

KRISTALL PANJARADA ATOMLAR BIR O'LCHAMLI ZANJIRINING TEBRANISHLARINI TEKSHIRISH

Tolaboyev D.X.

Farg'ona politexnika instituti,
dilmuhammad00056@gmail.com

ANNOTATSIYA

Kristall atomlarining bir-biriga va muvozanat holatlariga nisbatan siljishiga ichki-siljigan atomni muvozanat holatiga qaytaruvchi kuch vujudga keladi. Agar nisbiy siljishlar kichik qiymatli bo'lsa, u holda ichki kuchni siljishga nisbatan qatorga yoyib, siljishga nisbatan chiziqli hadi bilan chegaralanamiz. Bunda kristall panjaralari chiziqli differentsial tenglamalar sistemasi yordamida ifodalanadi. Bunday tenglamalar sistemasi g'aroyib xususiyatga ega, ya'ni agar tenglamaning bir nechta yechimi mavjud bo'lsa, u holda ularning summasi ham uning yechimi bo'la oladi. Bu ikki va undan ko'p tebranishlarning summasi ham tebranish bo'lishini anglatadi.

Bunday tur tebranishlarning fizikaviy tahlilini qilish maqsadida kelgusida bir o'lchamli kristall panjaralarning, ya'ni atomlarning bir o'lchamli zanjirining tebranishini tekshiramiz.

Kalit so'zlar: *elementar panjara, bir o'lchamli kristall, tebranish, garmonik tebranish, dispersiya, to'lqin vektori, to'lqin uzunlik, kimyoviy bog'lanish.*

INVESTIGATION OF THE OSCILLATIONS OF A ONE- DIMENSIONAL CHAIN OF ATOMS IN A CRYSTAL LATTICE

Tolaboyev D.X.

Fergana Polytechnic Institute,
dilmuhammad00056@gmail.com

ABSTRACT

The displacement of crystal atoms relative to each other and to equilibrium states creates a force that returns the internally displaced atom to equilibrium. If the relative displacements are small, then we limit the internal force to the displacement relative to the displacement and to the linear limit relative to the displacement. In this case, the crystal lattices are represented using a system of linear differential equations. Such a system of equations has a strange property, that is, if there are

several solutions to the equation, then their sum can also be its solution. This means that the sum of two or more oscillations is also an oscillation.

In order to make a physical analysis of this type of oscillation, we will next examine the oscillations of one-dimensional crystal lattices, that is, one-dimensional chains of atoms.

Keywords: *elementary lattice, one-dimensional crystal, oscillation, harmonic oscillation, dispersion, wave vector, wavelength, chemical bond.*

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ОДНОМЕРНОЙ ЦЕПОЧКИ АТОМОВ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ

Толабоев Д.Х.

Ферганский политехнический институт,
dilmuhammad00056@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Смещение атомов кристалла относительно друг друга и к состояниям равновесия создает силу, которая возвращает смещенный внутрь атом к равновесию. Если относительные смещения малы, то мы ограничиваем внутреннюю силу смещением относительно смещения и линейным пределом относительно смещения. В этом случае кристаллические решетки представляются с помощью системы линейных дифференциальных уравнений. Такая система уравнений обладает странным свойством, то есть если существует несколько решений уравнения, то их сумма также может быть его решением. Это означает, что сумма двух или более колебаний также является колебанием.

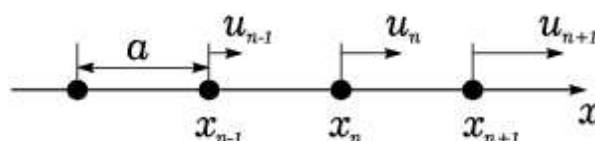
Чтобы провести физический анализ этого типа колебаний, мы рассмотрим колебания одномерных кристаллических решеток, то есть одномерных цепочек атомов.

