

KRISTALLARDAGI NOCHIZIG'IY AKUSTIK EFFEKTLAR

Jumayev Mustaqim Rofiyevich

BuxDU fizika kafedrası dotsenti

Arabov Jasur Olimboyevich

BuxDU fizika kafedrası o'qituvchisi

Sattorova Gulandom Hamroqulovna

BuxDU magistranti

Tursunov Adiz Nurali o'g'li

BuxDU magistranti

Annotatsiya: Ushbu maqolada biz kristallarga xos bo'lgan va izotrop qattiq jismlarda uchramaydigan asosiy nochiziqli effektlarni qisqacha tasvirlab beramiz. Bunday holda, oddiylik uchun biz piezoelektrik bo'lmagan kristallarni ko'rib chiqish bilan cheklanamiz.

Kalit so'zlar: Izotrop, kristal, akustika, nochizig'iy, tensor, garmonik, tenglama, kristallarning nochiziqchiligi, nochiziqli effektlar.

Keywords: Isotropic, crystal, acoustic, nonlinear, tensor, harmonic, equation, nonlinearity of crystals, nonlinear effects.

Ключевые слова: Изотропный, кристаллический, акустический, нелинейный, тензорный, гармонический, уравнение, нелинейность кристаллов, нелинейные эффекты.

Izotrop qattiq jismlar bilan solishtirganda, kristallarning chiziqli akustikasi ancha murakkab va xilma-xil bo'lib, bu kristallarning elastik xususiyatlarining anizotropiyasi va akustik to'lqinlarning boshqa fizik tabiatdagi maydonlar bilan o'zaro ta'sir qilish imkoniyati bilan izohlanadi. Biz kristallarga xos bo'lgan va izotrop qattiq jismlarda uchramaydigan asosiy nochiziqli effektlarni qisqacha tasvirlab beramiz. Bunday holda, oddiylik uchun biz piezoelektrik bo'lmagan kristallarni ko'rib chiqish bilan cheklanamiz, piezoelektrik effektning mavjudligi ma'lum o'zaro ta'sirlarni amalga oshirish uchun zarur bo'lgan holatlar bundan mustasno, masalan, elektr toki bilan akustik to'lqin. Bundan tashqari, biz kristallga statik ta'sir yo'qligini taxmin qilamiz va uni tasvirlash uchun tabiiy holat o'zgaruvchilardan foydalanish mumkin. Keyin $\rho_0 \ddot{u}_i = P_{ij}(1)$ harakat tenglamasidan va holat tenglamasidan quyidagi chiziqli bo'lmagan to'lqin tenglamasini olish oson: $\rho_0 \ddot{u}_i = (C_{ijkl} + C_{ijk|qr} u_{q,r}) u_{k,jl}$. (2)

Kristallarning nohiziqiligi odatda kichik va ularning geometrik o'lchamlari cheklangan bo'lgani uchun, ko'p hollarda (2) tenglamani yechishda, xuddi izotrop qattiq jismlardagi kabi, berilgan maydonni yaqinlashtirish bilan cheklanib qolish kifoya. Shu bilan birga, yechim shaklga ega deb hisoblasak $u_i = u_i' + u_i'' + \dots$, (3)

Birinchi yaqinlashishning yechimi, (3) ni (2) ga almashtirgandan so'ng, birinchi yaqinlik maydoni uchun chiziqli bir xil tenglamani olamiz: $\rho_0 \ddot{u}_i - C_{ijkl} u'_{k,jl} = 0$ (4) va ikkinchi yaqinlashish maydoni uchun chiziqli bir hil bo'lmagan tenglama:

$$\rho_0 \ddot{u}_i'' - C_{ijkl} u''_{k,jl} = C_{ijk} l_{qr} u'_{q,r} u'_{k,jl} \quad (5)$$

Tenglama (5) ikkinchi garmonikaning hosil bo'lish jarayonlarini va piezoelektrik bo'lmagan kristallarda akustik to'lqinlarning o'zaro ta'sirini tavsiflaydi. Xususan, ikkinchi garmonikaning generatsiyasini tavsiflash uchun birinchi yaqinlashishning yechimi xos to'lqin ko'rinishiga ega deb faraz qilamiz.

