4_122$ | | | 153 | 147 | 147 | 145 | | |
| | 155 | $B_2$, $P4_122$ | 153 | 164 | 159 | 158 | 158 | 157 | 160 | [25] |
| 140 | 168 | $A_1$, $P4_122$ | 167 | 172 | - | 164 | 167 | 168 | | |
| | 171 | $B_1$, $P4_122$ | 175 | 181 | 173 | 175 | 175 | 177 | | |
| | 205 | $B_2$, $P4_122$ | 201 | 204 | 207 | 201 | 204 | 205 | | |
| 213 | 207 | E, $P4_122$ | 209 | 212 | 212 | 207 | 209 | 211 | | |
| | 227 | $A_g$, Imma | 221 | 223 | 221 | 224 | 226 | 222 | 221 | [26] |
| | 229 | $B_{3g}$, Imma | 226 | 229 | 227 | 229 | 232 | 228 | | |
| 235 | 235 | $B_2$, $P4_122$<br>E, $P4_122$ | 238 | 240 | 235 | 241 | 241 | 236 | | |
| | 246 | E, $P4_122$ | 246 | 249 | 250 | | | | 246 | [27] |
| | 248 | $B_1$, $P4_122$<br>$B_{1g}$, Imma | | | | | | | | |
| | 252 | $B_{2g}$, Imma | | | | | | | | |
| | 253 | $A_1$, $P4_122$<br>E, $P4_122$ | 257 | 254 | 255 | | 257 | 253 | | |
| | 255 | $F_{2g}$, Fd3m | | | 261 | | | | | |
| | 263 | E, $P4_122$ | 263 | 266 | 269 | 263 | 269 | 264 | | |
| 273 | | | 272 | | | 272 | | 270 | | |
| | | | 277 | 277 | 283 | 277 | 277 | 278 | | |
| | 293 | E, $P4_122$ | 288 | 291 | 292 | 286 | 288 | 295 | | |
| | 295 | $A_1$, $P4_122$ | 294 | 297 | 297 | | 297 | | | |
| 301 | 300 | $E_g$, Fd3m | 300 | 305 | 303 | 300 | 302 | 301 | | |
| | 305 | $B_2$, $P4_122$ | | | | 305 | | | | |
| | 306 | $B_2$, $P4_122$ | | | | | 308 | 309 | | |
| | 314 | E, $P4_122$ | | 316 | | 316 | 316 | | | |
| | 328 | E, $P4_122$ | 325 | 333 | 322 | 330 | 322 | | 320 | [25] |
| | 329 | $B_1$, $P4_122$ | 330 | | 336 | | 333 | | | |
| 333 | 336 | $B_{2g}$, Imma | 342 | 339 | 342 | 342 | 339 | | | |
| | 350 | $A_1$, $P4_122$ | 356 | 350 | 348 | | 344 | 343 | 355<br>350<br>356 | [26],<br>[25],<br>[27] |
| | 353 | $B_2$, $P4_122$ | | | 353 | 361 | 356 | 354 | | |
| | | | 361 | 364 | 367 | 367 | 361 | 365 | | |
| | 367 | E, $P4_122$ | 370 | 378 | 375 | 375 | 370 | 370 | | |
| | 374 | $B_2$, $P4_122$ | | | | | 375 | 379 | | |
| 381 | 381 | $B_1$, $P4_122$ | 383 | | 386 | 386 | 383 | 384 | | |
| | 387 | $A_g$, Imma | | | | | | | | |
| | 395 | $A_1$, $P4_122$ | 392 | 394 | 395 | 392 | 395 | 390 | | |
| | 405 | $B_{3g}$, Imma | 403 | 403 | | 403 | | 398 | | |
| | 407 | E, $P4_122$ | 411 | 411 | 406 | 408 | 406 | 404 | | |
| | 415 | $B_1$, $P4_122$ | | | | 417 | | 418 | | |
| | | | 425 | 430 | 428 | 428 | 422 | 426 | | |
| | 438 | E, $P4_122$ | 436 | 439 | 439 | 439 | 433 | 434 | | |
| 443 | | $B_{1g}$, Imma | 450 | 450 | 450 | 450 | 453 | 448 | 450 | [29] |
| | 464 | E, $P4_122$ | | 464 | 464 | | 464 | 456 | 451 | [28] |
| | 465 | $F_{2g}$, Fd3m<br>$B_1$, $P4_122$ | | | | 466 | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 469 | 469 | E, $P4_122$ | | 469 | 472 | 472 | | | | |
| 482 | | | 483 | 483 | | 483 | 483 | 481 | | |
| 487 | 490 | E, $P4_122$ | | | | 488 | 491 | 489 | | |
| | 496 | $B_2$, $P4_122$ | | 497 | | 494 | | | | |
| | 498 | $A_1$, $P4_122$<br>$B_1$, $P4_122$ | 508 | 513 | | 508 | 505 | 500 | | |
| | 514 | E, $P4_122$ | 519 | 518 | 521 | 516 | 516 | 514 | | |
| | 516 | $B_2$, $P4_122$ | | | | 521 | 524 | 522 | | |
| | | | 527 | 527 | | | | 530 | | |
| | | | 538 | 538 | 532 | 530 | 532 | 536 | | |
| | | | | 543 | 546 | 541 | 541 | 541 | | |
| | 556 | E, $P4_122$ | 551 | 551 | | 549 | 549 | 555 | | |
| | | | | 562 | 560 | 562 | 560 | 563 | | |
| | | | 565 | 568 | | | 565 | 568 | | |
| 571 | 573 | $A_1$, $P4_122$ | 573 | 573 | 570 | 573 | 576 | | | |
| | 574 | $B_2$, $P4_122$ | | | | | | 577 | | |
| | | | 579 | 581 | 581 | | 581 | | | |
| | | | 584 | 587 | 587 | 587 | 587 | 585 | | |
| | 588 | $B_{2g}$, Imma | 590 | 592 | 595 | 595 | 592 | 593 | | |
| 593 | | | 600 | 603 | | 600 | | 601 | 600 | [27] |
| | 605 | $A_g$, Imma | 609 | | | 609 | 609 | 612 | | |
| | 612 | $B_1$, $P4_122$ | 614 | 617 | 619 | 619 | | 620 | | |
| | 613 | $B_{3g}$, Imma | | | | | | | | |
| | 615 | E, $P4_122$ | | | | | | | | |
| | 618 | $F_{2g}$, Fd3m | | | | | | | | |
| | | | 627 | 630 | 625 | 630 | 622 | 628 | 630 | [25] |
| | 635 | $A_1$, $P4_122$ | 636 | | 635 | 636 | 636 | 639 | | |
| | 643 | $B_{2g}$, Imma | | 641 | 641 | 641 | 641 | | | |
| | 649 | $A_1$, $P4_122$ | | | | 646 | 646 | | 647 | [26] |
| 656 | 661 | $B_2$, $P4_122$ | 652 | 654 | 654 | 652 | | 655 | | |
| | 665 | E, $P4_122$ | | 665 | 662 | 660 | 657 | 658 | | |
| | 687 | $A_g$, Fd3m | 687 | 673 | | 673 | 671 | 674 | 670 | [27] |
| | 689 | $B_{3g}$, Imma | | 679 | 668 | 687 | | 679 | | |
| | 694 | $A_1$, $P4_122$ | 692 | 697 | 692 | | 692 | 690 | | |
| 704 | | | 703 | 703 | 703 | 703 | | 703 | | |
| | 718 | E, $P4_122$ | 719 | 730 | 727 | 722 | 722 | 727 | | |
| | 744 | $A_g$, Imma | 746 | 754 | 751 | 748 | 751 | 754 | | |

*β*-nizam tipi [110] istiqaməti boyunca ...-$Ni^{2+}$-$Ni^{2+}$-$Ni^{2+}$-$Ni^{2+}$-...zənciri və $[1\bar{1}1]$ istiqaməti boyunca ...-$Fe^{3+}$-$Fe^{3+}$-$Fe^{3+}$-$Fe^{3+}$...zənciri ilə xarakterizə olunur. Imma- $D_{2h}^{28}$ fəza qrupuna malik *β*-tip nizamlı düzülüşlü ortorombik elementar qəfəs səthəmərkəzləşmiş şpinellərinin elementar qəfəsindən iki dəfə kiçikdir. Qəfəs parametrləri $\overrightarrow{a_o} = \frac{1}{2}(\overrightarrow{a_c} + \overrightarrow{b_c}), \overrightarrow{b_o} = \frac{1}{2}(\overrightarrow{a_c} - \overrightarrow{b_c}), \overrightarrow{c_o} = \overrightarrow{c_c}$ -dir. Qeyd edək ki, Imma fəza qupu üçün sağ və sol zəncirlərinin statisik paylanması xarakterdir ki, bu da *I2mb* və *Pnma* domenlərinin mövcudluğu ilə bağlıdır. Lakin sağ və sol tetraedrik zəncirlər yalnız "*b*" oxu boyunca tək-tək laylarda deyil, həm də "*c*" oxu boyunca nizamlı düzülüş ardıcıllığını formalaşdıraraq bir layın daxilində də nizamlı düzülə bilərlər. [21] işində göstərilmişdir ki, tetraedrik altqəfəsdən fərqli, koordinasiyalı *B* altqəfəsində qarışıq kationların yaxud oksigen vakansiyalarının mövcudluğu sonsuz zəncirin bir növünün qırılmasına və elə bu istiqamətdə digər növ zəncirin yaranmasına səbəb ola bilər. Bundan başqa, oxşar defektlər zəncirin tipinin dəyişməsindən başqa lokal nizamlı düzülüş oblastları və ikiləşmə müstəviləri əmələ gətirərək bir tetraedrik layın daxilində 90° dönməklə tetraedrik zəncirin istiqamətinin dəyişməsinə səbəb ola bilər. Burada şpineldən ortorombik struktura birinci növ faza keçidi müşahidə olunmalıdır və mikroskopik səviyyədə üç cüt qarşılıqlı ortoqonal domenlər eyni zamanda mövcud ola bilərlər. [22] işində $ZnFe_2O_4$ normal şpinelinin Raman spektrləri tədqiq olunmuşdur. $NiFe_2O_4$–ün Raman spektrlərində müşahidə olunduğu kimi $ZnFe_2O_4$-in Raman spektrlərində də əlavə maksimumlar müşahidə olunmuşdur.

Cədvəl 1-də 300K temperaturda $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin tədqiqatlarından əldə etdiyimiz Raman spektrlərinin maksimumlarının vəziyyəti, həmçinin müqayisə üçün [18, 25-29] işlərində dərc edilmiş və nizamlı düzülüşün müxtəlif variantları ilə interpretasiya olunmuş $NiFe_2O_4$ və $ZnFe_2O_4$ Raman-spektrlərinin tezliklərinin təcrübi və nəzəri qiymətləri göstərilmişdir. Şəkil 2–dən göründüyü kimi *x*=0;0,25;0,4:0,5;0,6;0,75;1 müxtəlif tərkibli $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin mikrotozlarının Raman-spektrlərinin müqayisəsi ferrit strukturunun çevrilmiş şpineldən qismən çevrilmiş şpinelə və sonra isə normal şpinel strukturuna transformasiya prosesinin mürəkkəb dinamikasını nümayiş etdirir. Hazırki işdə $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin mikrotozlarının təcrübi Raman spektrlərinin qauss funksiyalarının vasitəsiilə analizinin tərtibi [18] işdə

müşahidə olunan adi kriteriyaları ödəməyən bir çox əlavə maksimumlar kənarlaşdırmışdır. Digər tərəfdən alınmış spektrlərin Qauss funksiyaları ilə analizi əsas tezliklər dəsti və yekun spektrin qurulmasında hər bir komponentin qatqısının təyininə imkan verir. Şəkil 3-də $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit mikrotozlarının bütün tərkibləri üçün Raman spektrlərinin parçalanması göstərilmişdir. Məsələn, $NiFe_2O_4$ nümunəsində 570sm$^{-1}$ maksimumun parçalanması. Qeyd edək ki, təcrübədə müşahidə olunan əlavə maksimumlar [18] işində istifadə olunan nəzəri model çərçivəsində kifayət qədər yaxşı interpretasiya olunur. Hazırki işdə əldə olunmuş spektrlərin interpretasiyasının sadələşdirilməsi üçün [18] işində alınmış Raman spektrlərinin maksimumlarının vəziyyəti reper nöqtələri kimi spektral xəttlərin qeydində istifadə edilmişdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O$ ferrit mikrotozlarının bütün tərkiblərinin İQ spektrlərində müşahidə olunan 76sm$^{-1}$-ə yaxın tezlik zolağı, bu tərkiblərin Raman spektrlərində də müşahidə olunmuşdur. Bir halda ki, seçmə qaydası İQ və Raman spektrlərində $F_{1u}$ tip simmetriya rəqslərinin eyni zamanda müşahidə olunmasına imkan vermir, onda verilmiş zolağının yaranma təbiətinin baxılan zolağın yaranma təbiətindən fərqlənməsi aydındır. Bu vəziyyətdə, spektrin mövcud zolağı və həmçinin yaxın 1126sm$^{-1}$ və 1313sm$^{-1}$ tezliklər zolağının maqnonların həyəcanlanması ilə bağlı olmasını fərz etmək olar. Bu fərziyyə NiO və $Fe_2O_3$-ün Raman spektrlərində maqnon həyəcanlanmanın təcrübi müşahidəsi ilə bağlıdır [23]. Otaq temperaturunda 30sm$^{-1}$ xətti ətrafında birmaqnonlu Raman səpilməsi müşahidə olunmuşdur. Həmçinin 1500sm$^{-1}$ yaxınlığında ikimaqnonlu zolaq və maksimumu 400 sm$^{-1}$ olan dördmaqnonlu zolaq indentifikasiya olunmuşdur. "Əlavə" spektral xəttlər qrupunun vəziyyətinin dinamikası tədqiq olunan tərkiblərdə Ni yaxud Zn-in miqdarının dəyişməsinə uyğundur. Ni yaxud Zn-in miqdarının dəyişməsi spin rəqslərinin dəyişməsinə səbəb olur ki, bunu da EPR tədqiqatları [3,13] təsdiq edir. Qeyd edək ki, maqnon rəqslərinə aid edilən xətlər qrupunun mövcud olması $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin iki altqəfəsli modelinin spin vəziyyəti nöqteyi baxımından yaxşı interpretasiya olunur. Onların izahı üçün məqbul model, bu haqda [1-3] işlərində məlumat verildiyi sıçrayışlı 3d-elektronlarının mövcudluğu ilə, daha doğrusu üçüncü maqnit altqəfəsinin mövcud olması ilə bağlıdır.

140sm$^{-1}$-də Raman spektrinin maksimumu [18] işində hesablandığı kimi $P4_122$ strukturunda 168sm$^{-1}$ tezlikli $A_1$ moduna uyğundur. Bizim tədqiqatlarımızda $NiFe_2O_4$-nin Raman spektrlərində aşkar edilmiş maksimumların [18] işindəki hesablamaların nəticələri ilə müqayisəsi, hesablanmış 147sm$^{-1}$, 148sm$^{-1}$, 155sm$^{-1}$,168sm$^{-1}$, 171sm$^{-1}$ maksimum qrupları ilə təcrübələrdə müşahidə olunan əlavə 147sm$^{-1}$, 153sm$^{-1}$, 167sm$^{-1}$, 175sm$^{-1}$ maksimum qruplarının tezlikləri arasında uyğunluğu nümayiş etdirir. $P4_122$ strukturuna uyğun modlar cədvəldə göstərilmişdir. Qeyd etmək maraqlıdır ki, spektrdəki maksimumlar qrupu $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferrit mikrotozlarının bütün tərkiblərinin Raman spektrlərində də müşahidə olunur və praktiki olaraq öz vəziyyətini dəyişmir. Polyarizasiya üzrə seçmə qaydasına uyğun olaraq tamamilə simmetrik olan $A_{1g}$(Fd3m), $A_1(P4_122)$ yaxud $A_g$(Imma) modları yüksək intensivlikləri üzrə identifikasiya oluna bilərlər.

140sm$^{-1}$ maksimumundan başqa, onlara 235, 381, 449,487,571, 593, və 704sm$^{-1}$ maksimumlarını da aid etmək olar [18] və bu maksimumlar üçün də bizim tədqiqatlarda analoqlar tapılmışdır. Eyni zamanda hesablama nəticələrindən alındığı kimi $A_g$(Imma) moduna aid olunmuş 387 və 605sm$^{-1}$ maksimumları arası məsafənin böyüklüyü spektroskopik nöqteyi nəzərdən $\beta$-nizam tipinin az ehtimallı olması fikrinə gətirib çıxarır. Digər tərəfdən, tetraqonal $\alpha$- nizam tipinin mövcudluğunu Raman səpilmə analizlərindən [18] almaq olar. 213sm$^{-1}$ maksimumlu mod $X_0X_0$ və XY polyarizasiyalarında aktivdir və kubik, tetraqonal və rombik strukturlarda uyğun olaraq $F_{2g}$, $B_1$+E, yaxud $A_g+B_{2g}+B_{3g}$ kimi interpretasiya oluna bilər (cədvəl 1). Bu uyğunluq daha çox $P4_122$ strukturları üçün 208sm$^{-1}$ maksimumlu E-modunda müşahidə olunur. Burada qeyri müəyyənlik yaranır, çünki hesablamaların dəqiq olmamasını nəzərə aldıqda, Imma strukturunda 229sm$^{-1}$ mamksimumuna uyğun $B_{2g}$ modunun mövcudluğunun diqqətə alınması zəruridir. Bu cür yanaşma zəruridir, çünki Imma qrupunda $A_g+B_{1g}$ modu üçün seçmə qaydası $P4_122$–da $A_1+B_2$ modu üçün seçmə qaydası ilə üst-üstə düşür.

Müşahidə olunan tezliklərin tam bölünə bilməsi bir modlu nizamlı strukturun mövcudluğunun fərziyyəsini yaradır. Lakin, spektrometrin icazə verilən tezliyi ilə müqayisədə (305-306sm$^{-1}$ və 350-353sm$^{-1}$) bəzi modlar arasında tezliklərin oxşarlığı təcrübi tədqiqatların nəticələrində xətaların mövcudluğunu parçalanma analizində nəzərə almaq lazımdır.

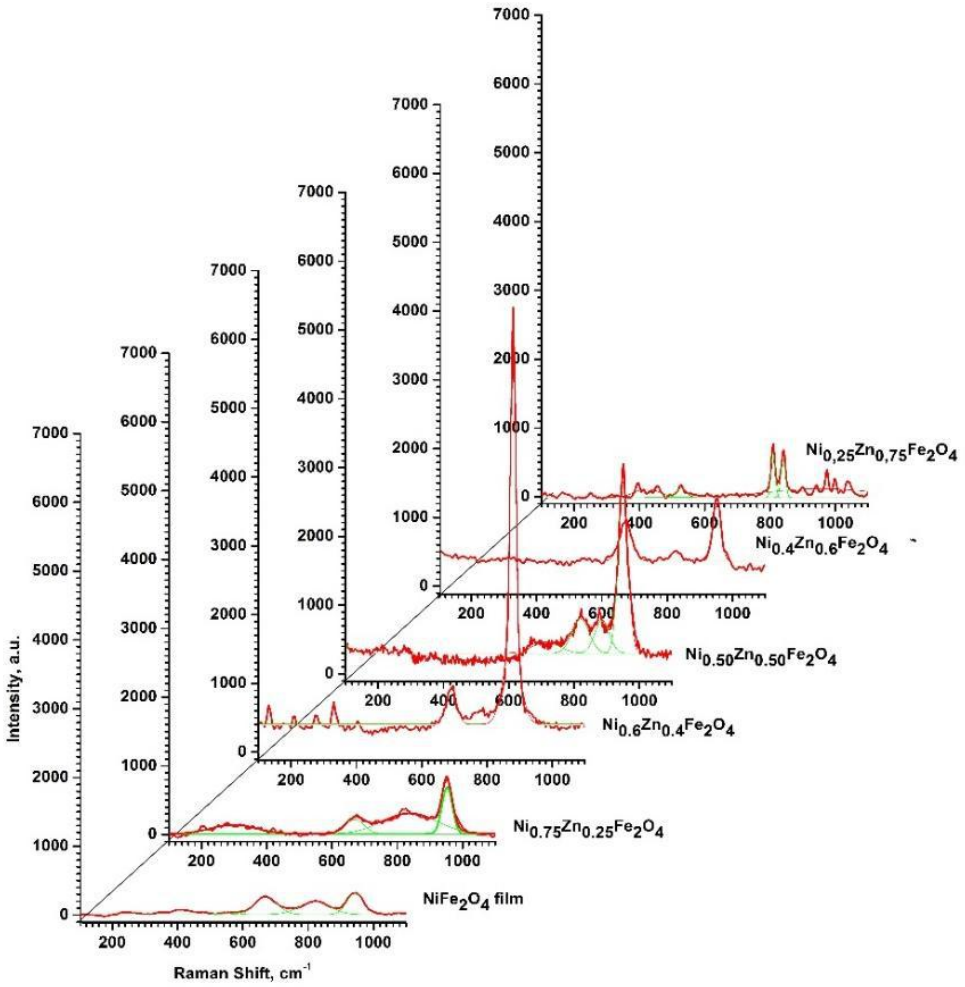
## 4. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNİN RAMAN SPEKTRLƏRİ.

### a. TƏCRÜBİ HİSSƏ

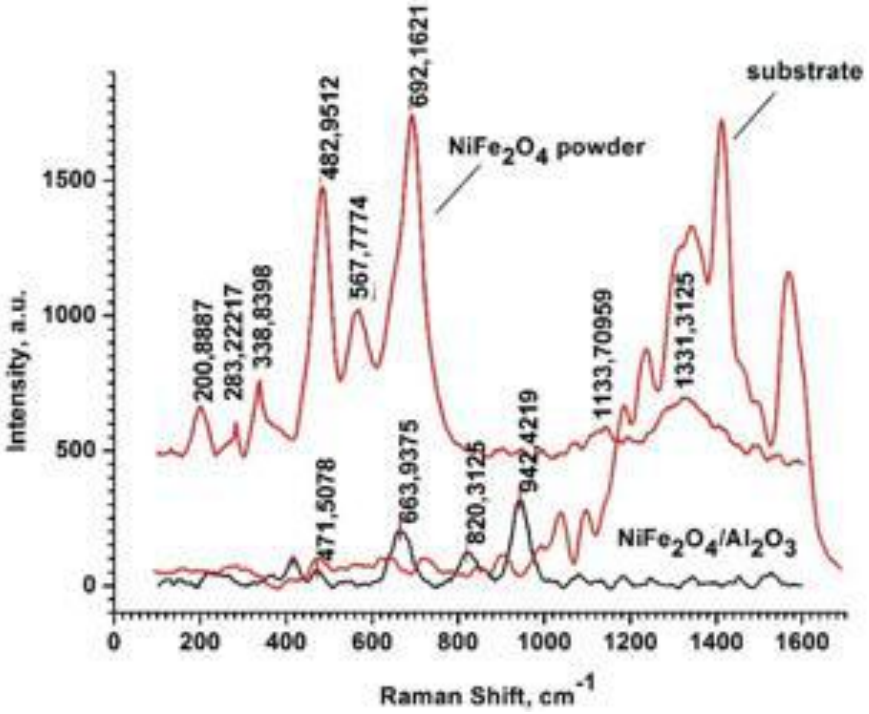
Şəkil 4-də 300K temperaturunda alınmış $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x$=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 1,0) ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrləri göstərilmişdir. Çoxsaylı təcrübələr göstərdi ki, iki xarakterik spektral zolaq mövcuddur. Zolaqlardan biri qəfəs rəqslərinin Raman spektrlərinə, digəri isə yaxşı ayırd olunmuş xəttlər qrupundan ($Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ tərkibi üçün: bu xəttlər 880sm$^{-1}$, 784sm$^{-1}$ tezliklərinə uyğundur) ibarət Raman spektrinə uyğundur. Qəfəs rəqsləri ilə bağlı spektral zolaqların təbiətinə növbəti hissədə baxılıb. Şəkil 5-dən göründüyü kimi, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ -in tədqiq olunan bütün tərkiblərinin Raman spektrlərində müşahidə olunan dəyişikliklərin dinamikası spektrə mümkün qatqının yaxud leykosapfir altlığın lüminessensiya ehtimalı ilə heç bir şəkildə bağlı deyil.

$Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ nazik təbəqəsində müşahidə olunan intensivliyin böyük qiyməti 26,4THs tezlikdə şüalanmanın generasiyasına uyğundur.

Şəkil 6-da: a. $Ni_{0,60}Zn_{0,40}Fe_2O_4$ tərkibli nazik təbəqənin 880sm$^{-1}$ Raman xəttinin tezlik, intensivlik və yarımeninin həyəcanlandırıcı işığın gücündən asılılığı; b. $Fe^{3+}$ ionlarının miqdarının və maqnit klasterlərinin ölçüsünün dəyişməsinin, xətlərin tezliklərinin və intensivliklərinin sürüşməsinin nazik təbəqələrin tərkibindən asıllığı təsvir olunmuşdur. Şəkil 7-də Raman səpilmə spektral xətlərinin parametrlərinin, həmçinin onların nisbi $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ (x=0; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 1,0) nazik təbəqələrinin tərkibindən asılılığı göstərilmişdir. Dəyişmə diapazonu (840-960) sm$^{-1}$ və (812-896) sm$^{-1}$ təşkil edir.




*Şəkil 4.* Sapfir altlıq üzərində sintez olunmuş $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin ($x$=0;0,25;0,4;0,5;0,6;0,75) nazik təbəqələrinin Raman-spektrləri.




*Şəkil 5.* Altlığın, $NiFe_2O_4$ ferritinin mikrotozu və nazik təbəqəsinin Raman spektrləri.

## b. TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

Bu hissədə Raman spektrlərində kollinear ferrimaqnit və adi simmetriya nəzəriyyəsi çərçivəsində izah oluna bilməyən xətlər qrupunun yaranma xüsusiyyətləri analiz olunur.

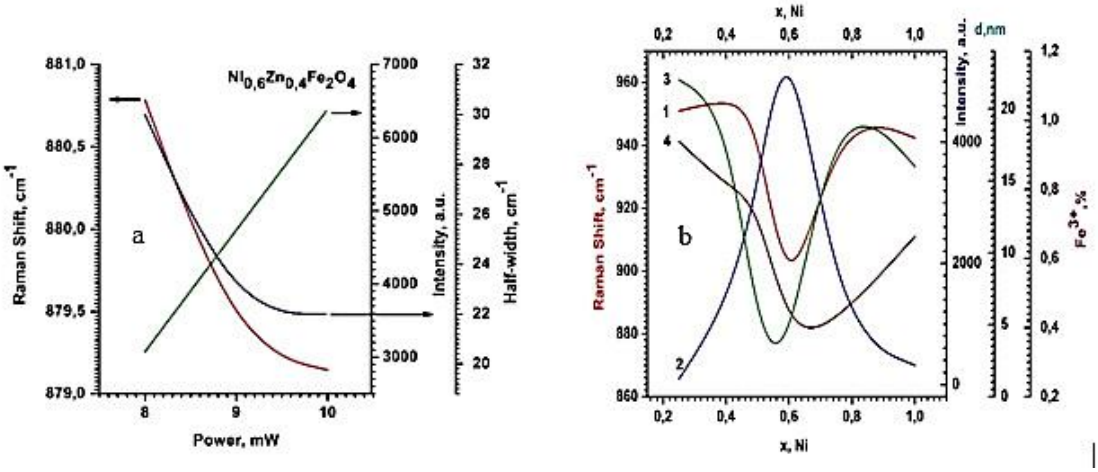
Qeyd edək ki, $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrləri ilə $Fe_3O_4$, $Fe_2O_3$, ZnO və NiO-nun Raman spektrləri arasında oxşarlıq azdır. [4,5] işlərində Nb:STO(100) və $MgAl_2O_4$(MAO) altlıqları üzərinə sintez olunmuş $NiFe_2O_4$ təbəqəsinin Raman spektrləri haqqında məlumatlar verilmişdir. Bizim araşdırmamızdan fərqli olaraq, Raman spektrlərində heç bir yeni struktur müəyyən edilməmişdir. Si(100) altlığı üzərinə sintez olunmuş və qalınlığı 176, 118, 87, 62nм olan $NiFe_2O_4$ təbəqələrinin Raman spektrlərində xarici intensiv maksimum (520 $sm^{-1}$) müəyyən edilmişdir [6]. Müəlliflər bu maksimumu altlığın Raman spektrinə aid etmişdir. [7,8] işlərində Si(111) altlığı üzərinə sintez olunmuş maqnetit təbəqənin Raman spektrləri tədqiq olunmuşdur. (669$sm^{-1}$) həyəcanlanma tezliyində əlavə maksimum müşahidə olunmuşdur və [8] işinin müəllifləri bu maksimumu digər fazaların mövcudluğu ilə interpretasiya etmişlər. [7] işində alınmış əlavə maksimumlar dəmir oksidinin nanohissəciyi kimi, və xassələri bir tərəfdən $Fe_3O_4$, digər tərəfdən isə γ-$Fe_2O_3$ ilə müəyyən edilən «Janus» hissəciyinin mövcudluğu ilə (əlavə maksimumlar: 700$sm^{-1}$ və 350$sm^{-1}$) interpretasiya olunmuşdur.

MgO(100) altlıqlı NiO (100) təbəqəsinin otaq temperaturunda çəkilmiş Raman spektrlərində 34$sm^{-1}$, 1500$sm^{-1}$ və 2650$sm^{-1}$ tezliklərinə uyğun olaraq bir, iki və dörd maqnonlu maksimumlar aşkar olunmuşdur. Nanotozlarda ikimaqnonlu maksimum çox zəif intensivliyə malik olur və qızma nəticəsində yox olur. Qeyd edək ki, 500$sm^{-1}$ maksimumu birfononlu ~440$sm^{-1}$ və birmaqnonlu ~40$sm^{-1}$ vəziyyətin kombinasiyasına aid edilir (daha doğrusu TO+1M kombinasiyası). Həyəcanlandırıcı lazerin şüalanma gücü artdıqda, maqnon maksimumların intensivliyi artır.

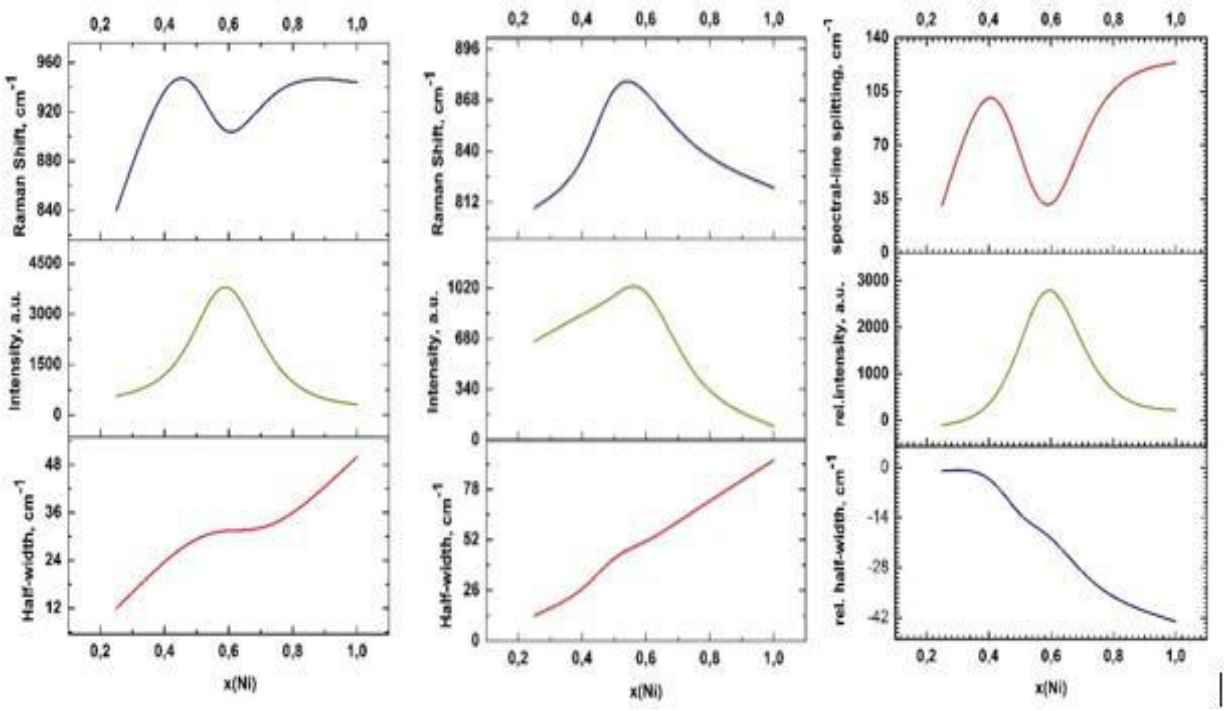
$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ birləşmələrinin nazik təbəqələrinin Raman spektrlərinin spektral xüsusiyyətlərinin eksperimental tədqiqi müxtəlif tərkiblərdə Raman spektrlərindəki dəyişikliyin $Fe^{3+}$ ionlarının miqdarının dəyişməsi ilə, müşahidə olunan maqnit klasterlərinin ölçüləri ilə, 880$sm^{-1}$ ($Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ üçün) xəttinin tezliyinin və intensivliyinin dəyişməsi ilə əlaqələndirməyə imkan verdi (şəkil 6, b). $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ üçün 880$sm^{-1}$ və 784$sm^{-1}$ spektral xətlərinin tezliklərinin dəyişmə xarakteri x=0,4÷0,6 diapazonunda birinci növ faza keçidinə oxşar, normal və çevrilmiş qəfəsin hər birinin qatqısının dəyişmə prosesini göstərir (şəkil 7). Lakin, bu spektral xətlərin tezliklərinin dəyişməsinin xarakterləri eyni deyil. Burada sanki iki asılılıq müşahidə olunur. İkinci spektral xətdə intensivliyin dəyişmə xarakteri tərkibin ümumi strukturunda iki strukturun qatqısının bərabər olmasını vurğulayır. $Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$-də xəttin nisbi intensivliyi $7\cdot10^3$-ə qədər çatır. Qeyd edək ki, bu tərkib maqnit nüfuzluğunun kəskin böyüməsi ilə xarakterizə olunur. Məlum olduğu kimi, $Ni_{0,7}Zn_{0,3}Fe_2O_4$ tərkibində maqnit nüfuzluğunun maksimal qiyməti alınır [24].

Atom qüvvə mikroskopunda $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin nazik təbəqələri üçün alınmış profillər $Ni_{0.6}Zn_{0.4}Fe_2O_4$ tərkibli təbəqədə maqnit domenlərinin ölçüsünün kiçildiyini göstərir [13]. Digər tərəfdən isə müşahidə olunan bütün dəyişikliklər [14] işində təsvir olunduğu kimi, tərkiblərdə iki və üç valentli dəmir kationlarının tərkiblərinin dəyişməsi ilə yaxşı korrelyasiya olunur. [15,16] işlərində Messbaur effektinin tədqiqi otaq temperaturunda *x*=0,4-0,8 tərkib intervalında $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərində normal şpineldən çevrilmiş şpinelə struktur keçidi olduğunu göstərdi.

$Ni_{0.40}Zn_{0.60}Fe_2O_4$ ferritində maqnit həyəcanlanmanın mövcud olması və təbiəti haqqında [10] işində məlumat verilmişdir. [9] işində kiçik bucaq altında neytron səpilməsinin energetik analizi həyata keçirilmişdir və göstərilmişdir ki, $Ni_{0.40}Zn_{0.60}Fe_2O_4$ ferritində mübadilə qarşılıqlı təsirlərin rəqabəti ilə şərtlənən qeyri-bircins maqnit struktur uzununa dalğa maqnit həyəcanlanma vəziyyətinin sıxlığının artmasına səbəb olur: *w*- domen sərhəddin rəqslərinə uyğun həyəcanlanma və *n w* -domen sərhəddi yaxınlığında lokallaşan həyəcanlanma .




*Şəkil 6.* a. $Ni_{0,60}Zn_{0,40}Fe_2O_4$ təbəqəsində 880$sm^{-1}$ Raman-xəttinin tezlik, intensivlik və yarımenininin həyəcanlandırıcı işığın gücündən asılılığı;
b. Xəttin tezlik (1) və intensivliyinin (2); maqnit klasterlərinin ölçülərinin (3) ; $Fe^{3+}$ ionlarının miqdarının (4) $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ nazik təbəqələrinin tərkibindən asılılığı.




*Şəkil 7.* Raman səpilməsinin spektral xəttlərinin parametrlərinin, həmçinin onların nisbi dəyişmələrinin altlığın səthinə çökdürülmüş $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ($x$=0;0,25;0,4:0,5; 0,6;0,75;1,0) ferritinin nazik təbəqələrinin tərkibindən asılılığı. Dəyişmə diapazonları (840-960) $sm^{-1}$ və (812-896) $sm^{-1}$ təşkil edir.

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin neytronoqramlarında 4.2K temperaturunda spinlərin perpendikulyar proyeksiyalarının nizamlı düzülüşü nəticəsində yaranan heç bir diffraksiya effekti aşkar olunmamışdır. Lakin, $x$(Zn)=0.60, 0.68, 0.75 konsentrasiyalarında aşağı temperaturlarda qeyri-kollinear maqnit strukturu üçün xarakterik olan yüksək sahə qavrayıcılığı özünü biruzə verir və maqnit momentlərinin $z$-proyeksiyalarının maqnit qeyri-bircinsliyinin əmələ gəlməsi nəticəsində kiçik bucaqlı intensiv neytron səpilməsi müşahidə olunur. Maqnit qeyri-bircinsliyinin effektiv ölçüsü 1-10nm təşkil edir.

$x$(Zn)=0.90 və 1.0 konsentrasiyalı ferritlər ferrimaqnit deyil və $x$(Zn)=0.90 tərkibində uzaq maqnit düzülüşü müşahidə olunmur. Yalnız yaxın antiferromaqnit düzülüş müşahidə olunur. $ZnFe_2O_4$ - də antiferromaqnit nizamlı düzülüşün xüsusiyyətləri ətraflı şəkildə [12, 13] işlərində tədqiq olunmuşdur.

[11, 12] tədqiqatlarının nəticələri [9] işində təsdiq olunmuşdur. [9] işində neytronun müxtəlif səpilmə bucaqlarına baxılmışdır və təcrübələr aşağı temperaturlardan 600K temperaturuna qədər aparılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, Küri temperaturundan aşağı temperatur intervalında $Ni_{0.40}Zn_{0.60}Fe_2O_4$ ferritində qeyri-bircins maqnit strukturu mövcuddur.

$Ni_{0.40}Zn_{0.60}Fe_2O_4$ ferritində, bir-birinə antiparalel yerləşən qonşu domenlərin maqnitlənmə rəqslərinin dipol qarşılıqlı təsirinə görə, domen sərhədləri yaxınlığında lokallaşan *nw* -həyəcanlanma enerjisi daxilidomenli maqnonların enerjisindən fərqlənir və beləliklə, spin dalğalarının təcrübi dispersiya əyriləri maqnit həyəcanlanma halının sıxlığının böyük olması nəticəsində energetik yarığa [10] malik olur. Enerji yarığının təxmini qiyməti 0,15meV-dir, bu qiymət də terahers diapazon tezliyinə uyğun gəlir.

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$-də müşahidə olunan yüksək intensivlik maksimumlarının xarici maqnit sahəsinin gərginliyindən asılı olmaması, [7] işində olduğu kimi izah oluna bilər. Müşahidə olunan ikimaqnonlu xətlər xarici maqnit sahəsində yerini dəyişmir, çünki eynizamanda həyəcanlanan maqnonlar spin dalğalarının iki budağına aid olurlar və bu spin dalğaları həyəcanlandıqda Zeeman enerjisi saxlanılır və hər bir altqəfəsin spininin qiyməti bir vahid azalır.

## NƏTİCƏ

$Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ tərkiblərinin nazik təbəqələrinin Raman spektrləri onlara normal rəqslərin spektrlərinin qatqısını, maqnon və maqnon –fonon qarşılıqlı təsirini nəzərə almaqla daha doğru interpretasiya olunur. Bu fikir dolayı mübadilə qarşılıqlı təsir prosesində yaranan və əlavə maqnit düzülüşə, daha doğrusu üçüncü maqnit altqəfəsin yaranmasına səbəb olan, sıçrayışlı 3d elektronlarının qatqısının nəzərə alan iki altqəfəsli ferritlərin relaksasiya nəzəriyyəsinə görə daha doğrudur.

Sapfir altlıq üzərinə sintez olunmuş 20nm qalınlıqlı $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ nazik təbəqələrində $0 \le x \le 0{,}75$ tərkib aralığında spin mübadilə dalğalarının 26,4THs yaxud 880$sm^{-1}$ generasiya xətlərinin olması müəyyən edilmişdir.

Bu iş Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun maliyyə dəstəyi ilə həyata keçirilmişdir– Qrant № EIF – 2013-9(15) – 46/05/1.

[1] *К.Л. Белов*. УФН т.163, №5, с.53-66,1993.

[2] *A.H. Habibzade, S.I. Aliyeva, Sh. N.Aliyeva, T.R. Mehdiyev*. AJP Fizika. vol. XVIII, N. 3, Section:En, 2012, p.3-16

[3] *S.N. Aliyeva, E.N.Aliyeva, A.I.Nadjafov, T.R.Mehdiyev*. EPR spectra and AFM-analysis of thin film surfaces of (Zn, Ni) ferrites, ICTMC-19, 19th International Conference on Ternary and Multinary Compounds, Niigata, JAPAN, September1-5, 2014, p.113

[4] CameliuHimcinschi, IonelaVrejoiu, Georgeta Salvan, Michael Fronk, Andreas Talkenberger, *Dietrich R.T. Zahn, David Rafaja, and Jens Kortu* Optical and magneto-optical study of nickel and cobalt ferrite epitaxial thin films and submicron structures, J. of Appl. Phys., 113, 084101, 2013.

[5] *M.N. Iliev, D. Mazumdar, J.X. Ma, A. Gupta, F. Rigato and Fontcuberta.* J. Phys. Rev., B 83, 014108, 2011.

[6] *C. Haas.* Phase transitions in crystals with the spinel structure, Journal of Physics and Chemistry of Solids, vol. 26, issue 8, August 1965, p.1225-1232

[7] *Lu Zhang, Fan Zhang, Wen-Fei Dong, Jun-Feng Song, Qi-Sheng Huob and Hong-Bo* Sun Magnetic-mesoporous Janus nanoparticles, Chem. Commun., 2011,47, 1225-1227. *В.В Балашев, В.В. Коробцов, Т.А. Писаренко, Л.А. Чеботкевич*. ЖТФ, 2011, том 81, вып. 10, с.122-128

[8] *В.В. Балашев, В.В. Коробцов, Т.А. Писаренко, Л.А. Чеботкевич*. ЖТФ, 2011, том 81, вып. 10, с.122-128

[9] *Ю.Н. Михайлов, В.А. Казанцев*. ФТТ, 2010, том 52, вып. 5, с.894-897

[10] *В.П. Лукомский*. Укр.физ.журн. 1978, т. 23, №1, с.134-139

[11] *Ю.Г. Чукалкин, А.Е. Теплых*. ФТТ, 1998, т. 40, №8, с.1503-1504.

[12] *Ю.Г. Чукалкин, В.Р. Штирц*. ФТТ 30, 10, 2919, 1988.

[13] *Sh.N. Aliyeva, Y.N. Aliyeva, A.I. Nadjafov, I.S.Hasanov, E.K. Huseynov, T.R. Mehdiyev*. Phys. Status Sol. (c), 615, 2015.

[14] *Monica Sorescu, L. Diamandescu, R. Peelamedu, R. Roy, P. Yadoji*. Structural and magnetic properties of NiZn ferrites prepared by microwave sintering, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 279, 2004, 195-201

[15] V. Blanco-Gutiérrez, M.J. Torralvo, R. Sáez-Puche and P. Bonville. Magnetic properties of solvothermally synthesized $ZnFe_2O_4$ nanoparticles Journal of Physics: Conference Series 200, 072013, c. 5, 2010.

[16] *P.R. Graves, C. Johnston, J.J. Campaniello*. Raman scattering in spinel structure ferrites,Mater. Res. Bull. 23, 1988, p. 1651.

[17] *M.A.Laguna-Bercero, M.L. Sanju´an, R.I. Merino*. J. Phys.: Condens. Matter 19, 2007, 186217.

[18] *V.G. Ivanov, M.V. Abrashev, M.N. Iliev, M.M.Gospodinov, J. Meen, M.I. Aroyo*. Phys. Rev. B 82, 024104, 2010.

[19] International Tables for Crystallography, vol. A, No. 227, p.696, 2005

[20] *T. Krekels, O. Milat, G. Van Tendeloo, S.Amelinckx*. J.Solid St.Chem. 1993, v.5, p. 313-335.

[21] *Gagan Dixit, J.P. Singh, R.C. Srivastava, H.M.Agrawal, R.J.Chaudhary*. Adv. Mat. Lett. 2012, 3(1), 21-28.

[22] *R.E. Dietz, G.I. Parisot, A.E. Meixner*. Phys. Rev. B4, 2302, 1971.

[23] *M. Grimsditch, L.E. McNeil, D.J. Lockwood*. Phys. Rev. B58, 1446, 1998.

[24] *Н.Н. Шольц*. Ферриты для радиочастот, 2013, 131 с.

[25] *Z.Ž. Lazarević, Č. Jovalekić, A. Milutinović, D.Sekulić, V.N. Ivanovski, A. Rečnik, B. Cekić and N.Ž. Romčević*. Journal of Applied Physics, 113, 187221, 2013; doi: 10.1063/1.4801962.

[26] *Z. Wang, D. Schiferl, Y. Zhao, H.St. C. O'Neill.* J. Phys. Chem. Solids 64, 2517-2523, 2003, doi:10.1016/j.jpcs.2003.08.005.

[27] *Akansha Mishra, Laxmi Mishra , S. Mukherjee*. Study of variation in property of ferrites for microwave application due to change in particle size, Proc. of 7th IRF Intern. Conf., 27th April-2014, Pune, India, ISBN: 978-93-84209-09-4

[28] *К.П. Белов, А.Н. Горяга, А.И. Кокорев*. Вестн. Моск. Ун-та, сер. 3, Физика. Астрономия, 1986, т. 27, № 6

[29] *Дж. Бирман*. Пространственная симметрия и оптические свойства твердых тел, т.1-т.2, 1978, 387с.


**Sh.N. Aliyeva, A.M. Kerimova, S.S. Babayev, E.K. Huseynov, T.R. Mehdiyev**

## RAMAN SPECTRA OF $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ FERRITES


It is shown that Raman-scattering spectra of micropowders and thin films of all compositions of $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ include the group of spectral lines caused by the magnetic sublattice, appearing as a result of electron motion indirect exchange processes.

The existence of radiation generation by frequency 26,4THz in $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ thin films of thickness about 20nm, synthesized on standart leucosapphire substrates at excitation by Nd:YAG laser (excitation wavelength-532nm)is established. The hypothetical interpretation of obtained results is given in present paper.

**Ш.Н. Алиева, А.М. Керимова, С.С. Бабаева, Э.К. Гусейнов, Т.Р. Мехтиев**

## РАМАН-СПЕКТРЫ $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ФЕРРИТОВ

Показано, что спектры Раман-рассеяния микропорошков и тонких пленок $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ всех составов содержат группу спектральных линий, обусловленных магнитной подрешёткой, возникающей в результате движения электронов в процессах косвенного обмена.

Установлено наличие генерации излучения с частотой 26,4THz в тонких пленках $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ толщиной около 20nm, синтезированных на стандартных лейкосапфировых подложках, при возбуждении Nd:YAG лазером (длина волны возбуждения - 532nm). Дана предположительная интерпретация полученных результатов

*Qəbul olunma tarixi: 25.11.2015*

# QARAQAYA DOLOMİTİNİN TERMİK XASSƏSİ

**Ə.C. XƏLİLOV**
*AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu, Bakı ş., Bəxtiyar Vahabzadə 9*

**R.F. VƏLİYEV**
*Firma "YANARDAĞ" LTD, Bakı ş., Ceyhun Hacıbəyli küç., ev 36, mən. 30*

**M.X. ÇOPUROV**
*Firma "ATİK" MMC, Bakı ş., Nərimanov r., A.Salamzadə küç., ev 67*

**C.C. XƏLİLOV, İ.Y. ƏLİYEV**
*AMEA, akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu*
*AZ-1143, Bakı ş., H.Cavid pr., 131.*
*E-mail: khalilovali@mail.ru,*

Dolomit-Ca Mg $(CO_3)_2$ – kristallokimyəvi baxımdan kalsitin ($CaCO_3$) və maqnezitin ($MgCO_3$) vahid kimyəvi birləşmə əmələ gətirməsindən ibarətdir. Dolomitdə MgO-in nisbətən çox olması (49%), onun sənayenin müxtəlif sahələrində qiymətli xammal kimi istifadə olunmasına əsas verir. Dolomit yüksək temperaturda parçalandıqda CaO, MgO və $2CO_2$ çevrilir. Alınan məhsul çətin əriyən, oda davamlı material, yüksək temperatura davamlı keramik material istehsalında və şüşə sənayesində tətbiq olunur.

**Açar sözlər:** Qaraqaya dolomiti, rentgenspektral analiz, rentgenfaza analizi, Differensial Termik Analiz (DTA), Termoqravimetrik Analiz (TQA), dolomit klinkeri.
**Pacs:** 544.2

## GİRİŞ

Qaraqaya dolomit yatağı Bakı şəhərindən 90 km məsafədə, Qobustan rayonunun ərazisində yerləşir. Dolomit $CaCO_3$ (54.3%) və $MgCO_3$ (45.7%)-dən ibarətdir. Onlarda oksidlərin miqdarı: CaO-30.4%, MgO-47.9% və $2CO_2$ 21.7%-dir.

Təbiətdə, əksər hallarda dolomitin tərkibində izomorf qarışıq kimi: Fe, Mn; nadir hallarda Cu, Ni, CO rast gəlir. Dolomitin tərkibində mexaniki qarışıq kimi: flyorit, barıt, siderit, kvars, serpentin, kalsit, ankerit və s. minerallar da olur [6]. Dolomitdə, adətən, Mg izomorf olaraq $Fe^{2+}$-lə əvəz olunur və fasiləsiz bərk məhlul əmələ gətirir. Bəzən dolomitdə Mg-un Fe-lə əvəz olunması ankerit-Ca($Fe^{2+}$, Mg) $(CO_3)_2$ mineralının əmələ gəlməsinə səbəb olur [2]. Bəzi hallarda kalsitin dolomitdə miqdarı 50%-ə çatır [4]. Əmələ gəlməsinə görə dolomit sedimentasiya, metasomotizm, bəzi hallarda kimyəvi mənşəli olurlar [4]. Dolomitin tətbiq sahələrindən biri də sement istehsalıdır, ancaq dolomit sementinin havaya qarşı davamsız olması onun keyfiyyətini azaldır. Son illər bu problemi aradan qaldırmaq üçün dolomit sementinə seolitli süxurlar və termik aktivləşdirilmiş soprepeller əlavə olunur [7,8]. Dolomit çoxlu sayda tətbiq sahəsinə malik olan mineral xammaldır. Onlardan biri də yüksək keyfiyyətli, oda davamlı material istehsalıdır. Dolomit olduqca geniş tətbiq sahəsi olan mineral xammaldır və metallurgiya, tikinti, aqrokimya senayesində istifadə olunur. O cümlədən, tikintidə yapışdırıcı material kimi istifadə olunur [4]. Bu tədqiqat işinin məqsədi Qaraqaya dolomit mineral xammalının kimyəvi və mineraloji tərkibinin və termiki xassələrinin öyrənilməsindən ibarətdir.

Cədvəl

Qaraqaya və Daşlı Dolomit yataqlarının kimyəvi tərkibləri

| S/N | № | $Na_2O$ | MgO | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | $P_2O_5$ | $SO_3$ | Cl | $K_2O$ | CaO | $TiO_2$ | MnO | $Fe_2O_3$ | K.I | ∑ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Qaraqaya Sınaq 1 | 0.13 | 15.0 | 1.45 | 4.88 | 0.34 | 0.27 | 0.021 | 0.40 | 33.15 | 0.083 | 0.059 | 0.91 | 43.81 | 99.77 |
| 2 | Qaraqaya Sınaq 2 | 0.13 | 15.2 | 0.52 | 1.76 | 0.20 | 0.084 | 0.029 | 0.15 | 35.84 | 0.031 | 0.12 | 0.41 | 45.04 | 99.68 |
| 3 | Qaraqaya Sınaq 3 | 0.10 | 15.3 | 1.65 | 5.33 | 0.78 | 0.058 | 0.005 | 0.46 | 32.04 | 0.092 | 0.073 | 1.01 | 42.32 | 99.56 |
| 4 | Daşlı Dolomit Sınaq 1 | 0.13 | 14.7 | 1.16 | 4.49 | 0.20 | 0.090 | 0.011 | 0.33 | 33.85 | 0.072 | 0.088 | 0.80 | 43.85 | 99.77 |
| 5 | Daşlı Dolomit Sınaq 2 | 0.15 | 15.2 | 0.94 | 3.23 | 0.18 | 0.079 | 0.019 | 0.27 | 34.91 | 0.066 | 0.080 | 0.75 | 44.10 | 99.87 |

## 2. EKSPERİMENT

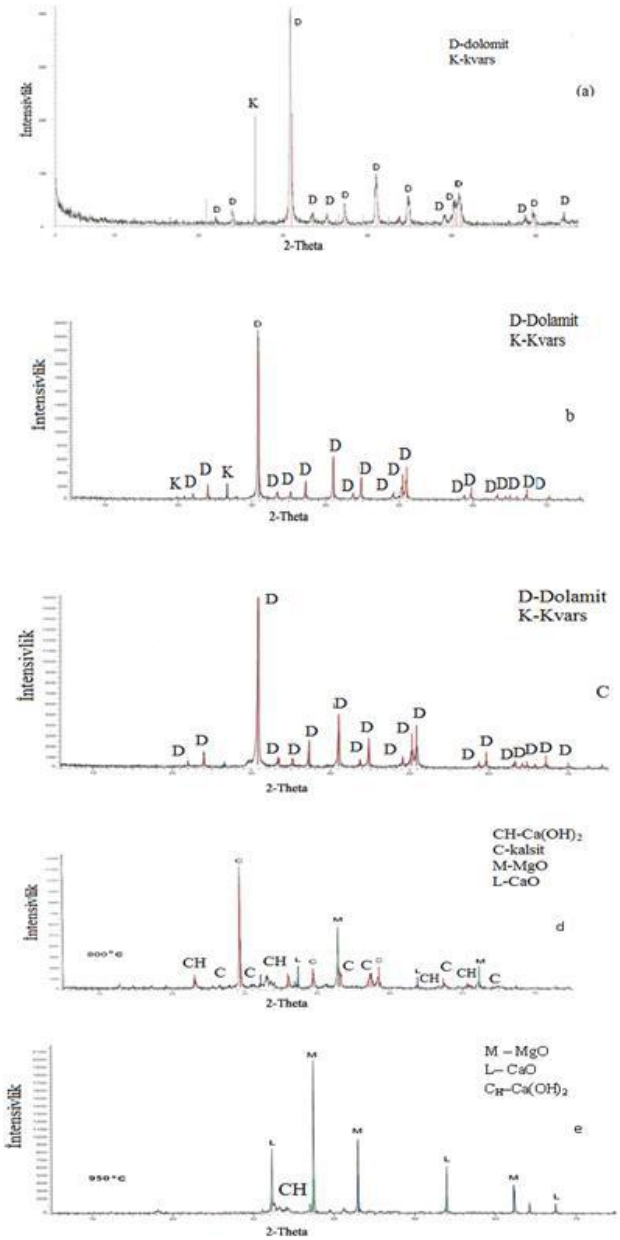
### 2.1. Kimyəvi tərkibin analizi (Rentgen spektral analizi)

Dolomitin kimyəvi tərkibini müəyyən etmək üçün yatağın üç müxtəlif yerlərindən üç nümunə götürülmüşdür.

Almaniya istehsalı olan "Advans" markalı cihazın köməyi ilə kimyəvi tərkib analiz olunmuşdur. Analizin nəticələri cədvəl № 1-də verilir.* Cədvəldə göründüyü kimi hər 3 nümunə, əsasən MgO və CaO –dən, ($CO_2$)-dən ibarətdir.

Başqa qarışıqlardan ən çox $SiO_2$-dir. Bir az irəli gedərək qeyd etmək lazımdır ki, kimyəvi və mineraloji tərkib eyni nümunələrdən olmadığı üçün, mineraloji tərkibin analizində mütləq bu faktı nəzərə almaq vacibdir. Qaraqaya dolomitinin kimyəvi tərkibinin Azərbaycanın başqa dolomit yataqları ilə müqayisəsi üçün cədvəl 1-də Daşgil dolomit yatağından götürülmüş 2 nümunənin də kimyəvi tərkibi verilir. Cədvəldən göründüyü kimi hər iki yatağın dolomitinin kimyəvi tərkibi bir-brinə çox yaxındır.

### 2.2.Mineraloji tərkibin analizi. (Rentgenfaza analizi)




*Şəkil 1.* Dolomit nümunələrinin difraktoqramları. a –təbii dolomit, b – təbii dolomit, c – təbii dolomit, d – ~ 800° C-də yanmış dolomit, e – ~ 950° C-də yanmış dolomit.

* Analiz 2004-cü ildə "Azbentonit" şirkətində aparılmışdır.

Qaraqaya yatağından götürülmüş 3 nümunə xarici görünüşlərinə görə, əsasən, rəngləri ilə fərqlənirlər.

Nümunələr Almaniyanın istehsalı olan Advans-8 cihazında analiz olunmuşdur (Cu-şüalanma, Ni-filt).

Nümunələrin difraktoqramları şəkil 1-də verilir. Nümünə "a" əsasən dolomitdən, az miqdarda kvarsdan ibarətdir.

Nümunə "b", "c" mineraloji tərkibinə görə, demək olar ki, "a" nümunəsi ilə eynidir. d-si 3.20 Å –dən çox olan zəif refleks çöl şpatına uyğun gəlir.

Səkil 1 d-də 800°C, e - 950°C yandırılmış nümunənin difraktoqramı verilir. 800°C yandırılmış nümunə, əsasən, kalsitdən $CaCO_3$- dən, CaO və MgO-dən ibarətdir. Göründüyü kimi, $950^o$ C -də dolomit tam parçalanır, lakin tam kristallaşmamış maddə əmələ gəlir və hələ dəqiq təyin olunmayıb. Çox ehtimal ki, bu havada CaO -in hidratlaşması nəticəsində əmələ gələn $Ca(OH_2)$-dir. Lakin d-si 2,96 Å olan pik kutnaherit- $Ca(Mn, Mg, Fe^{2+})(CO_3)_2$ mineralına uyğun gəlir. 950° -də, demek olar ki, dolomit tamamilə CaO və MgO-ya çevrilir. (şəkil 1e)

## 2.3. Termik analiz

Termik analiz Almaniya istehsalı olan "Perkin Elmer" STA600 cihazında aparılmışdır.

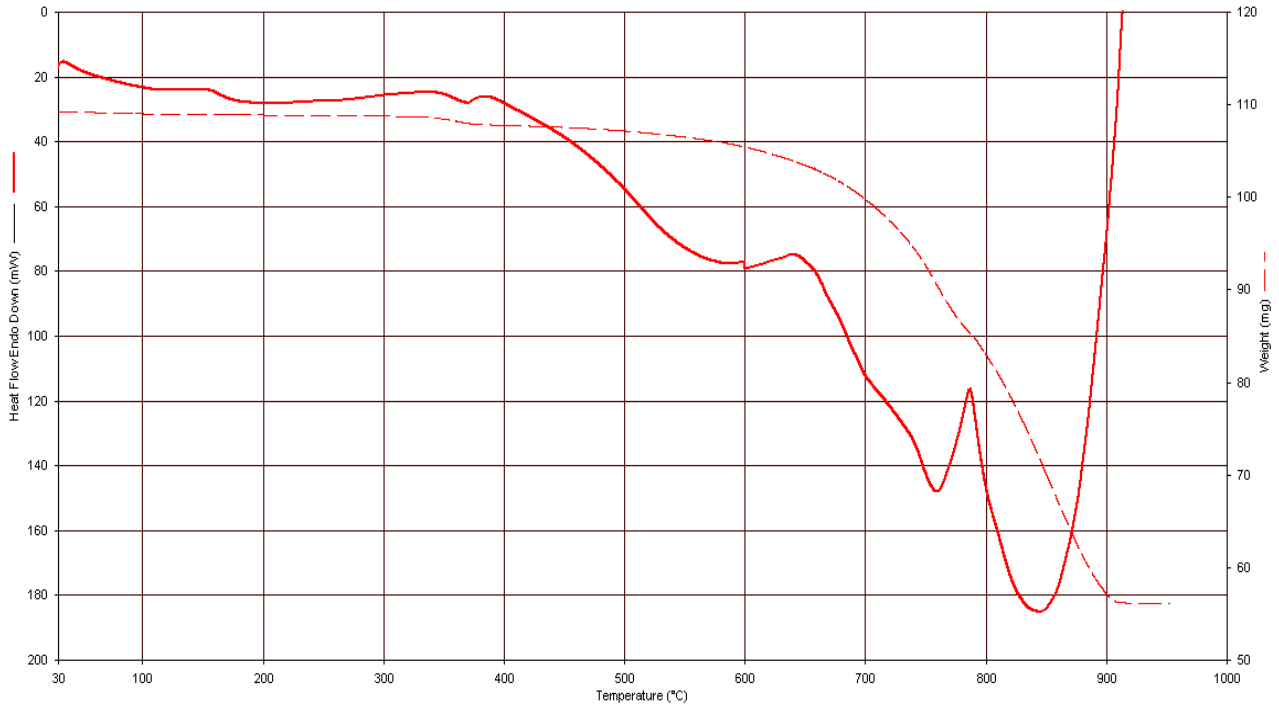
Termoqramı almaq üçün, nümunədən aqat həvəngdə, ölçüsü 5mm-ə qədər olan toz alınmışdır. 950°C-də 30 dəqiqə saxlanılmışdır.

Termoqram (DTA) şəkil 2-də verilir: 370°C, 570°C, 760°C və 840°C -də 4 endoeffekt var.

Çox ehtimal ki, 370°C nümunədən nəmlik çıxır, üzvi maddə parçalanır və s. 760°C-də dolomitin kristallik quruluşu parçalanır: MgO və $CaCO_3$ əmələ gəlir. 840°C-də $CaCO_3$, CaO və $2CO_2$- yə parçalanır.

[5], [6]-nın məlumatlarına görə dolomitin parçalanması 777,8°C və 834°C-də baş verir.

Birinci pik MgO-nin, ikinci pik CaO və $CO_2$-nin əmələ gəlməsinə səbəb olur. 1000°C-dən yuxarıda $Ca_3Mg(SiO_4)_2$ və $CaSiO_4$ əmələ gəlir.




*Şəkil 2.* Dolomit nümunəsinin DTA-i və TQ-ı.

## 3. NƏTİCƏLƏRİN MÜZAKİRƏSİ

RFA-ın nəticələrinə görə, dolomit 760°C və 834°C intervalında parçalandıqda, $CaCo_3$, MgO, $CO_2$ əmələ gəlir. Temperatur 950°C-yə çatanda, $CaCo_3$ -də, CaO və $CO_2$ parçalanır.

Ədəbiyyatdan [7] məlumdur ki, hava şəraitində $1000^oC$-dən yuxarı temperaturda, əgər dolomitdə kvars varsa, kvars dolomitlə reaksiyaya girərək $Ca_3Mg(SiO_4)$ əmələ gətirir.

Dolomitdən *t*-ya davamlı material almaq üçün, onda Mg-un miqdarı maksimum olmalıdır və kristallitlərin ölçüsü $\leq 0.1$ mm olmalıdır.

Dolomit klinkerində CaO su buraxı ilə reaksiyaya girərək Ca(OH) əmələ gətirir. Bu isə klinkerin həcminin genişlənməsinə səbəb olur və nəticədə ondan alınan yapışdırıcı parçalanır. Bunun qarşısını almaq üçün, klinkerə serpentinit və peridotit əlavə olunur. Bu zaman CaO tamamilə $SiO_2$-lə riaksiyaya girir və yüksək temperatura davamlı $Ca_3SiO_5$ əmələ gəlir. $Ca_3SiO_5$-in ərimə temperaturu 1500°C [8].

[1] *А.Г. Бетехтин.* «Курс минерологии» Москва, 1956.
[2] *Л. Берри, Б. Мейсон, Р. Дитрик.* Минералогия. Москва «Мир», 1987.
[3] Геология Азербайджана. Нерудные полезные ископаемые. Изд. АН Аз.ССР Баку, 1957, 190-298.
[4] *Ю.В. Сементовский, Е.Б. Бабрикова.* Минеральное сырье–Доломит. "Справочник. М.ЗАО" Геоинформация, 1998, 24.
[5] *S.Gunasekaran and G. Anbalagan.* Thermal decomposition of Natural dolomite. Bull Mater. Sci. Vol.30, N4, August 2007, p. 339-344.
[6] *B. Shahraki, B. Mehrabi and R. Dabiri.* Thermal behavior of refresh dolomite mine. (Central Uran). Journal of Mining and Metallurgy. 45. B (1), 2009, 35-44.
[7] *Д.К. Бирюлова*. Доломитовый цемент повышенной прочности и водостойкости. Диссертация. Казань. 2000.
[8] *Я. Инамури.* Огнеупорные материалы и их применение. Перевод с японского. *А.А. Тихонова.* Под редакцией. *А.Г. Юдина* 15.02.1981.

*Qəbul olunma tarixi: 25.11.2015*

# FİZİKİ TERMİNLƏR VƏ İFADƏLƏR

**A.İ. MUXTAROV**
*BDU, Z. Xəlilov, 23*

**M.A. MUXTAROV**
*AMEA-nın Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu*
*Baki şəh., F. Ağayev küç, 9.*

**T.R. MEHDİYEV, K.B. QURBANOV, E.A. AXUNDOVA, N.A. AXUNDOVA, N.İ. HÜSEYNOVA, S.İ.ƏLİYEVA, E.Ə. ƏLƏSGƏROVA**
*AMEA, akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutu*
*Az-1143, Bakı şəhəri, H. Cavid pr.,131.*

G

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0001** | gecə effekti | night effect | ночной эффект |
| **g0002** | gecə görünüşü | scotopic vision | ночное зрение |
| **g0003** | gecə göyünün işıqlanması | night airglow | свечение ночного неба |
| **g0004** | gecə işıqlanan buludlar | luminous night clouds | ночные светящиеся облака |
| **g0005** | gecə-gündüz bərabərliyi, bərabərlik nöqtəsi | equinox | равноденствие, точка равноденствия |
| **g0006** | gecə-gündüz bərabərliyinin kolyuru | equinoctial colure | колюр равноденствий |
| **g0007** | gecə şüalanması | nocturnal radiation | ночное излучение |
| **g0008** | gecə-gündüz hərəkəti | diurnal motion | суточное движение |
| **g0009** | gecə-gündüz librasiyası | diurnal libration | суточная либрация |
| **g0010** | gecə-gündüz parallaksı | diurnal parallax | суточный параллакс |
| **g0011** | gecə-gündüz paraleli | diurnal circle | суточная параллель |
| **g0012** | gecə-gündüz qabarmaları | diurnal tides | суточные приливы |
| **g0013** | gecə-gündüz variasiyası | diurnal variation | суточная вариация, суточное изменение |
| **g0014** | gecə-gündüz aberrasiyası | diurnal aberration | суточная аберрация |
| **g0015** | gecə-gündüz yaz bərabərliyi | vernal equinox | весеннее равноденствие |
| **g0016** | gecə-gündüzün minimal temperaturu | daily minimum temperature | суточная минимальная температура |
| **g0017** | gecə-gündüzün maksimal temperaturu | daily maximum temperature | суточная максимальная температура |
| **g0018** | gecikdirilmiş açma | delayed sweep | задержанная развертка |
| **g0019** | gecikdirmə sxemi, tutum dövrəsi | delay circuit | схема задержки, цепь задержки |
| **g0020** | gecikən cərəyan | lagging current | запаздывающий ток |
| **g0021** | gecikən neytron | delayed neutron | запаздывающий нейтрон |
| **g0022** | gecikən potensial | delayed potential, retarded potential | запаздывающий потенциал |
| **g0023** | gecikən Qrin funksiyası | retarded Green function | запаздывающая функция Грина |
| **g0024** | gecikən üs-üstə düşmə | delayed coincidence | запаздывающее совпадение |
| **g0025** | gecikən zərrəcik | delayed particle | запаздывающая частица |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0026** | gecikmə | lag | запаздывание, задержка, отставание |
| **g0027** | gecikmə bucağı | angle of lag | угол запаздывания |
| **g0028** | gecikmə müddəti, gecikmə vaxtı | dead time | время запаздывания, время задержки |
| **g0029** | gecikmə spektri | retardation spectrum | спектр запаздывания |
| **g0030** | gecikmənin (ləngimənin) maqnitostriksiya xətti | magnetostrictive delay line | магнитострикционная линия задержки |
| **g0031** | gecikmənin elektrik xətti | electric delay line | электрическая линия задержки |
| **g0032** | gecikmənin təhrifi | delay distortion | искажение задержки |
| **g0033** | gedişlər (yollar) fərqi | path difference | разность хода (волн) |
| **g0034** | gen | gene | ген |
| **g0035** | gen mutasiyası | gene mutation | генная мутация |
| **g0036** | generasiyaetmə amplitudu | oscillation amplitude | амплитуда генерации |
| **g0037** | generasiya dalğa uzunluğu | oscillation wavelength | длина волны генерации |
| **g0038** | generasiya dalğası | lasing wave | волна генерации |
| **g0039** | generasiya edilən işıq | lasing light | генерируемый свет |
| **g0040** | generasiya edilən moda (adət) | oscillating mode | генерируемая мода |
| **g0041** | generasiya edilən proqram | generating program | генерирующая программа, программа-генератор |
| **g0042** | generasiya edilmiş ünvan | generated address | генерированный адрес |
| **g0043** | generasiya gərginliyi | lasing voltage | напряжение генерации |
| **g0044** | generasiya mexanizmi | oscillation mechanism | механизм генерации |
| **g0045** | generasiya prinsipi | oscillation principle | принцип генерации |
| **g0046** | generasiya şərti | lasing condition | условие генерации |
| **g0047** | generasiya spektri | oscillation spectrum | спектр генерации |
| **g0048** | generasiya spektrinin eni | oscillation spectrum width | ширина спектра генерации |
| **g0049** | generasiya tezliyi | oscillation frequency | частота генерации |
| **g0050** | generasiya zolağının eni | lasing bandwidth | ширина полосы генерации |
| **g0051** | generasiya oblastı | lasing region | область генерации |
| **g0052** | generasiya xətti | oscillation line | линия генерации |
| **g0053** | generasiya xəttinin eni | oscillation line width | ширина линии генерации |
| **g0054** | generasiya xarakteristikası | oscillation characteristic | генерационная характеристика |
| **g0055** | generasiyanın (əmələ gəlmənin) intensivliyi | lasing intensity | интенсивность генерации |
| **g0056** | generasiyanın həddşərti | threshold condition of oscillation | пороговое условие генерации |
| **g0057** | generasiyanın hüdudu | oscillation threshold | порог генерации |
| **g0058** | generator | generator, oscillator, vibrator | генератор |
| **g0059** | generator lampası | oscillating tube | генераторная лампа |
| **g0060** | generator qazı | producer gas | генераторный газ |
| **g0061** | generatorun müqaviməti | generator resistance | сопротивление генератора |
| **g0062** | genetik karta | genetic map | генетическая карта |
| **g0063** | genetik kod | genetic code | генетический код |
| **g0064** | genetik məlumat | genetic information | генетическая информация |
| **g0065** | genetik analiz | genetic analysis | генетический анализ |
| **g0066** | geniş mənada funksiya elementi | function element in the wider sense | элемент функции в широком смысле |
| **g0067** | geniş mənada müntəzəm yığılma | uniform convergence in wide sense | равномерная сходимость в широком смысле |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0068** | geniş mənada paralel | parallel in wide sense | параллельный в широком смысле |
| **g0069** | geniş mənada analitik davam etdirmə | analytic function in the wider sense | аналитическое продолжение в широком смысле |
| **g0070** | geniş mənada analitik funksiya | analytic function in wide sense | аналитическая функция в широком смысле |
| **g0071** | geniş sahəli gücləndirici | wide-band amplifier | широкополосный усилитель |
| **g0072** | geniş sahəli veriliş | broad-band transmission | широкополосная передача |
| **g0073** | geniş zolaqlı güclənmə | wide-band amplification | широкополосное усиление |
| **g0074** | geniş-impulslu modulyasiya | pulse-length modulation | широтно-импульсная модуляция |
| **g0075** | genişlənən dəstə | scanning beam | развёртывающий (сканирующий) пучок, развёртывающий (сканирующий) луч |
| **g0076** | genişlənən kainat | expanding universe | расширяющаяся вселенная |
| **g0077** | genişlənən örtük | expanding shell | расширяющаяся оболочка |
| **g0078** | genişlənmə | expansion | расширение |
| **g0079** | genişlənmə əmsalı | expansion coefficient | коэффициент расширения |
| **g0080** | genişlənmə əyrisi | expansion curve | кривая расширения |
| **g0081** | genişlənmə qüvvəsi | expansion force | сила расширения |
| **g0082** | genişlənmə | expansibility | расширяемость |
| **g0083** | genişlənmələr qrupu | group of extensions | группа расширений |
| **g0084** | genişlənmiş matrisa | augmented matrix | расширенная (пополненная) матрица |
| **g0085** | geriyə (dal-dala) hərəkət | retrograde motion | попятное движение |
| **g0086** | geri qalmaq (ləngimə) | delay | задержка, запаздывание, отставание |
| **g0087** | germetikliyə nəzərən sınama | airtight test | испытание на герметичность |
| **g0088** | germanium | germanium | германий |
| **g0089** | germanium diodu | germanium diode | германиевый диод |
| **g0090** | germanium düzləndirici | germanium rectifier | германиевый выпрямитель |
| **g0091** | germanium ərinti tranzistoru | germanium alloy transistor | германиевый сплавной транзистор |
| **g0092** | germanium kristalı | germanium crystal | германиевый кристалл |
| **g0093** | germanium meza-tranzistoru | germanium mesa transistor | германиевый меза-транзистор |
| **g0094** | germanium tranzistoru | germanium transistor | германиевый транзистор |
| **g0095** | germaniumun monokristalı | germanium single crystal | монокристалл германия |
| **g0096** | gerpolodiya | herpolhode | герполодия |
| **g0097** | getdikcə artan ardıcıllıq | increasing sequence | возрастающая последовательность |
| **g0098** | getdikcə azalma, əksilmə | decrease, decreasing, diminution, diminishing, subsiding | убывание, убыль |
| **g0099** | geotermika (geoistilik) | geothermics | геотермика |
| **g0100** | geterogen kataliz | heterogeneous catalysis | гетерогенный катализ |
| **g0101** | gərgin hal | stressed state | напряжённое состояние |
| **g0102** | gərginlik | intensity, strength, tension | напряженность |
| **g0103** | gərginlik | voltage | напряжение |
| **g0104** | gərginlik komponenti | stress component | составляющая напряжения |
| **g0105** | gərginlik bölən | voltage divider | делитель напряжения |
| **g0106** | gərginlik dövrəsi | voltage circuit | цепь напряжения |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0107** | gərginlik amplitudu | stress amplitude | амплитуда напряжения |
| **g0108** | gərginlik düşgüsü | voltage drop | падение напряжения |
| **g0109** | gərginlik intensivliyi | intensity of stress | интенсивность напряжений |
| **g0110** | gərginlik ellipsi | stress ellipse | эллипс напряжений |
| **g0111** | gərginlik ellipsoidi | ellipsoid of stress | эллипсоид напряжений |
| **g0112** | gərginlik funksiyası | stress function | функция напряжения |
| **g0113** | gərginlik impulsu | voltage pulse | импульс напряжения |
| **g0114** | gərginlik konsentrasiyası | stress concentration | концентрация напряжений |
| **g0115** | gərginlik mənbəyi | voltage source | источник напряжения |
| **g0116** | gərginlik pulsasiyası | voltage pulsation | пульсация напряжения |
| **g0117** | gərginlik rejimi | voltage mode | режим напряжений |
| **g0118** | gərginlik relesi | voltage relay | реле напряжения |
| **g0119** | gərginlik rezonansı | voltage resonance | резонанс напряжений |
| **g0120** | gərginlik stabilizatoru | voltage stabilizer | стабилизатор напряжения |
| **g0121** | gərginlik sarğacı | voltage coil | катушка напряжения |
| **g0122** | gərginlik tənzimləyicisi | voltage regulator | регулятор напряжения |
| **g0123** | gərginlik tenzoru | stress tensor | тензор напряжений |
| **g0124** | gərginlik transformatoru | voltage transformer | трансформатор напряжения |
| **g0125** | gərginlik üzrə əks rabitə | voltage feedback | обратная связь по напряжению |
| **g0126** | gərginlik üzrə əks rabitəli gücləndirici | voltage feedback amplifier | усилитель с обратной связью по напряжению |
| **g0127** | gərginlik üzrə həssaslıq | voltage sensitivity | чувствительность по напряжению |
| **g0128** | gərginlik üzrə mənfi əks rabitə | voltage negative feedback | отрицательная обратная связь по напряжению |
| **g0129** | gərginlik üzrə paralel əks rabitə | parallel voltage feedback | параллельная обратная связь по напряжению |
| **g0130** | gərginlik üzrə əks rabitə | voltage feedback | обратная связь по напряжению |
| **g0131** | gərginlik üzrə ardıcıl əks rabitə | series voltage feedback | последовательная обратная связь по напряжению |
| **g0132** | gərginlik vektoru | voltage vector | вектор напряжения |
| **g0133** | gərginlik altında köhnəlmə | stress ageing | старение под напряжением |
| **g0134** | gərginlik altında korroziya | stress corrosion | коррозия под напряжением |
| **g0135** | gərginlik amplitudu | voltage amplitude | амплитуда напряжения |
| **g0136** | gərginlik xarakteristikası | voltage characteristic | характеристика напряжения |
| **g0137** | gərginlik, güc, qüvvət | stress | напряжение, усилие |
| **g0138** | "gərginlik-deformasiya" diaqramı | stress-strain diagram | диаграмма «напряжение - деформация» |
| **g0139** | gərginliklər epyuru (xətti) | stress line | эпюра напряжений |
| **g0140** | gərginliklər fərqi | voltage difference | разность напряжений |
| **g0141** | gərginliklər sırası | electrochemical series | ряд напряжений |
| **g0142** | gərginliyi gücləndirmə | voltage amplification | усиление напряжения |
| **g0143** | gərginliyi kənar etməklə dəmləmə | stress relieving | отжиг со снятием напряжений |
| **g0144** | gərginliyi kalibrləmə | voltage calibration | калибровка напряжения |
| **g0145** | gərginliyi tənzimləmə | voltage regulation | регулирование напряжения |
| **g0146** | gərginliyin dərəcəsi | voltage level | уровень напряжения |
| **g0147** | gərginliyin daxili düşməsi | internal voltage drop | внутреннее падение напряжения |
| **g0148** | gərginliyin ən böyük (kiçik) qiyməti | limit stress | предельное напряжение |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0149** | gərginliyin götürülməsi | stress relieving | снятие напряжения |
| **g0150** | gərginliyin gücləndiricisi | voltage amplifier | усилитель напряжения |
| **g0151** | gərginliyə görə əks rabitə əmsalı | voltage feedback factor | коэффициент обратной связи по напряжению |
| **g0152** | gərginliyin kənara çıxması | voltage deviation | отклонение напряжения |
| **g0153** | gərginliyin kompensasiyası | voltage compensation | компенсация напряжения |
| **g0154** | gərginliyin konsentrasiya (qəlizlənmə) əmsalı | stress concentration factor | коэффициент концентрации напряжений |
| **g0155** | gərginliyin Maksvel tenzoru | Maxwell stress tensor | максвелловский тензор напряжений |
| **g0156** | gərginliyin relaksasiyası | stress relaxation | релаксация напряжений |
| **g0157** | gərginliyin stabilləşməsi | voltage stabilization | стабилизация напряжения |
| **g0158** | gərginliyin vibrasiya tənzimləyicisi | vibrating-type voltage regulator | вибрационный регулятор напряжения |
| **g0159** | gərginliyin avtomatik tənzimləyicisi | automatic voltage regulator | автоматический регулятор напряжения |
| **g0160** | gərginliyin optik əmsalı | stress-optical coefficient | оптический коэффициент напряжений |
| **g0161** | gərilmə | tension | натяжение, сила натяжения |
| **g0162** | gərilmə borusu | tension tube | трубка натяжения |
| **g0163** | gərilmə deformasiyası | tensile strain, tensile deformation | деформация растяжения |
| **g0164** | gərilmə dalğası | stress wave | волна напряжений |
| **g0165** | gərilmə gərginliyi | tensile stress | растягивающее напряжение |
| **g0166** | gərilmə qüvvəsi | tensile force | растягивающая сила, сила натяжная |
| **g0167** | gərilmə yükü | tensile load | растягивающая нагрузка |
| **g0168** | gərilmə zamanı dağıntı | tensile fracture | разрушение при растяжении |
| **g0169** | gərilmə xətti | tension line | линия натяжения |
| **g0170** | gərilmədə sərtlik | extensional rigidity | жёсткость при растяжении |
| **g0171** | gərilməni ölçən | tensionmeter | измеритель натяжения |
| **g0172** | gərilməyə nəzərən möhkəmlik | tensile strength | прочность на растяжение |
| **g0173** | gərilməyə nəzərən sınama | tensile test | испытание на растяжение |
| **g0174** | gərilmiş sferoid, uzanmış (uzadılmış) sferoid | prolate spheroid | вытянутый сфероид, удлинённый сфероид |
| **g0175** | gərilmiş simmetrik fırfıraşəkilli molekul | prolate symmetric top molecule | молекула типа вытянутого симметричного волчка |
| **g0176** | gəmi yırğalanması | rolling | бортовая качка |
| **g0177** | gətirilən qrup | reducible group | приводимая группа |
| **g0178** | gətirilmə əmsalı | reduction coefficient | коэффициент приведения |
| **g0179** | gətirilməmək vahidi | irreducibility unit | единица неприводимости |
| **g0180** | gətirilməyən çoxhədli | irreducible polynomial | неприводимый многочлен |
| **g0181** | gətirilməyən komponent | irreducible component | неприводимая компонента |
| **g0182** | gətirilməyən tenzor | irreducible tensor | неприводимый тензор |
| **g0183** | gətirilməyən təsvir | irreducible representation | неприводимое представление |
| **g0184** | gətirilmiş çoxhədli | reducible polynomial | приводимый многочлен |
| **g0185** | gətirilmiş elastiklik | elasticity | приведенная упругость |
| **g0186** | gətirilmiş en | reduced width | приведённая ширина |
| **g0187** | gətirilmiş həcm | reduced volume | приведённый объём |
| **g0188** | gətirilmiş hal | reduced state | приведенное состояние |
| **g0189** | gətirilmiş hal tənliyi | reduced characteristic equation | приведённое уравнение состояния |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0190** | gətirilmiş istilik miqdarı | reduced quantity of heat | приведённое количество теплоты |
| **g0191** | gətirilmiş kəmiyyət | reduced value, specific value | приведенная величина |
| **g0192** | gətirilmiş kütlə | reduced mass | приведённая масса |
| **g0193** | gətirilmiş matrisa elementi | reduced matrix element | приведённый матричный элемент |
| **g0194** | gətirilmiş özlülük | reduced viscosity | приведённая вязкость |
| **g0195** | gətirilmiş temperatur | specific temperature | приведенная температура |
| **g0196** | gətirilmiş tənlik | reduced equation | приведенное уравнение |
| **g0197** | gətirilmiş təsvir | reduced representation, reducible representation | приведённое представление, приводимое представление |
| **g0198** | gətirilmiş təzyiq | reduced pressure | приведённое давление |
| **g0199** | gətirilmiş uzunluq | reduced length | приведенная длина |
| **g0200** | gətirilmiş ortoqonal qrup | reduced orthogonal group | приведённая ортогональная группа |
| **g0201** | gətirmə, gətirilmə | drive | привод |
| **g0202** | Geyger-Nettol qanunu | Geiger-Nuttall's law | закон Гейгера-Неттола |
| **g0203** | geostrofik hərəkət | geostrophic motion | геострофическое движение |
| **g0204** | geostrofik külək | geostrophic wind | геострофический ветер |
| **g0205** | geostrofik tarazlıq | geostrophic equilibrium | геострофическое равновесие |
| **g0206** | geostrofik adveksiyası | geostrophic advection | геострофическая адвекция |
| **g0207** | geostrofik axın | geostrophic current | геострофическое течение |
| **g0208** | geodezik dairə | geodesic circle | геодезическая окружность |
| **g0209** | geodezik en dairəsi | geodetic latitude | геодезическая широта |
| **g0210** | geodezik əyrilik | geodesic curvature | геодезическая кривизна |
| **g0211** | geodezik koordinatlar | geodesic coordinates | геодезические координаты |
| **g0212** | geodezik məsafə | geodetic longitude | геодезическое расстояние |
| **g0213** | geodezik peyk | geodetic satellite | геодезический спутник |
| **g0214** | geodezik presessiya | geodetic precession | геодезическая прецессия |
| **g0215** | geodezik polyar koordinatlar | geodesic polar coordinates | геодезические полярные координаты |
| **g0216** | geodezik üçbucaq | geodetic triangle | геодезический треугольник |
| **g0217** | geodezik uzunluq dairəsi | geodetic longitude | геодезическая долгота |
| **g0218** | geodezik astronomiya | geodetic astronomy | геодезическая астрономия |
| **g0219** | geodezik xətt | geodesic line, geodetic line | геодезическая линия |
| **g0220** | geofizika | geophysics | геофизика |
| **g0221** | geofon | geophone | геофон |
| **g0222** | geoid (yer planetinin əsas forması) | geoid | геоид |
| **g0223** | geokimyəvi tsikl | geochemical cycle | геохимический цикл |
| **g0224** | geokimya | geochemistry | геохимия |
| **g0225** | geomaqnit effekt | geomagnetic effect | геомагнитный эффект |
| **g0226** | geomaqnit ekvator | geomagnetic equator | геомагнитный экватор |
| **g0227** | geomaqnit en dairəsi | geomagnetic latitude | геомагнитная широта |
| **g0228** | geomaqnit fırtına (tufan) | geomagnetic storm | геомагнитная буря |
| **g0229** | geomaqnit koordinatlar | geomagnetic coordinates | геомагнитные координаты |
| **g0230** | geomaqnit sahə | geomagnetic field | геомагнитное поле |
| **g0231** | geomaqnit variasiya | geomagnetic variation | геомагнитная вариация |
| **g0232** | geomaqnit ox | geomagnetic axis | геомагнитная ось |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0233** | geopotensial | geopotential | геопотенциал |
| **g0234** | geopotensial metr | geopotential meter | геопотенциальный метр (98 дж/кг) |
| **g0235** | geosentrik en dairəsi | geocentric latitude | геоцентрическая широта |
| **g0236** | geosentrik hərəkət | geocentric motion | геоцентрическое движение |
| **g0237** | geosentrik koordinatlar | geocentric coordinates | геоцентрические координаты |
| **g0238** | geosentrik məsafə | geocentric distance | геоцентрическое расстояние |
| **g0239** | geosentrik parallaks | geocentric parallax | геоцентрический параллакс |
| **g0240** | geosentrik uzunluq dairəsi | geocentric longitude | геоцентрическая долгота |
| **g0241** | geosentrik zenit | geocentric zenith | геоцентрический зенит |
| **g0242** | geosinklinal | geosyncline | геосинклиналь |
| **g0243** | geotermik qradiyent | geothermal gradient | геотермический градиент |
| **g0244** | geoxronologiya | geochronology | геохронология |
| **g0245** | Gibbs paradoksu | Gibbs paradox | парадокс Гиббса |
| **g0246** | Gibbs-Dyügem tənliyi | Gibbs-Duhem's equation | уравнение Гиббса-Дюгема |
| **g0247** | Gibbs-Helmhols tənliyi | Gibbs-Helmholtz's equation | уравнение Гиббса-Гельмгольца |
| **g0248** | Gibbs statistikası | Gibbs statistics | статистика Гиббса |
| **g0249** | Gibbsin adsorbsiya tənliyi | Gibbs adsorption equation | адсорбционное уравнение Гиббса |
| **g0250** | girdələnmiş uc | cup point | закругленный конец |
| **g0251** | giriş (başlanğıc) funksiya | input function | входная функция |
| **g0252** | giriş bəbəyi | entrance pupil | входной зрачок, зрачок входа |
| **g0253** | giriş borusu | lead-in tube | вводная трубка |
| **g0254** | giriş cərəyanı | input current | входной ток, ток на входе |
| **g0255** | giriş gərginliyi | input voltage | входное напряжение, напряжение на входе |
| **g0256** | giriş dəyişdirici | input transducer | входной преобразователь |
| **g0257** | giriş dalğa aparan | input waveguide | входной волновод |
| **g0258** | giriş kanalı | input channel | входной канал, канал ввода |
| **g0259** | giriş tam keçiriciliyi | input admittance | входная полная проводимость |
| **g0260** | giriş gücləndiricisi | input amplifier | входной усилитель |
| **g0261** | giriş impulsu | input pulse | входной импульс |
| **g0262** | giriş keçiriciliyi | input conductance | входная проводимость |
| **g0263** | giriş məlumatları | input data | входные данные |
| **g0264** | giriş elektrodu | input electrode | входной электрод |
| **g0265** | giriş müqaviməti | input resistance | входное сопротивление |
| **g0266** | giriş nöqtəsi | entry point | точка входа |
| **g0267** | giriş proqramı | input program | входная программа, программа ввода |
| **g0268** | giriş rezonatoru | input resonator | входной резонатор |
| **g0269** | giriş səviyyəsi | input level | входной уровень, уровень на входе |
| **g0270** | giriş siqnalı | input signal | входной сигнал |
| **g0271** | giriş sıxıcı | input terminal | входной зажим |
| **g0272** | giriş sarğısı | input winding | входная обмотка |
| **g0273** | giriş sxemi | input circuit | входная схема, входная цепь, входной контур |
| **g0274** | giriş tezliyi | input frequency | входная частота |
| **g0275** | giriş transformatoru | input transformer | входной трансформатор |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0276** | giriş tutumu | input capacitance | входная ёмкость |
| **g0277** | giriş gücü | input power | входная мощность, мощность на входе |
| **g0278** | giriş tam müqaviməti | input impedance | входное полное сопротивление |
| **g0279** | giriş yarığı | entrance slit | входная щель |
| **g0280** | giriş xarakteristikası | input characteristic | входная характеристика |
| **g0281** | giriş, daxil etmə, keçirmə, injeksiya | injection | введение, ввод, инжекция |
| **g0282** | giriş, giriş siqnalı | input | вход, ввод, входной сигнал |
| **g0283** | giriş-çıxış | input-output | ввод-вывод |
| **g0284** | giriş-çıxış (daxil etmə-çıxarma) qurğusu | input-output device | устройство ввода-вывода |
| **g0285** | giriş-çıxış əməliyyatı | input-output operation | операция ввода-вывода |
| **g0286** | giriş-çıxış komandası | input-output instruction | команда ввода-вывода |
| **g0287** | giriş-çıxış interfeysi | input-output interface | интерфейс ввода-вывода |
| **g0288** | giriş-çıxış kanalı | input-output channel | канал ввода-вывода |
| **g0289** | giriş-çıxışın registri | input-output register | регистр ввода-вывода |
| **g0290** | giriş-çıxışın qırılması | input-output interruption | прерывание ввода-вывода |
| **g0291** | giriş-çıxışla idarə edilmə | input-output control | управление вводом-выводом |
| **g0292** | girişdə təzyiq | inlet pressure | давление на входе |
| **g0293** | giromaqnit tezliyi | high frequency | гиромагнитная частота |
| **g0294** | girormaqnit rezonans | gyromagnetic resonance | гиромагнитный резонанс |
| **g0295** | gizlədilməyə qarşı maddə | antifoggant | противовуалирующее вещество |
| **g0296** | gizlədilmiş cəbhə | masked front | маскированный фронт |
| **g0297** | gizli buxarlanma istiliyi | latent heat of evaporation | скрытая теплота испарения |
| **g0298** | gizli dayanıqsızlıq | latent instability | скрытая неустойчивость |
| **g0299** | gizli istilik | latent heat | скрытая теплота |
| **g0300** | gizli fotoqrafik xəyal (surət) | photographic latent image | скрытое фотографическое изображение |
| **g0301** | gizli xəyal (surət) | latent image | скрытое изображение |
| **g0302** | göbələkşəkilli bulud | mushroom cloud | грибовидное облако (при взрыве атомной бомбы) |
| **g0303** | göndərici stansiya | sending station | отправная станция |
| **g0304** | göndərici aparat | sender apparatus | аппарат отправитель |
| **g0305** | görmə | eyesight, vision | зрение |
| **g0306** | görmə hüceyrəsi | visual cell | зрительная клетка |
| **g0307** | görmə şüası | line of sight | луч зрения |
| **g0308** | görmə piqmenti | visual pigment | зрительный пигмент |
| **g0309** | görmə itiliyi | visual acuity | острота зрения |
| **g0310** | görmənin meteoroloji uzaqlığı | meteorological visual range | метеорологическая дальность видимости |
| **g0311** | görünən üfüq | apparent horizon | видимый горизонт |
| **g0312** | görünən diametr | apparent diameter | видимый диаметр (светила) |
| **g0313** | görünən hərəkət | apparent motion | видимое движение |
| **g0314** | görünən hissə | visible part | видимая часть, видимый участок (спектра) |
| **g0315** | görünən işıq | visible light | видимый свет |
| **g0316** | görünən menisk | apparent meniscus | видимый мениск |
| **g0317** | görünən nüfuzetmə | visible permeability | видимая проницаемость |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0318** | görünən radius | apparent radius | видимый радиус |
| **g0319** | görünən siqnal | visible signal | видимый сигнал |
| **g0320** | görünən spektr, görünən şüalanma spektri | visible spectrum | видимый спектр, спектр видимого излучения |
| **g0321** | görünən şüa | apparent beam | видимый луч |
| **g0322** | görünən şüalanma | visible radiation | видимое излучение |
| **g0323** | görünən sahə | visible scope | видимая область |
| **g0324** | görünən tezliyin gücləndiricisi, videogücləndirici | video frequency amplifier, video amplifier | усилитель видеочастоты, видеоусилитель |
| **g0325** | görünən ulduz kəmiyyəti | apparent magnitude | видимая звездная величина |
| **g0326** | görünən yer | apparent place | видимое место, видимое положение |
| **g0327** | görünən alov | visible flame | видимое пламя |
| **g0328** | görünən oblast | visible region | видимая область (спектра) |
| **g0329** | görünən orbit | apparent orbit | видимая орбита |
| **g0330** | görünmə bucağı | visual angle | угол зрения |
| **g0331** | görünmə sahəsi | visual field | поле зрения |
| **g0332** | görünmə funksiyası | visibility function | функция видимости |
| **g0333** | görünmənin uzaqlığı | visual range | дальность видимости |
| **g0334** | görünməyən (gizli) xəyalın reqressiyası | latent image fading | регрессия скрытого изображения |
| **g0335** | görünməyən işıq | dark light | невидимый свет |
| **g0336** | görünməyən şüa | invisible beam | невидимый луч |
| **g0337** | görünməyən şüalanma | invisible radiation | невидимое излучение |
| **g0338** | görünüş (görünmə) | visibility | видимость, видность |
| **g0339** | görünüş əyrisi | visibility curve | кривая видности |
| **g0340** | görünüşü ölçən | visibility meter | измеритель видимости |
| **g0341** | görünüş radiusu | radius of visual field | радиус поля зрения |
| **g0342** | göstərən (nümayiş etdirən) ölçü cihazı | indicating instrument | показывающий измерительный прибор |
| **g0343** | göstərici | arm, hand, indicator, needle, pointer, telltale | указатель |
| **g0344** | göstərici, əmsal | exponent, index | показатель |
| **g0345** | göstəricilər ellipsoidi | index ellipsoid | эллипсоид показателей |
| **g0346** | göy cisimlərinin (ulduzlarının) fotometriyası | photometry of heavenly bodies | фотометрия небесных светил |
| **g0347** | göy (səma) cismi | celestial body | небесное тело |
| **g0348** | göy (səma) dalğası | sky wave | небесная (пространственная) волна |
| **g0349** | göy (səma) ekvatoru | celestial equator | небесный экватор |
| **g0350** | göy gurultusu | thunder | гром |
| **g0351** | göy (səma) işığı | sky light | свет неба |
| **g0352** | göy (səma) koordinatları | celestial coordinates | небесные координаты |
| **g0353** | göy (səma) meridianı | celestial meridian | небесный меридиан |
| **g0354** | göy (səma) mexanikası | celestial mechanics | небесная механика |
| **g0355** | göy (səma) qlobusu | celestial globe | небесный глобус |
| **g0356** | göy qübbələri | celestial pole | небесные полюсы |
| **g0357** | göy sferası | celestial sphere | небесная сфера |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0358** | göy qütbü | celestial pole | небесный полюс, полюс мира |
| **g0359** | göy qurşağı | rainbow | радуга |
| **g0360** | göy şüa | blue beam | синий луч |
| **g0361** | göydaş | blue vitriol; copper sulfate | медный купорос |
| **g0362** | göyün parlaqlığı | sky brightness | яркость неба |
| **g0363** | göz linzası | eyelens | глазная линза |
| **g0364** | göz qabarcığı | optic vesicle | глазной пузырь |
| **g0365** | göz almacığı | eyeball | глазное яблоко |
| **g0366** | gözləyən multivibrator | monostable multivibrator | ждущий мультивибратор |
| **g0367** | gözlənilən nizamlama | follow-up control | следящее регулирование |
| **g0368** | gözləyən açılma (açılış) | single sweep | ждущая (однократная) развёртка |
| **g0369** | güc | potency | мощность |
| **g0370** | güc əmsalı | power coefficient, power factor | коэффициент мощности |
| **g0371** | güc əmsalını ölçən | power-factor meter | измеритель коэффициента мощности |
| **g0372** | güc ölçən | dynamometer | силомер |
| **g0373** | güc relesi | power relay | реле мощности |
| **g0374** | güc sıçrayışları | chugging | скачки мощности |
| **g0375** | güc spektri | power spectrum | спектр мощности |
| **g0376** | güc stansiyası | power-station, power-house | силовая станция |
| **g0377** | güc tənliyi | power equation | уравнение мощности |
| **g0378** | gücləndirən (yüksəldən) transformator | step-up transformer | повышающий трансформатор |
| **g0379** | gücləndirici antenna | reinforcement antenna | антенна усиления |
| **g0380** | gücləndirici ekran | intensifying screen | усиливающий экран |
| **g0381** | gücləndirici element | amplification element | усилительный элемент |
| **g0382** | gücləndirici lampa | amplifier tube | усилительная лампа |
| **g0383** | gücləndirici mühit | amplifying medium | усиливающая среда |
| **g0384** | gücləndirici sxem | amplifying circuit | схема усиления |
| **g0385** | gücləndirici təsir | amplification action | усилительное действие |
| **g0386** | gücləndirilmiş cərəyan | amplified current | усиленный ток |
| **g0387** | gücləndirmə dərəcəsi | amplification degree | степень усиления |
| **g0388** | gücləndirmə əmsalı, gücləndirmə sabiti, $\mu$ əmsalı | amplification factor, gain , payoff, magnification constant, $\mu$ factor | коэффициент усиления, константа усиления, $\mu$ коэффициент |
| **g0389** | gücləndirmə əyrisi | gain curve | кривая усиления |
| **g0390** | güclənmə kaskadı | amplification stage | каскад усиления |
| **g0391** | güclənmə xarakteristikası | amplification characteristic | характеристика усиления |
| **g0392** | güclənmə, qüvvətlənmə | amplification, gain, payoff | усиление |
| **g0393** | güclənmə, qüvvətlənmə, gücləndirmə əmsalı, uduş | amplification, gain, payoff | усиление, коэффициент усиления, выигрыш |
| **g0394** | güclənmənin doyması | gain saturation | насыщение усиления |
| **g0395** | güclü yığılma | strong convergence | сильная сходимость |
| **g0396** | güclü cərəyan | heavy current | сильный ток |
| **g0397** | güclü elektrik sahəsi | strong electric field | сильное электрическое поле |
| **g0398** | güclü elektrolit | strong electrolyte | сильный электролит |
| **g0399** | güclü fokuslama, sərt fokuslaşma | strong focusing | сильная фокусировка, жёсткая фокусировка |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0400** | güclü maqnit sahəsi | strong magnetic field | сильное магнитное поле |
| **g0401** | güclü maqnitli cisim | strong-magnetic body | сильномагнитное тело |
| **g0402** | güclü qarşılıqlı təsir | strong interaction | сильное взаимодействие |
| **g0403** | güclü stansiya | bulk station | мощная станция |
| **g0404** | güclü sahə | high field, strong field | сильное поле |
| **g0405** | güclü tranzistor | power transistor | мощный транзистор |
| **g0406** | güclü turşu | strong acid | сильная кислота |
| **g0407** | güclü topologiya | strong topology | сильная топология |
| **g0408** | güclü yağış | hard shower, shower | жёсткий (проникающий) ливень, ливень |
| **g0409** | gücü gücləndirmə, gücün gücləndirmə əmsalı | power gain | усиление мощности, коэффициент усиления мощности |
| **g0410** | gücün dərəcəsi | power level | уровень мощности |
| **g0411** | gücun gücləndiricisi | power amplifier | усилитель мощности |
| **g0412** | gücun itgisi | power loss | потери мощности |
| **g0413** | gücün gücləndirmə kaskadı | power amplification stage | каскад усиления мощности |
| **g0414** | gücün nominal əmsalı | rated power factor | номинальный коэффициент мощности |
| **g0415** | gücün özbaşına tənzimlənməsi | automatic power control | автоматическое регулирование мощности |
| **g0416** | gücün sərf edilməsi, elektrik enerjisinin sərf edilməsi | power consumption | потребление мощности, потребление электроэнергии |
| **g0417** | gümüş | silver | серебро |
| **g0418** | gümüş dənəsi (qırığı) | silver grain | серебряное зерно |
| **g0419** | gümüş diskli pirheliometr | silver disk pyrheliometer | пиргелиометр с серебряным диском |
| **g0420** | gümüş kulometri | silver coulometer | серебряный кулометр |
| **g0421** | gümüş kağızı | silver paper | серебряная бумага |
| **g0422** | gümüş voltametri | silver voltameter | серебряный вольтаметр |
| **g0423** | gümüşü-donuq slyüda | silver-obscure mica | серебристо-дымчатая слюда |
| **g0424** | gümüşləmə, gümüşlənmə | silver plating | серебрение |
| **g0425** | gümüşlü şəkil (sürət) | silver image | серебряное изображение |
| **g0426** | gümüşün bərkimə nöqtəsi | silver point | точка (температура) затвердевания серебра |
| **g0427** | gün, gecə-gündüz | day | день, сутки |
| **g0428** | gündəlik dəyişmə | diurnal variation | суточное |
| **g0429** | gündəlik gediş | daily run | суточный ход |
| **g0430** | gündüz görmə | day (light) [photopic] vision | дневное зрение |
| **g0431** | gündüz işığı | daylight | дневной свет |
| **g0432** | gündüz işığı lampası | daylight lamp | лампа дневного света |
| **g0433** | gündüz işıqlı lüminessent lampası | daylight fluorescent lamp | люминесцентная лампа дневного света |
| **g0434** | gündüz qövsü | diurnal arc | дневная дуга |
| **g0435** | Günəş | Sun | Солнце |
| **g0436** | günəş batareyası | solar battery | солнечная батарея |
| **g0437** | Günəş diski | solar disk | диск Солнца, солнечный диск |
| **g0438** | günəş dövrü | solar cycle | солнечный цикл |
| **g0439** | günəş enerjisi | solar energy | солнечная энергия |
| **g0440** | günəş fəaliyyəti | solar activity | солнечная деятельность |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0441** | Günəş fəallığı | solar activity | солнечная активность, активность Солнца |
| **g0442** | Günəş fizikası | solar physics | физика Солнца, гелиофизика |
| **g0443** | Günəş fotosferası | solar photosphere | фотосфера Солнца |
| **g0444** | günəş gecə-gündüzü | solar day | солнечные сутки |
| **g0445** | günəş ili | solar year | солнечный год, тропический год |
| **g0446** | günəş küləyi | solar wind, heliotropic wind | солнечный ветер |
| **g0447** | günəş təqvimi | solar calendar | солнечный календарь |
| **g0448** | günəş korpuskulyar seli (axını) | solar corpuscular | солнечный корпускулярный поток |
| **g0449** | günəş kosmik şüaları | solar cosmic rays | солнечные космические лучи |
| **g0450** | günəş ləkələri qrupu | sunspot group | группа солнечных пятен |
| **g0451** | günəş ləkələri şəklindəki püskürtülər | sunspot prominence | протуберанцы типа солнечных пятен |
| **g0452** | günəş ləkələrinin maqnit sahəsi | sunspot magnetic field | магнитное поле солнечных пятен |
| **g0453** | günəş ləkələrinin nisbi sayı | relative sunspot number | относительное число солнечных пятен |
| **g0454** | günəş ləkəsi | sunspot | солнечное пятно |
| **g0455** | günəş ləkəsi spektri | sunspot spectrum | спектр солнечного пятна |
| **g0456** | Günəşin mərkəzi | Sun's center | центр Солнца |
| **g0457** | Günəş maqnit sahəsi | solar magnetic field | магнитное поле Солнца |
| **g0458** | günəş nutasiyası | solar nutation | солнечная нутация |
| **g0459** | günəş plazması | solar plasma | солнечная плазма |
| **g0460** | Günəş parallaksı | solar parallax | параллакс Солнца, солнечный параллакс |
| **g0461** | günəş qabarması | solar tide | солнечный прилив |
| **g0462** | günəş rəsədxanası | solar observatory | солнечная обсерватория |
| **g0463** | günəş radiasiyası | solar radiation | солнечная радиация, солнечное излучение |
| **g0464** | günəş sistemi | solar system | солнечная система |
| **g0465** | günəş spektri | solar spectrum | солнечный спектр |
| **g0466** | günəş şüaları | sunlight | солнечные лучи |
| **g0467** | günəş sabiti (şüalanma) | solar constant | солнечная постоянная |
| **g0468** | günəş saatı | sundial | солнечные часы |
| **g0469** | günəş sobası (peçi) | solar furnace | солнечная печь |
| **g0470** | günəş teleskopu | solar telescope | солнечный телескоп |
| **g0471** | günəş tutulması | solar eclipse | солнечное затмение |
| **g0472** | günəş tacı | solar corona | солнечная корона |
| **g0473** | günəş vaxtı | solar time | солнечное время |
| **g0474** | Günəş alışması | solar flare | солнечная (хромосферная) вспышка, вспышка на Солнце |
| **g0475** | Günəş atmosferi | solar atmosphere | атмосфера Солнца, солнечная атмосфера |
| **g0476** | Günəşdə aktiv oblast | solar active region | активная область на Солнце |
| **g0477** | günəşdurma kolyuru | solstice colure | колюр солнцестояний |
| **g0478** | Günəşə nəzərən orta | mean sun | среднее Солнце |
| **g0479** | günəşə qarşı, anteliy | anthelion | противосолнце, антелий |
| **g0480** | Günəşin batması | sunset | заход Солнца |
| **g0481** | Günəşin doğması | sunrise | восход Солнца |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0482** | Günəşin hündürlüyü | solar altitude | высота Солнца |
| **g0483** | Günəşin kütləsi | Sun's mass | масса Солнца, солнечная масса |
| **g0484** | Günəşin korpuskul tutulması | corpuscular eclipse | корпускулярное затмение Солнца |
| **g0485** | Günəşin müşahidələri | solar observation | наблюдения Солнца, солнечные наблюдения |
| **g0486** | Günəşin monoxromatik surəti | monochromatic image of the sun | монохроматическое изображение Солнца |
| **g0487** | Günəşin radioşüalanması | solar radio waves | радиоизлучение Солнца, солнечное радиоизлучение |
| **g0488** | Günəşin radioşualanmasının intensivliyi | solar radio wave intensity | интенсивность радиоизлучения Солнца |
| **g0489** | günəşin səthində ən parlaq yer | facula | солнечный факел |
| **g0490** | Günəşin apeks hərəkəti | solar apex | апекс (движения) Солнца, солнечный апекс |
| **g0491** | günəşaltı nöqtə | subsolar point | подсолнечная точка |
| **g0492** | günün yarısı (günorta) | noon | полдень |
| **g0493** | günorta xətti | meridian line | полуденная линия |
| **g0494** | gurultu cərəyanı | noise current | шумовой ток |
| **g0495** | gurultu gərginliyi | noise voltage | шумовое напряжение |
| **g0496** | gurultu müqaviməti | noise resistance | шумовое сопротивление |
| **g0497** | gurultu ölçən | noise meter | шумомер |
| **g0498** | gurultu söndürən | silencer | шумоглушитель |
| **g0499** | gurultu spektri | noise spectrum | шумовой спектр |
| **g0500** | gurultu süzgəci | noise filter | шумовой фильтр |
| **g0501** | gurultu temperaturu | noise temperature | шумовая температура |
| **g0502** | gurultu xarakteristikası | noise characteristic | шумовая характеристика |
| **g0503** | gurultu səviyyəsi | noise level | уровень шумов |
| **g0504** | gurultulu termometr | noise thermometer | шумовой термометр |
| **g0505** | güzgü | mirror | зеркало |
| **g0506** | güzgü dayanıqsızlığı | mirror instability | зеркальная неустойчивость |
| **g0507** | güzgü əksi müstəvisi | plane of mirror reflection | плоскость зеркального отражения |
| **g0508** | güzgü əksolması | specular reflection, mirror reflection | зеркальное отражение |
| **g0509** | güzgü nisbəti (münasibəti) | mirror ratio | зеркальное отношение |
| **g0510** | güzgü müstəvisi | mirror plane | зеркальная плоскость (симметрии) |
| **g0511** | güzgü nüvələri | mirror nuclei | зеркальные ядра |
| **g0512** | güzgü səthi | mirror surface | зеркальная поверхность |
| **g0513** | güzgü şüşə | plate glass | зеркальное стекло |
| **g0514** | güzgü təsviri metodu | method of image | метод зеркальных изображений |
| **g0515** | güzgü tezliyi | image frequency | зеркальная частота |
| **g0516** | güzgü xəyalı (şəkli) | mirror image | зеркальное изображение |
| **g0517** | güzgü-dönmə oxu | rotation-reflection axis | зеркально-поворотная ось |
| **g0518** | güzgülü izomer, enantiomer | enantiomer | оптический антипод, зеркальный изомер, энантиомер |
| **g0519** | güzgülü maqnit tələsi | mirror magnetic field | зеркальная магнитная ловушка |
| **g0520** | güzgülü nefoskop | mirror nephoscope | зеркальный нефоскоп |
| **g0521** | güzgülü qalvanometr | reflecting galvanometer | зеркальный гальванометр |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **g0522** | güzgülü şkala | mirror scale | зеркальная шкала |
| **g0523** | güzgülü spektrometr | mirror spectrometer | зеркальный спектрометр |
| **g0524** | güzgülü teleskop | mirror telescope | зеркальный телескоп |
| **g0525** | güzgülü videoaxtaran | reflex finder | зеркальный видоискатель |
| **g0526** | gurluq şkalası | sound scale | шкала громкости |

**MirHasan Yu. Seyidov, Faik A. Mikailzade, Talip Uzun, Andrey P. Odrinskiy, Vəfa B. Əliyeva, Tofiq Q. Məmmədov və Sərdar S. Babayev**

## $TlGaSe_2$ LAYLI YARIMKEÇİRİCİSİNİN DƏRİN MƏXSUSİ DEFEKTLƏRİN ELEKTRİK AKTİVLİYİNDƏN YARANAN POLYARİZASİYA XASSƏSİ

Fotoelektrik relaksasiya spektroskopiyası metodu (PİCS) ilə $TlGaSe_2$ laylı yarımkeçicirisində məxsusi defektlərin parametrləri müəyyən edilmişdir.$TlGaSe_2$-nin qadağan olunmuş zonasında altı dərin səviyyələr müşahidə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu dərin defeklər kristalın həcmində və onun səthi yaxınlığında lokallaşmışdır və onlar elektrik yükünə malik ola bilərlər. Göstərilmişdir ki, yüklü dərin defektlər $TlGaSe_2$ kristalının elektret davranışının səbəbi ola bilər.

$TlGaSe_2$ kristalının həcmində və səthi yaxınlığındakı daxili elektrik sahələri haqqında məlumat almaq üçün pyezoelektrik cərəyanı tədqiq edilmiş və əvvəlcədən polyarizələnmiş $TlGaSe_2$ kristalının pyezoelektrik davranışında müsbət və mənfi əlavələrin (töhvələrin) təbiəti müəyyən edilmişdir.

$TlGaSe_2$ kristalının həm həcmində və həm də səthi yaxınlığında yığılan , daxili statik elektrik sahələrinin mənbəyi olan dərin defektli səviyyələrin təbiəti müzakirə olunmuşdur.

Düşən işığa nəzərən müxtəlif vəziyyətdə kontaktlar qoyulmuş $TlGaSe_2$ laylı seqnetoelektrik- yarımkeçiricisinin fotoelektrik xassələri aşağı temperaturlarda tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələr $TlGaSe_2$ kristalının səthində nazik dielektrik təbəqənin olmasını göstərir.

**A. Asimov, A. Kirsoy**

## 2.4 KGRAY ELEKTRON RADİASİYASININ Au/P3HT/n-Si ŞOTTKİ DİODUNUN ELEKTRİK XARAKTERİSTİKALARINA TƏSİRİ

Au/P3HT/n-Si Şottki diodunun cərəyan gərginlik və elektrik tutumu gərginlik xarakteristikası radiasiya altında və radiasiya olmadan analiz edildi. Nəticələr göstərdi ki, diodun ideallıq əmsalı, əngəl yüksəkliyi və ardıcıl müqaviməti kimi parametrləri radiasiya altında artmaqdadır. İdeallıq əmsalı radiasiyadan öncə və sonra 2,04 ve 2,36 olaraq tapıldı. $N_{ss}$ parametri I-V ölçümlərdən, radiasiya altında $3{,}62 \times 10^{11}$ üçün $1 \times 10^{12}$ $cm^{-2}$ $eV^{-1}$ və radiasiya olmadıqda isə $5{,}04 \times 10^{11}$ üçün $2{,}07 \times 10^{12}$ $cm^{-2}$ $eV^{-1}$ olaraq tapıldı.

**Rəsmiyyə E. Qasımova**

## GÜCLÜ MAQNİTLƏŞMİŞ MÜHİTDƏ ENİNƏ POLYARLAŞMIŞ ELEKTRONLAR TƏRƏFİNDƏN NEYTRİNO-ANTİNEYTRİNO CÜTLƏRİNİN ŞÜALANMASI

Müəyyən edilmişdir ki, buraxılan neytrinoların və antineytrinoların enerjiləri bir-birinə olduqca yaxın olduqda eninə polyarlaşmış elektronlar tərəfindən neytrino sinxrotron şüalanması güclənir və proseslər rezonans xarakterinə malik olur. Başlanğıc haldakı elektronların spinləri maqnit sahəsi istiqamətində yönəldikdə vahid zamanda mühitin vahid həcmindən daşınan enerji itkisinin spektral və bucaq paylanması neytrino aromatından asılı olmur və $e^- \to e^- \nu_e \tilde{\nu}_e$, $e^- \to e^- \nu_\mu \tilde{\nu}_\mu$ və $e^- \to e^- \nu_\tau \tilde{\nu}_\tau$ proseslərinin hər biri güclü maqnitləşmiş qızmar ulduzların soyumasına bərabər şəkildə pay verir.

**T.C. İbrahimov, A.R. İmaməliyev, E.Ə. Allahverdiyev, S.T. Əzizov, O.A. Əliyev, Q.M. Bayramov**

## $BATIO_3$ HİSSƏCİKLƏRİ – MAYE KRİSTAL KOLLOİDLƏRİNDƏ DİELEKTRİK RELAKSASİYA

$BaTiO_3$ seqnetoelektrik hissəciklərinin 5CB və H37 maye kistallarının dielektrik xassələrinə təsiri tədqiq olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, bu hissəciklərin olması maye kristalın dilektrik nüfuzluğunu və dielektrik itkilərini artırır, dielektrik udulmasının maksimumunu isə kiçik tezliklərə doğru sürüşdürür.

Alınan nəticələr maye kristal molekullarının, xarici sahənin təsiri ilə polyarlaşmış seqnetoelektrik hissəciklərlə qarşılıqlı təsiri ilə izah olunur.

**N.Z. Cəlilov**

## MÜXTƏLİF ŞƏRAİTLƏRDƏ ALINMIŞ AMORF SELENİN OPTİK SPEKTRLƏRİ

İşdə amorf (massiv), nazik təbəqə və polikristallik şəklində olan selenin səthinə normal düşən 1-6 eV enerji intervalında olan işığın əksetmə əmsalı *R(E)* ölçülmüş və Kramers-Kroniq metodu ilə onun optik parametrləri, dielektrik funksiyaları təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, onların elektron quruluşu yaxın düzülüşün xarakterindən asılıdır.



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

**E.C. Qurbanov**

## SU TƏRKİBLİ MÜHİTLƏRİN YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ NANOSANİYƏLİ İMPULSLARLA ELEKTRON EMALI

Təqdim olunan məqalə su mühitinin (maye qida məhsulları) texnoloji prosesdə yüksək gərginlikli nanosaniyəli impulslarla elektron emalına həsr edilmişdir. Göstərilmişdir ki, emal olunan mühitin və patogen mikroorqanizmlərin elektrofiziki parametrlərindən asılı olaraq yüksək gərginlikli impuls generatoru işlənilməlidir və onun parametrləri emal olunan mühitin tam və təkrarsız zərərsizləşməsini və elektrik enerjisinin daha səmərəli tətbiqini təmin etməlidir. Enerji mənbəyinin, emal olunan mühitin və mikroorqanizmlərin elektrofiziki parametrlərinin biri birindən asılılığını təsvir edən riyazi formullar verilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, su mühitinin mikroorqanizmlərdən tam və təkrarsız zərərsizləşdirilməsi üçün yüksək gərginlikli nanosaniyəli impulslarla təsir edilməsi daha səmərəlidir. Təqdim olunan riyazi hesablama metodları maye tərkibli mühitlərin (maye qida məhsullarının) patogen mikroorqanizmlərdən zərərsizləşdirilməsi məqsədilə yaradılan yüksək gərginlikli texnoloji qurğuların işlənilməsində əsas götürülə bilər.

**E.M. Kərimova, A.M. Abdullayev, M.A. Alcanov, M.D. Nəcəfzadə, P.G. İsmayılova, Ə.B. Məhərrəmov, A.K. Zamanova, G.M. Əhmədova**

## $TlCoS_2$ KRİSTALINDA İSTİLİK TUTUMU, DEBAY TEMPERATURU VƏ FAZA KEÇİDİ

İndiki işdə $TlCoS_2$ kristalının istilik tutumu 55–300K intervalında tədqiq edilmişdir. Xarakterik Debay temperaturu hesablanmışdır. $C_p(T)$ asılılığında faza keçidinin mövcud olmasını göstərən anomaliya aşkar olunur. Anomaliyanın maksimal qiyməti $T_c$=111K temperaturunda yerləşir. $T_c$ temperaturu ətrafındakı faza keçidində enerjinin ΔQ və entropiyanın ΔS dəyişmələri təyin olunmuşdur. $\frac{\Delta S}{R} = 0{,}02$ kiçik qiyməti $T_c$ temperaturu ətrafındakı bu keçidin yerini dəyişmə tipinə aid olduğunu göstərir.

**V.İ. Orbux, N.N. Lebedeva, Q.M. Eyvazova, B.G. Salamov**

## GÜMÜŞ İONLARI İLƏ MODİFİKASİYA OLUNMUŞ KLİNOPTİLOLİTİN ELEKTRİIK XASSƏLƏRİNİN XÜSUSIYYƏTLƏRİ

Gümüş ionları ilə modifikasiya olunmuş klinoptilolitin otaq temperaturunda keçiriciliyi tədqiq olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, tarazlıq halında sabit gərginlik verildikdə, cərəyanın stasionar qiymətə çatması üçün uzun müddət (10 saata yaxın) tələb olunur və sonra stabil volt-amper xarakteristika müşahidə olunur. Aşkar edilmişdir ki, havasızlıq şəraitində təbii seolitdən fərqli olaraq, bu seolitdə müəyyən qalıq keçiriciliyi var. Təklif olunur ki, bunu seolitin məsamələrində qümüşün iki müxtəlif hallarda olması ilə izah etmək olar.

**S. Abdullayeva, G. Qəhrəmanova, R. Cabbarov**

## MOVPE və HVPE ÜSULU İLƏ YETİŞDİRİLMİŞ (11-22) InGaN/(In)GaN KVANT ÇUXURLU HETEROKEÇİDLƏRİN OPTİMALLAŞMASI VƏ XARAKTERİSTİKALARI

Bu məqalədə Metal Organik Buxar Faza Epitaksiya və Hidrogen Buxar Faza Epitaksiya üsulu ilə yetişdirilən yarımpolyar (11-22) $In_{0.15}Ga_{0.85}N$/(In)GaN kvant çuxurlu heterokeçidlərin optimallaşması və xarakteristikası tədqiq edilmişdir. Əsasən iki müxtəlif yanaşma metodu müzakirə edilmişdir, yetişdirilmə zamanı indiumun kiçik axma dərəcəsi ilə yetişdirilən InGaN baryer laylarından və indium daxil edilmədən yetişdirilən GaN baryer laylarından ibarət yarımpolyar (11-22) istiqamətli InGaN kvant çuxurları xarakterizə edilmişdir.

**ISSN 1028-8546**

**2015, volume XXI, №4**
**Section: Az**

# *MÜNDƏRİCAT*

1. Maqnitləşmiş mühitdə neytrino-antineytrino cütlərinin elektron-pozitron cütlərinə annihilyasiyası və kosmik şüalarda rast gəlinən pozitron artıqlığı
**Rəsmiyyə E. Qasımova** 3
2. Qızıl sulfid $(Au_2S)_{22}$ nanohissəciyi və onun $(Au_2S)_{22}$+PP, $(Au_2S)_{22}$+PVDF nanokompozisiyalarının modelləşdirilməsi və tədqiqi
**Məhəmmədəli Ə. Ramazanov, Arzuman Q. Həsənov, Faiq H. Paşayev** 9
3. Kvazi-bir ölçülü ifratkeçiricilərdə majorana fermionlarının yaranma şərtləri.
**Ə.P. Nəhmədov, S.O. Məmmədova, O.Z. Ələkbərov** 13
4. $Ni_{1-x}Zn_xFe_2O_4$ ferritlərinin Raman spektrləri
**Ş.N. Əliyeva, A.M. Kərimova, S.S. Babayev, E.K. Hüseynov, T.R. Mehdiyev** 17
5. Qaraqaya dolomitinin termik xassəsi
**Ə.C. Xəlilov, R.F. Vəliyev, M.X. Çopurov, C.C. Xəlilov, İ.Y. Əliyev** 29
6. Fiziki terminlər və ifadələr
**A.İ. Muxtarov, M.A. Muxtarov, T.R. Mehdiyev, K.B. Qurbanov, E.A. Axundova, N.A. Axundova, N.İ. Hüseynova, S.İ.Əliyeva, E.Ə. Ələsgərova** 33
7. **FİZİKA, 2015, vol. XXI №4, section: En** buraxılışında dərc olunan məqalələrin qısa xülasəsi 47

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