Ключевые слова: *элементарная решетка, одномерный кристалл, колебание, гармоническое колебание, дисперсия, волновой вектор, длина волны, химическая связь.*

KIRISH

Bir atomli davriy joylashgan atomlar zanjirini, ya'ni elementar panjarasida bittadan atomi bo'lgan bir o'lchamli kristallni ko'raylik. Aytaylik a bu zanjirning davri bo'lsin. U holda atomlar zanjiridagi n -atomning x_n koordinatasi na bo'ladi.

n -atomning muvozanat holatidan siljishini u_n bilan belgilaylik va atomlar faqat qo'shnilari bilan o'zaro ta'sirlashadi deb hisoblaymiz. Bu holda $(n+1)$ -va n -atomlarning o'zaro ta'sir kuchi ular siljishlarining $u_{n+1} - u_n$ nisbiy farqi bilan aniqlanadi va siljishga nisbatan chiziqli yaqinlashishda bu kuch $F_{n,n+1} = \gamma(u_{n+1} - u_n)$ kabi aniqlanadi, bu yerda γ —proporsionallik (mutanosiblik) koeffitsiyenti. Agar atomlar o'zaro xayoliy elastik prujina bilan bog'langan deb hisoblasak, u holda γ prujinaning qattiqligi bo'ladi.



1-rasm. Bir atomli elementar uyachaning bir o'lchamli zanjiri

1-rasmda n -va $n+1$ -atomlar orasidagi prujina qisilgan bo'lganligi bois, elastiklik kuchi n -atomga o'qning musbat yo'nalishida ta'sir qiladi. $n-1$ -va n -atomlar orasidagi prujina chuzilganligi tufayli n -atomga manfiy yo'nalishdagi kuch ta'sir ko'rsatadi, ya'ni $F_{n,n-1} = \gamma(x_n - x_{n-1})$.

MUHOKAMA VA NATIJALAR

Zanjirning n -atomi uchun qayd qilingan Nyuton qonuni quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$M \frac{d^2 u_n}{dt^2} = F_{n,n+1} + F_{n,n-1} = \gamma(u_{n+1} - u_n) - \gamma(u_n - u_{n-1}) \quad (1)$$

O'ng tarafdagi birinchi had n -atomga $n+1$ -atom tomonidan, ikkinchisi esa $n-1$ -atom tomonidan berilayotgan ta'sir kuchini anglatadi.

Tenglamani quyidagi sodda ko'rinishga keltiramiz

$$M \frac{d^2 u_n}{dt^2} = \gamma[u_{n+1} + u_{n-1} - 2u_n]. \quad (2)$$

Har bir atom uchun qayd qilingan bunday tur tenglamalar sistemasi atomlar zanjirining tebranishini to'la qamrab oladi.

Agar uzun to'lqin uzunlikli tebranishlarni qaraydigan bo'lsak, u holda zanjirning a davridan katta miqdorli to'lqin uzunliklar uchun $u_{n+1} - u_n$ farqni $(\partial u_n / \partial x)a$ kattalik bilan, (2) ning o'ng tarafidagi hadlarni $\gamma a^2 (\partial^2 u / \partial x^2)$ bilan almashtirish mumkin. U holda

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\gamma}{M} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (3)$$

tenglama hosil bo'ladi va uning yechimini $u = A \exp(ikx - i\omega t)$ ko'rinishda izlash mumkin. Bu holda $\omega = s|k|$ (ovoz to'lqinlari uchun) chiziqli dispersiyaviy bog'lanishli kattalik, s —ovozning muhitda tarqalish tezligi:

$$s = a \sqrt{\frac{\gamma}{M}} \quad (4)$$

Biroq biz tenglamani aniq-analitik yechamiz, ya'ni ixtiyoriy to'lqin uzunlikli tebranishlarni tahlil qilamiz.

Tebranishni garmonik tabiatli deb tasavvur qilsak, u holda

$$u_n = C_n e^{i\omega t} \quad (5)$$

ω —zanjirning barcha atomlari uchun bir xil bo'lgan atomlarning tebranish chastotasi (bunday tebranishlar garmonik tebranishlar deb yuritiladi), C_n - n -atom tebranishining kompleks amplitudasi.

Tenglama chiziqli bo'lganligi bois, vaqtga nisbatan ixtiyoriy bog'lanishli tebranishni Furrye qatoriga yoyish mumkin. U holda C_n amplituda uchun quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$-M\omega^2 C_n = \gamma[C_{n+1} + C_{n-1} - 2C_n]. \quad (6)$$

Bu tenglama cheksiz ko'p tenglamalar sistemasini hosil qiladi. Agar zanjirga Born-Karmanning chegaraviy shartini qo'llasak, u holda sistema chekli bo'lib qoladi. U holda, noma'lumlar sistemasining aniqlanuvchisini nolga tenglashtirib, tebranishlar chastotasi va uning amplitudasi uchun ifodalar olamiz. Biroq boshqacha usuldan foydalanib masalani hal qilamiz, ya'ni yechimni yassi to'lqin ko'rinishida izlaymiz

$$C_n = A e^{ikx_n} \quad (7)$$

Bu ifoda yordamida biz quyidagiga ega bo'lamiz

$$-M\omega^2 e^{ikx_n} = \gamma[e^{ikx_{n+1}} + e^{ikx_{n-1}} - 2e^{ikx_n}] \quad (8)$$

Oxirgi tenglamani $\exp(ikx_n)$ ga bo'lamiz va

$x_{n+1} = x_n + a, x_{n-1} = x_n - a$: munosabatdan foydalansak, u holda

$$-M\omega^2 = \gamma[e^{ika} + e^{-ika} - 2] \quad (9)$$

)

Shunday qilib, yassi to'liqin tarzida yechimni izlash mazmunan mos keladi, ya'ni qaralayotgan atomning n tartib raqami yo'qolib, ω va k o'rtasidagi bog'lanish, ya'ni to'liqinning dispersiya qonuni kkelib chiqdi. Ma'lumki,

$$\frac{e^{ika} + e^{-ika}}{2} = \cos ka, \quad (1)$$

0)

u holda

$$\omega^2 = \frac{2\gamma}{M}(1 - \cos ka) = \frac{4\gamma}{M} \sin^2 \frac{ka}{2} \quad (1)$$

1)

va bir o'lchamli elastik tebranishlarning quyidagi ko'rinishdagi dispersiya qonunini olamiz

$$\omega = \sqrt{\frac{4\gamma}{M}} \left| \sin \frac{ka}{2} \right|. \quad (1)$$

2)

Shunday qilib, davriy joylashgan bir o'lchamli atomlar zanjirining tebranishi yassi garmonik to'liqin yordamida ifodalanadi, ya'ni

$$u_n = \text{Re}[Ae^{i(kx_n - \omega t)}] = |A| \cos(kx_n - \omega t + \varphi), \quad (1)$$

3)

Aniqroq aytganda, tebranish yuqorida qayd qilingan to'liqlarning ixtiyoriy summasidan tashkil topgan. Bu yerda φ —kompleks $A = |A| \exp(i\varphi)$ amplitudaning fazasi. Shuni qayd qilish o'rinliki, siljish haqiqiy kattalik bo'lib, u (13) ifoda yordamida aniqlanuvchi kompleks yassi garmonik to'liqinning haqiqiy tashkil etuvchisidir.

(13) yassi to'liqinning k to'liqin vektori, umuman aytganda, ixtiyoriy kattalik bo'lishi mumkin. Ammo zanjirning diskretligidan, ya'ni diskret na qiymatlarni qabul qilishini e'tiborga olsak, u holda to'liqin vektorlari bir-biridan teskari panjara vektori $2\pi l/a$ ga karrali farq qiluvchi yassi garmonik to'liqlar bir tur tebranishlarni tavsiflaydi. Bu yerda l —ixtiyoriy butun son.

Haqiqatan ham $x_n = na$ bo'lganligi uchun

$$e^{i(k + \frac{2\pi l}{a})x_n} = e^{i(kx_n + \frac{2\pi l}{a}na)} = e^{ikx_n}. \quad (1)$$

4)

Shuning uchun to'liqin vektorlari birinchi Brilliyen zonasida, ya'ni $-\pi/a < k < \pi/a$ sohada yotuvchi yassi to'liqlarni tekshirish bilan chegaralanamiz. To'liqin vektorining $\pm\pi/a$ chetki qiymatlari $\lambda = 2\pi/k = 2a/\lambda$ minimal to'liqin uzunlikli tebranishlarga mos keladi. Bunday to'liqin uzunlikli tebranishlarda zanjirdagi qo'shni

atomlar teskari fazada tebranishadi. Intuitiv tarzda tushunish mumkinki, bundan kichik to'liq uzunlikli tebranish atomlar zanjirida uchramaydi.

Bitta atomli elementar uyachalarning bir o'lchamli zanjiri uchun $\omega(k)$ bog'lanishining grafi 2-rasmda tasvirlangan.

Endi (12) dispersiyaning xossalari bilan tanishaylik. Uning asosiy xossalaridan biri zanjirdagi tarqalayotgan to'liq chastotasi $\omega_{\max} = \sqrt{4\gamma/M}$ chastota bilan chegaralangandir. Bu chastotani miqdoran tavsiflash uchun γ ning qiymatini doimiyligni avvaldan berilgan deb hisoblaymiz. Uning o'lchov birligi

$$[\gamma] = \frac{[F]}{[u]} = \frac{\text{energiya}}{\text{uzunlik}^2}. \quad (1)$$

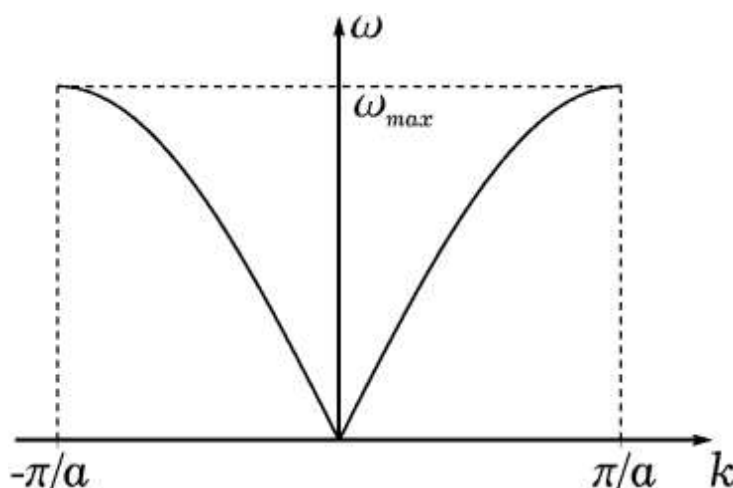
Atomlar orasidagi masofani $1A = 10^{-8} \text{ sm}$ tartibida deb hisoblaylik. Bu kattalik tavsiflovchi energiya atomni a tartibidagi masofaga ko'chirishda bajarilgan ishni beradi. Agar uni miqdoran kimyoviy bog'lanish energiyasi kabi qaralsa, u holda 10 eV miqdorli energiyaga mos keladi. Shunday qilib,

$$\gamma = 1.6 \cdot 10^4 \text{ erg} / \text{sm}^2. \quad (16)$$

Bitta atomning massasi sifatija $10M_p$ kattalikni olaylik. Bu yerda $M_p \approx 2 \cdot 10^{-24} \text{ g}$ — protonning massasi.

ω_{\max} uchun:

$$\omega_{\max} \approx \sqrt{\frac{4 \cdot 1.6 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^{-23}}} \approx 6 \cdot 10^{13} \text{ s}^{-1}, \nu = \frac{\omega}{2\pi} \approx 10^{13} \text{ Hz} \quad (1)$$



2-rasm. Bitta atomli elementar uyachalarning bir o'lchamli zanjiri tebranishining dispersiya qonuni.

Bunday chastotadi elektromagnit to'liqning to'liq uzunligi

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \approx \frac{3 \cdot 10^{10}}{10^{13}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ sm} = 30 \text{ mkm} \quad (18)$$

Bunday to'liqin uzunlikli elektromagnit to'liqinlar infraqizil nurlar sohasiga to'g'ri keladi.

$\lambda = 2\pi/k$ to'liqin uzunligi a bir nech marta katta bo'lganida, ya'ni $ka/2 \gg 1$ shart bajarilsa, u holda $\sin(ka/2) \approx ka/2$. Shuning uchun

$$\omega(k) \approx \sqrt{\frac{4\gamma}{M}} \left| \frac{ka}{2} \right| = a \sqrt{\frac{\gamma}{M}} |k| = s|k|, s = a \sqrt{\frac{\gamma}{M}} \quad (19)$$

XULOSA

Shunday qilib, uzun to'liqin uzunlikli tebranishlar— $\omega = s|k|$ chiziqli dispersiyali ovoz to'liqinlaridir. Umuman olganda, uzun to'liqin uzunlikli to'liqinlar zanjirning diskret strurali ekanini "his qilmaydi", ya'ni atomlar zanjirini ulukchiz elastik muhit sifatida "sezadi". Shu sababdan s ovozning muhitda tarqalish tezligi zanjirning makroskopik xarakteristikalarini, masalan, M/a chiziqli zichligi va zanjirning γ elastiklik koeffitsiyenti orqali ifodalanadi, ya'ni

$$s = a \sqrt{\frac{\gamma a}{M/a}} \quad (20)$$

$k \rightarrow 0 (\lambda \rightarrow \infty)$ shartni qanoatlantirganligi bois, yuqorida qaralgan to'liqlar *akustik to'liqlar* deb yuritiladi va ular ovoz to'liqlariga mos keladi.

Quyida elementar uyachada ikki va undan ortiq atomlar joylashsa, u holda akustik to'liqlardan tashqari boshqa tur to'liqlar ham sodir bo'ladi.

Kvant mexanika tasavvuriga ko'ra har bir to'liqinga $p = \hbar k$ impulsli va $E = \hbar \omega$ energiyali kvazizarra mos keladi. Kristall panjaralarning elastik tebranishlarig mos keluvchi kvazizarra *fonon* deb nomlanadi. Akustik to'liqlarga mos keluvchi fononlar akustik fononlar deb ataladi.

Bir o'lchamli zanjir akustik fononning energiyasi taqriban:

$$E = \hbar \omega \approx 10^{-27} \cdot 10^{14} = 10^{-13} \text{ erg} \approx 0.05 \text{ eV} \quad (21)$$

$\hbar \omega_{max}$ energiyaning kritsllar uchun eksperimental qiymati $30 \div 40$ meV tartibida bo'ladi. Bu kattalik elektronga xos xarakterli energiyalar ($\approx 1 \text{ eV}$) qiymatidan sezilarli kichik bo'lib, elektronning u xona temperaturasidagi ($k_B T \approx 0.025 \text{ eV}$, k_B – Boltsman doimiyligi) issiqlikli energiyasiga to'g'ri keladi.

REFERENCES

1. Линейно-циркулярный дихроизм одно фотонного поглощения света в пьезоэлектрических полупроводниках. Учет эффекта когерентного насыщения / В. Р. Расулов, Р. Я. Расулов, И. М. Эшболтаев [и др.] // American Scientific Journal. – 2016. – № 7. – С. 44-47.
2. Диагностика полупроводниковых материалов методом поляритонной люминесценции / Б. З. Полвонов, М. Насиров, В. Мирзаев, Ж. Разиков // General question of world science : Collection of scientific papers on materials VII International Scientific Conference, Brussel, 30 марта 2019 года. – Brussel: "Наука России", 2019. – С. 39-42. – DOI 10.18411/gq-30-03-2019-35.
3. Полвонов Б. З. и др. Исследование низкотемпературной фотолюминесценции кристаллов в области экситонного резонанса // НАУКА РОССИИ: ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ. – 2019. – С. 8-11.
4. Юлдашев Носиржон Хайдарович, Ахмаджонов Мехриддин Фахриддинович, Мирзаев Валижон Тулкинович, Нурматов Озодбек Равшанжон Угли Фотоэлектретные пленки CdTe:Ag и Sb₂Se₃ при собственном и примесном поглощении света shape * MERGEFORMAT // Евразийский Союз Ученых. 2019. №3-4 (60).
5. Мирзаев В. Т. и др. МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ (РЗ)-ИОНОВ В ПАРАМАГНИТНЫХ ГРАНАТАХ //Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. – 2019. – С. 34-36.
6. Ruzimatova Barnokhon, Polvonov Bakhtiyor. “Development of students ' creativity in the course of studying general physics at technical universities.” “Scientific-technical journal: Vol. 2 : Iss. 2 , Article 4.
7. Fakhriddin Y. et al. Physics student participation test in the online group homework forum //International Engineering Journal For Research & Development. – 2020. – Т. 5. – №. 8. – С. 4-4.
8. Yusupov F. T. O. G. L. et al. Use of vernier digital laboratory in lessons and lesson activities //Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. – 2021. – Т. 1. – №. 10. – С. 86-94.
9. Rakhmonov Tokhir, Yusupov Fakhriddin, and Tolaboyev Dilmuhammad, “A study in showing logical strategy and demeanor in the middle school”, IEJRD - International Multidisciplinary Journal, vol. 5, no. 7, p. 7, Nov. 2020.

10. Axmadjonov M. F. et al. THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CdTe: Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION //Scientific-technical journal. – 2019. – Т. 2. – №. 2. – С. 9-17.
11. Yuldashev, N. K., Mamadiyeva, D. T., Nurmatov, O. R., Raxmonov, T. I., & Sulaymonov, X. M. (2019). The effect of mechanical deformation on the photovoltaic properties of semiconductor polycrystalline film structures CdTe: Sn. Scientific-technical journal, 23(3), 9-14.
12. Ahmadaliyev, B. J.; Yuldashev, N. Kh.; and Yulchiyev, I. I. (2020) "SPECIFIC FEATURES OF THE DISPERSION OF MIXED EXCITON-POLARITON MODES IN UNIAXIAL CRYSTALS OF THE CDS TYPE," Scientific-technical journal: Vol. 24 : Iss. 5 , Article 12.
13. Rakhmonov, T I. and Yuldashev, N Kh (2021) "Photo-tensoelectric properties of thin polycrystalline CdTe, CdSe, CdS films obtained by portional thermal evaporation in a vacuum," *Scientific-technical journal*: Vol. 4 : Iss. 4 , Article 4.
14. Разработка автоматизированной системы измерений энергетических характеристик солнечных энергетических установок / С. Ф. Эргашев, Д. Т. Мамадиева, Х. М. Сулаймонов [и др.] // Точная наука. – 2019. – № 43. – С. 22-27.
15. Султанов, Н. А., Рахимов, Э. Т., & Мирзажонов, З. (2019). СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ (ФЛ) ЗАКАЛЕННОГО И ЛЕГИРОВАННОГО КРЕМНИЯ. Точная наука, (44), 22-25.
16. Касымов, Ш. С., Мирзажонов, З., Йулдашев, Х. Т., & Ахмедов, Ш. С. (2017). Фотопреобразователь для исследования характеристик лазерного ИК излучения. Журнал фізики та інженерії поверхні, 2(4), 218-222.
17. Сулаймонов, Х. М., Йулдашев, Х. Т., Нурматов, О. Р., Рахмонов, Т. И., & Мухаммадякубов, Х. Э. (2019). Фотоэлектрические свойства полупроводниковых поликристаллических пленочных структур CdTe: Sn при статических механических деформациях. Известия Ошского технологического университета, (3), 180-186.
18. Юлдашев Н. Х., Ахмадалиев Б. Ж. 02 ФКС СИЛЬНАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ СМЕШАННЫХ МОД В ОКРЕСТНОСТИ КРИТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ ЭКСИТОНА //Оптика и спектроскопия. – 2021. – Т. 129. – №. 9.
19. Joboraliyevich, Akhmadaliyev Bozorboy. "SPECIFIC FEATURES OF THE DISPERSION OF MIXED EXCITON-POLARITON MODES IN UNIAXIAL CRYSTALS OF THE CDS TYPE." European science review 1-2 (2021): 25-29.

20. Yuldashev, N. K., Mamatov, O. M., Nurmatov, O. R., Rahmonov, T. I., & Axmadjonov, M. F. (2019). THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CdTe: Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION. Scientific-technical journal, 23(2), 9-17.
21. Rasulov V. R. et al. PHOTON DRAG EFFECT IN p-Te //European Science Review. – 2018. – №. 9-10-1. – C. 249-252.