$$u'_k = u_0 p_k^{(m)} \cos(\omega t - k_q^{(m)} x_q) \quad (6)$$

harakatlantiruvchi kuch vektori deb ataladi. O'zining asosiy xususiyatlariga ko'ra (7) izotropik qattiq jismlarda ikkinchi garmonik hosil bo'lishini tavsiflovchi tenglamaga o'xshaydi. Xuddi izotrop holatga o'xshab, nol boshlang'ich sharoitga to'g'ri keladigan (7) tenglamaning yechimi, sinxronizm holatida masofa bilan ikkinchi qutblanish garmonik amplitudasining chiziqli o'sishini aks ettiradi.

$$u''_n = \frac{1}{8} k_{(m)}^2 \Gamma_{(mn)} x u_0^2 \cos[2\omega t - k_{(m)} x] \quad (7)$$

(7) ifodada Kristoffel tensorining bosh o'qlari bilan bog'langan koordinatalar tizimidagi ikkinchi garmonikaning siljish vektorining komponentlari vektor yo'nalishi bo'yicha o'lchangan koordinata bilan belgilanadi, umuman olganda, bir-biriga to'g'ri kelmaydi, belgilangan koordinata tizimining o'qlari bilan, hosil qilish samaradorligini tavsiflovchi chiziqli bo'lmagan parametrdir, -Kristoffel tensorining birlik xos vektorlaridan tashkil topgan matritsa, indeksi garmonikning qutblanishiga, j to'lqinining qutblanishiga, asosiy chastotaga mos keladi. Masalan, kub kristallarining asosiy o'qlari bo'ylab tarqaladigan uzunlomasina to'lqinning ikkinchi garmonikasini hosil qilishda,

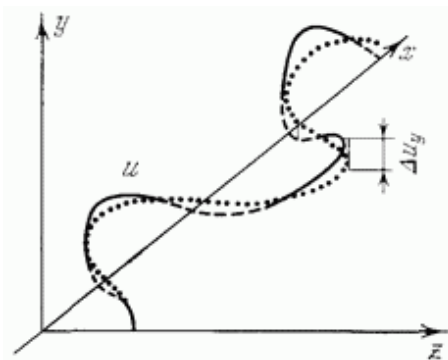
Kristallarda garmonik hosil bo'lishining xarakterli xususiyati shundaki, chiziqli bo'lmagan parametr mohiyatan anizotrop miqdordir. Bundan tashqari, kristallarda siljish to'lqinlarining ikkinchi garmonikasini yaratish mumkin. Eslatib o'tamiz, izotrop jismlarda uchinchi tartibli elastik modul tensorining simmetriyasi hech bo'lmaganda mukammal materiallarda ikkinchi kesish garmonikasini yaratishni taqiqlaydi. Kristallardagi ba'zi yo'nalishlar uchun ikkinchi garmonikaning paydo bo'lishi qiziqarli qutblanish effektlari bilan birga keladi, chunki mos keladigan shartlar ikkala ortogonal qutblanishning

kvazi-ko'ndalang to'lqinlari uchun ham qondirilishi mumkin . Bu yo'nalishlar akustik o'qlar ekanligi aniq. Masalan, akustik o'qi bo'lgan trigonal kristallarning (kvars, litiy niobat) uchinchi tartibli simmetriya o'qi uchun harakatlantiruvchi kuch vektorining tarkibiy qismlari shakliga ega.

Bu ma'lum darajada ichki konusning sinishi hodisasini eslatadi, bunda energiya oqimi vektori ham ikki tomonlama burchak bilan aylanadi. Bu o'xshashlik ikkala ta'sirning to'lqin amplitudalarida kvadratik ekanligi bilan izohlanadi.

Kristallardagi kesish garmonikalarining paydo bo'lishi, shuningdek, elastik to'lqin shaklining chiziqli bo'lmagan buzilishining mumkin bo'lgan maxsus turini ham tushuntiradi . Ma'lumki, izotrop qattiq jismlarda to'lqinning chiziqli bo'lmagan muhitda tarqalishi uning old qismining keskinlashishi va oxir-oqibat to'lqinning arra tishiga aylanishi bilan birga keladi. Furrye tasvirlari tilida bu uning spektri yuqori garmonikalar bilan boyitilganligini bildiradi.

Kristallarda tavsiflangan klassik turdagi chiziqli bo'lmagan buzilishlar bilan bir qatorda, to'lqin shaklidagi o'zgarish ham garmonikalarning paydo bo'lishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin, ularning siljish vektorlari asosiy to'lqinning siljishiga ortogonaldir. Bunday holat trigonal kristallarning uch karra simmetriya o'qlari bo'ylab to'lqin tarqalishi paytida kesish garmonikalarini yaratishning allaqachon ko'rib chiqilgan holatda sodir bo'lishi mumkin. Masalan, asosiy to'lqinning qutblanish vektori o'q bo'ylab yo'naltirilganda (burchak nolga teng), harakatlantiruvchi kuch ifodasidan ko'rinib turganidek, garmonikning qutblanishi y o'qi bo'ylab yo'naltirilgan bo'lib chiqadi. Ortogonal qutblanish bilan garmonikaning ko'rinishi siljish to'lqinidagi siljish profilining tekislikdan tashqariga chiqishi va "singan spiral" shaklini olishida namoyon bo'ladi.



1-rasm

Ortogonal qutblanishning garmonikasini hosil qilish bilan bog'liq bo'lgan kristalldagi siljish to'lqini shaklining buzilishi. Nuqtalar qattiq tekislikda yotgan kosinus to'lqinining segmentini, chiziqli egri chiziqlar esa mos ravishda tekislik ustida va pastda joylashgan to'lqin profilining bo'limlarini ko'rsatadi.

Adabiyotlar:

1. Arabov J.O., Hakimova S.Sh., To'xtayeva I.Sh. Past haroratli qiya ho'llanadigan sirtli quyosh suv chuchutgichlarida bug'lanadigan sirt bilan kondensatsiyaladigan sirt orasidagi masofani optimallashtirish.// Eurasian journal of academic research Innovative Academy Research Support Center. Volume 1 Issue 01, (2021) .
2. Farhodovna A.M., Olimboevich A.J., Badriddinovich K.B. Innovative Pedogogical Technologies For Training The Course Of Physics // The American Journal of Interdisciplinary Innovations and Research (2020) №2 (12), C 82-91.
3. Arabov J.O., Sattorova G.H. Technique For Solving Problems in Mechanic // Central Asian Journal Of Mathematical Theory And Computer Sciences (2021) №2 (10), pp 37-42.
4. Очиллов Л. И, Арабов Ж.О , Ашурова У. Д. Измерение преобразования потенциальной энергии в поступательную и вращательную энергию с помощью колеса максвелла // Вестник науки и образования (2020) №18-2 (96), С 18-22.
5. Arabov J.O., Fayziyeva X. A. General considerations on the methodology for solving problems in physics // Gospodarka i Innowacje (2022) №22, С 619-623.
6. Arabov J.O. “Mexanika bo'limi” ga doir mavzularni dasturiy ta'lim vositalari yordamida o'qitish // Центр научных публикаций (buxdu. uz), (2021) № 7 (7)
7. Arabov J.O. Fizik masalalarni ishlashda ilgor pedagogik texnologiyalardan foydalanish // центр научных публикаций (buxdu. uz), (2021) № 8 (8)
8. Arabov J.O. Tovush to'lqinining havoda tarqalish tezligini cassylab2 qurilmasi yordamida aniqlash // центр научных публикаций (buxdu. uz), (2021) № 8 (8)
9. Arabov J.O. Qiya-namlanuvchi quyosh chuchitgichlarining issiq texnik hisoboti // центр научных публикаций (buxdu. uz), (2020) № 1 (1)
10. Arabov J.O. