

Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ MAQNİT YARIMKEÇİRİCİNİN MAQNİT VƏ ELEKTRİK XASSƏLƏRİ

**A.İ. ƏHMƏDOV, A.M. ABDULLAYEV, İ.N. İBRAHİMOV, M.C. NƏCƏFZADƏ,
M.A. ALCANOV, M.K. XUDAYAROVA, Q.C. SULTANOV**

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu

H. Cavid pr. 131, AZ-1143, Bakı, Azərbaycan

E-mail: aqaadil@gmail.com

110 ÷ 660K temperatur intervalında maqnit və elektrik tədqiqatı aparılmışdır. Göstərilmişdir ki, Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ yarımkeçirici ferromaqnetikdir. T_C ($T_C \approx 210K$) ferromaqnit Küri temperaturu təyin edilmişdir. Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ üçün μ_{eff} effektiv maqnit momenti hesablanmışdır ($\mu_{eff} = 1.8\mu_B$ Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ birləşməsinin σ elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı onun yarımkeçirici tipə aid olduğunu göstərir. Bütün tədqiq olunan intervalda α termo-e.h.q. işarəsi müsbətdir, yəni Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ birləşməsində keçiricilik bir tipə malik yük daşıyıcıları ilə yaradılır (p -tip). Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ ferromaqnetikində maqnit faza keçidinin yük köçürülməsinə təsiri müəyyən olunmuşdur.

Açar sözlər: maqnitlənmə; Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄; Küri temperaturu; elektrik keçiriciliyi

PACS: 64.70.kg, 75.50.Dd, 75.50.Pp

GİRİŞ

Məlumdur ki, ion ölçüləri çox fərqli olmadığı təqdirdə, şpinelin tetra- və oktaedr düyünlərində ionların izovalent əvəzlənməsi ilə bərk məhlulların əmələ gəlməsi kifayət qədər asanlıqla baş verir [1, 2, 3].

Buna əsasən, Küri temperaturu yüksək olan yarımkeçirici birləşmələr əldə etmək üçün, FeCr₂S₄ birləşməsində Fe qismən Ni ilə əvəz edilmiş və Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ tipli tərkib hazırlanmışdır. Belə bərk məhlul elektrik və maqnit xassələri arasındakı qarşılıqlı əlaqəni aydınlaşdırmaq üçün əlverişli obyektədir. Maqnit tədqiqatlardan məlumdur ki, Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ tərkibi ferromaqnit struktura malikdir [2, 3, 4].

Bununla birlikdə, elektrik xassələrinin öyrənilməməsi Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄-də keçiriciliyin mahiyyətini aydınlaşdırmağa imkan vermir. Buna görə də, elektron keçiriciliyinin mexanizmini aydınlaşdırmaq üçün, maqnit faza keçidinin temperaturunu əhatə edən 100÷660K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyi (σ) və termo- EHQ diferensial əmsalı (α) tədqiq edilmişdir.

SİNTEZ, NÜMUNƏLƏRİN HAZIRLANMASI VƏ TƏDQIQAT METODLARI

Nümunələri hazırlamaq üçün karbonil dəmir, elektrolitik xrom və təmizliyi 99,99% olan nikelədən və 99,99999% təmizlikli kükürddən istifadə edilmişdir.

İlkin komponentlərin hesablanmış miqdarı vakuum yaradılmış kvarts ampulasına yerləşdirilmiş və 900°C-yə qədər yavaş-yavaş qızdırılmışdır. 3 gündən sonra temperatur yavaş-yavaş otaq temperaturuna qədər endirilmişdir. Alınan tərkib əqiq həvəngdəstədə yaxşıca üyüdülmüş və 2.5 GPa təzyiq altında preslənmişdir. Yandırılma vakuumda 800°C-də 8 gün ərzində aparılmışdır. Rentgenoqrafik analiz göstərmişdir ki, alınan nümunə bir fazalı olub şpinel struktura malikdir.

Elektrik keçiriciliyi və termo- EHQ ölçüləri sabit cərəyanda kompensasiya metodu ilə aparılmışdır.

Maqnitlənmə Domenikallinin rəqqaslı maqnitometrinə ölçülmüşdür. Sabit temperaturda spontan

maqnitlənmə, müxtəlif maqnit sahələrində ölçülmüş maqnitlənmənin sıfır maqnit sahəsinə ekstrapolyasiya edilməsilə təyin olunur.

EKSPERİMENTAL NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

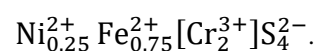
Şəkil 1-də Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ üçün 4.2 K temperaturunda I_S xüsusi maqnitlənmənin maqnit sahəsindən asılılığı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, maqnitlənmə izotermi spontan maqnitlənməyə malik materiallar üçün xarakterikdir. Bundan başqa texniki maqnitlənmə prosesi 1.5 kOe ($\approx 11.93 \cdot 10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}$) qədər olan sahələrdə sona çatır, bundan sonra kiçik paraproces müşahidə olunur ki, bu da, görünür, kristal qəfəsin defektləri yaxınlığında xaosik hərəkətdə olan spinlərin maqnit sahəsi ilə istiqamətləndirilməsinin nəticəsidir. Sabit temperaturda spontan maqnitlənmə, müxtəlif maqnit sahələrində ölçülmüş maqnitlənmənin kubik splaynla sıfır maqnit sahəsinə ekstrapolyasiya etməklə təyin edilir. Maqnitlənmə 53.3, 75.6 və $85.9 \cdot 10^4 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ maqnit sahələrində ölçülmüşdür.

Effektiv maqnit momentinin (μ_{eff}) 4.2 K-də qiyməti aşağıdakı düsturdan istifadə edərək hesablanır:

$$\mu_{eff} = \frac{I_{0S} \cdot M}{N_A},$$

burada Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ üçün $1.8\mu_B$ ($\mu_{eff} \approx 1.8\mu_B$) qiymətinə bərabərdir. I_{0S} - doyma maqnitlənmə, M - molyar kütlə, N_A - Avogadro ədədi, μ_B - Bor maqnetonudur.

Əgər Fe və Ni ionlarının tetraedrik düyünlərdə və Cr ionlarının oktaedrik düyünlərdə yerləşməklə bütün tərkibin normal spinel struktura malik olduğunu düşünsək, μ_{eff} effektiv maqnit momentinin eksperimental qiyməti nəzəri qiymətlə uzlaşır. Bu vəziyyətdə tədqiq olunan tərkibin ion konfigurasiyası aşağıdakı kimi görüncəkdir [2]:

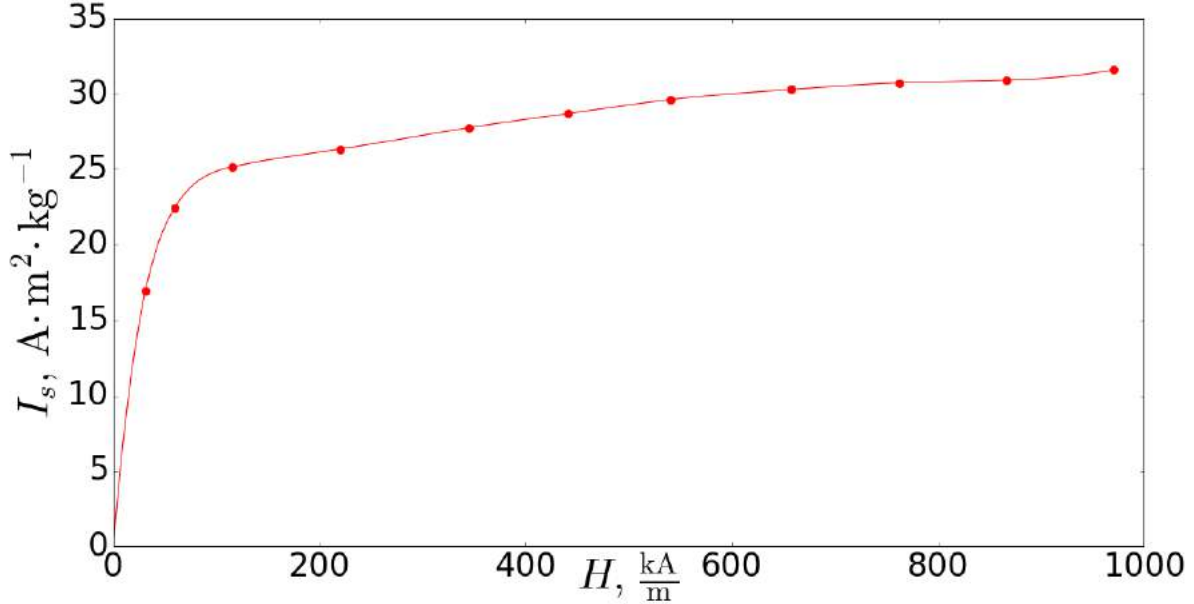


Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ üçün spontan maqnitlənmənin temperaturdan asılılığı şəkil 2-də göstərilmişdir.

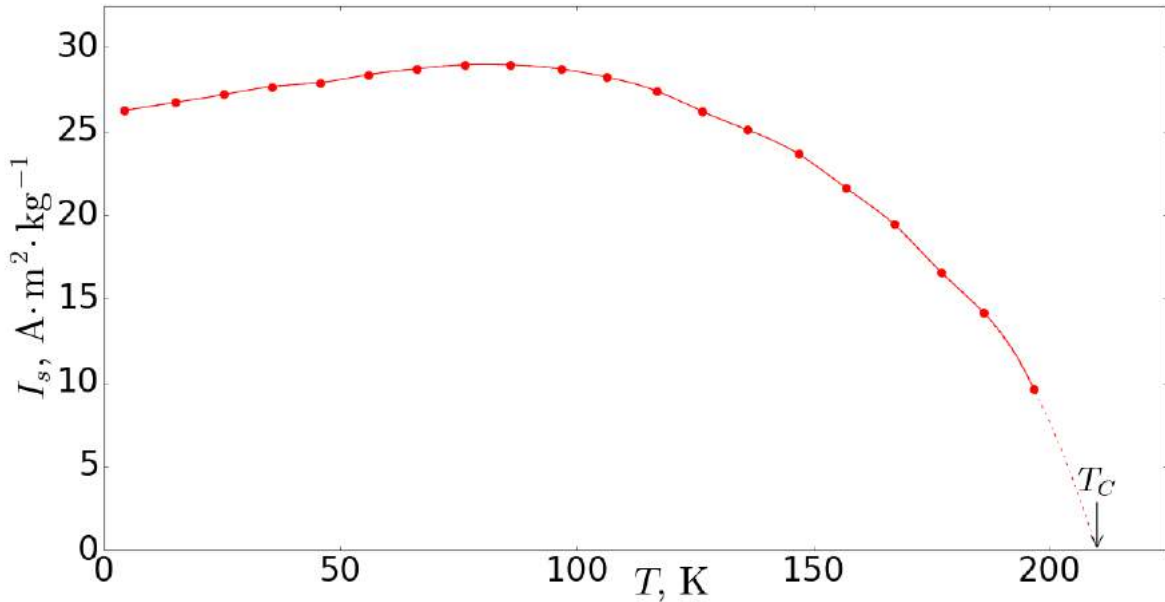
Ferromaqnit T_C Kuri temperaturu $I_s(T)$ asılılığının temperatur oxuna kubik splaynla ekstrapolyasiya edilərək təyin edilir ($T_C \approx 210$ K) [5, 6].

Şəkil 3-də 113÷660 K temperatur intervalında Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ birləşməsinin σ elektrik keçiriciliyi üçün $\ln \sigma \left(\frac{1000}{T} \right)$ temperatur asılılığı göstərilmişdir. Şəkiləndən görüldüyü kimi Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ üçün

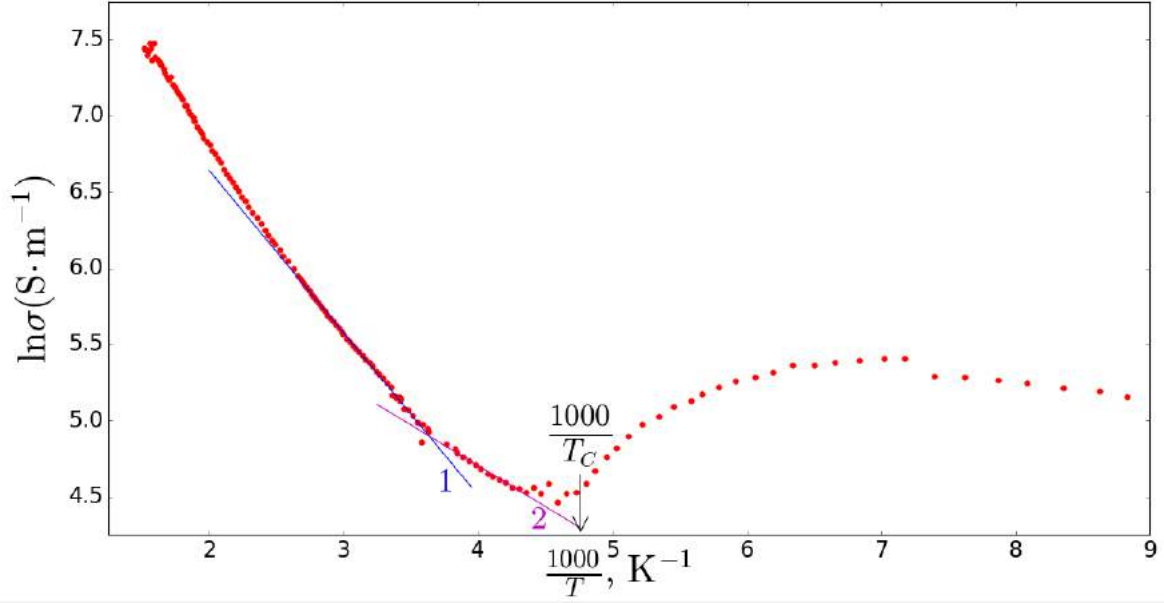
$\ln \sigma \left(\frac{1000}{T} \right)$ asılılığı yarımkeçirici keçiriciliyinə malik olan tipi göstərir. Görüldüyü kimi $T > 230$ K intervalında $\ln \sigma \left(\frac{1000}{T} \right)$ asılılığı fərqli meyl bucağına malik iki oblastdan ibarət olan bir əyridir. Elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığının bu davranışı, qadağan olunmuş zonada sayı dəyişə bilən həm donor, həm də akseptor səviyyələrin eyni vaxtda mövcudluğunun mümkün olduğu enerji modeli əsasında izah olunur [7].



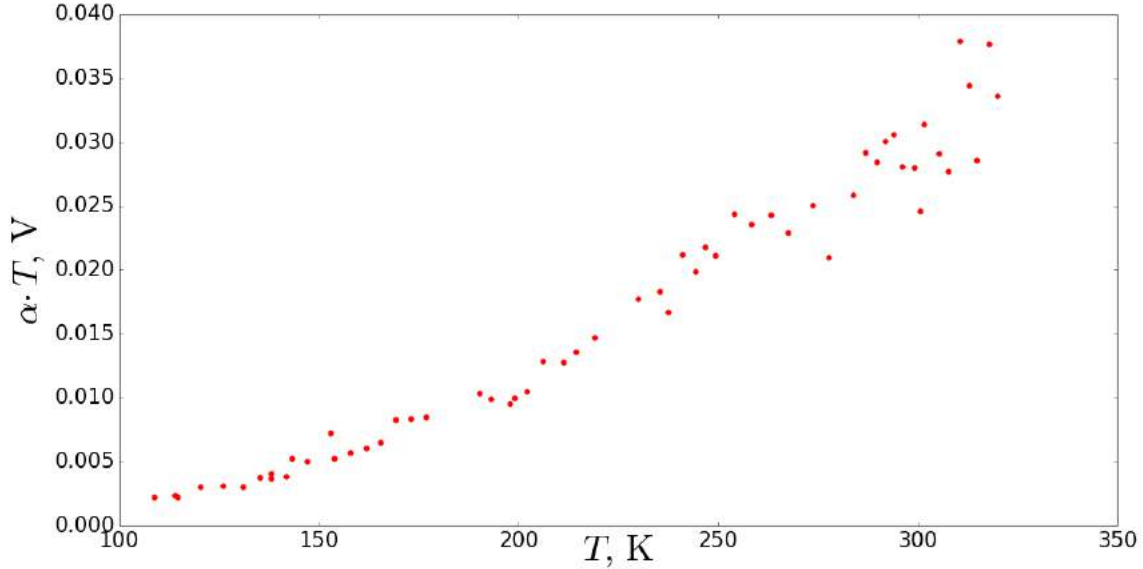
Şəkil 1. Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ kristalın 4.2 K temperaturda maqnitlənməsinin sahədən asılılığı.



Şəkil 2. Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ kristalı üçün maqnitlənmənin temperaturdan asılılığı.



Şəkil 3. Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ kristalı üçün xüsusi elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı ($\ln\sigma = f\left(\frac{1000}{T}\right)$).



Şəkil 4. Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ kristalı üçün termo-EHQ-nin temperaturdan asılılığı ($\alpha \cdot T = f(T)$).

Şəkil 3-dən görünür ki, 230 < T < 265 K temperatur intervalında σ elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı, 265 K ($T > 265$ K) yuxarıdakı temperatur aralığından fərqli olaraq, daha zəif asılılığa malikdir. Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ kristalı üçün keçiriciliyin $\ln\sigma = f\left(\frac{1000}{T}\right)$ asılılığının meyl bucağının tangenslərinə görə $\Delta E_{a1} = 0.092$ eV, $\Delta E_{a2} = 0.046$ eV aktivasiya enerjiləri hesablanmışdır. Küri temperaturu (T_C) oblaslında $\ln\sigma\left(\frac{10^3}{T}\right)$ asılılığında yarımkəçirici – metal tipli anomaliya müşahidə olunur. Göründüyü kimi bu, yük daşıyıcılarının spin sisteminin maqnit nizamlılığı halından nizamsız hala keçməsi zamanı meydana gələn spin nizamsızlığından səpələnməsi ilə əlaqədardır [8]. Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ kristalında 370 K-dən yuxarıda məxsusi keçiricilik oblastı reallaşır.

Şəkil 4-də Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ birləşməsinin α termo-ehq üçün $\alpha \cdot T(T)$ temperatur asılılığı verilmişdir. α kəmiyyətinin işarəsi bütün araşdırılan intervalda müsbətdir, yəni, Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄-də keçiricilik bir növ yük daşıyıcıları (p – tip) tərəfindən həyata keçirilir [9].

NƏTİCƏ

Beləliklə, 113-660 K temperatur intervalında Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ birləşməsinin maqnit və elektrik xassələrinin tədqiqi göstərmişdir ki, bu birləşmə ferromaqnitdir və elektrik keçiriciliyi yarımkəçirici xüsusiyyətə malikdir. Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ ferromaqnitində maqnit faza keçidinin yük daşınmasına təsiri aşkar edilmişdir. Elektrik tədqiqatları aşkara çıxartmışdır ki, Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ p -tip yarımkəçiricidir.

- [1] E. Steinbeiss, H. Dintner. Annalen der Physik 7 Folge, Band 27, Heft.1, 1971, s.119-121.
- [2] P.З. Садыхов, А.Д. Намазов. Переход антиферромагнетизм-ферримагнетизм в системе Zn_{1-x}Co_xCr₂S₄. ФТТ, 1989, т. 31, №1, с.314 - 317.
- [3] А. Ахмедов, М.А. Алджанов, М.Д. Наджафзаде, И.Н. Ибрагимов, Г.Д. Султанов. AJP Fizika, 2018, vol. XXIV, №3, section: Az, с. 67-68.
- [4] Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика, Том VIII, Москва, Наука, 1982, 620с.
- [5] К.П. Белов. Магнитные превращения, Москва, ФМЛ, 1959, 260 с.
- [6] К.П. Белов. Магнитотепловые явления в редкоземельных магнетиках, Москва, Наука, 1990. 96 с.
- [7] H. Neumann. Phys. Stat. Sol. (a). 56. 1979, p. 137-140.
- [8] Г.В. Лосева, С.Г. Овчинников. В сб.: Физика магнитных материалов, под ред. В. А.Изнатченко, Г.А. Петраковского (Новосибирск, Наука, 1983), с. 60.
- [9] К.В. Шалимова. Физика полупроводников, 2010, 400 с.

**A.I. Akhmedov, A.M. Abdullayev, I.N. Ibrakhimov, M.C. Nadjafzade,
M.A. Aldjanov, M.K. Khudayarova, Q.C. Sultanov**

**MAGNETIC AND ELECTRICAL PROPERTIES OF MAGNETIC SEMICONDUCTORS
Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄**

Magnetic and electrical investigations are carried out in the temperature interval 110÷660 K which show that Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ is the semiconductor ferromagnet. The ferromagnetic Curie temperature T_C ($T_C \approx 210K$) is determined. The value of the effective magnetic moment (μ_{eff}) is calculated for Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ ($\mu_{eff} = 1.8\mu_B$). The temperature dependence of the electrical conductivity σ of the Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ compound indicates on semiconductor type of conductivity. The sign of the thermopower α in total studied interval is positive one, i.e. the conductivity in Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ is carried out by one type of charge carrier (p type). The influence of the magnetic phase transition on charge transfer in Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ ferromagnet is observed.

**А.И. Ахмедов, А.М. Абдуллаев, И.Н. Ибрагимов, М.Дж. Наджафзаде,
М.А. Алджанов, М.К. Худаярова, Г.Дж. Султанов**

**МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄**

В интервале температур 110 ÷ 660К проведены магнитные и электрические исследования, которые показали, что Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ является полупроводниковым ферромагнетиком. Определена ферромагнитная температура Кюри T_C ($T_C \approx 210K$). Рассчитано значение эффективного магнитного момента (μ_{eff}) для Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ ($\mu_{eff} = 1.8\mu_B$). Температурная зависимость электропроводности σ соединения Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ указывает на полупроводниковый тип проводимости. Знак термоэдс α во всем исследованном интервале положителен, т.е. проводимость в Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄ осуществляется одним типом носителей заряда (p -тип). Обнаружено влияние магнитного фазового перехода на перенос заряда в ферромагнетике Ni_{0.25}Fe_{0.75}Cr₂S₄.

Qəbul olunma tarixi: 16.01.2021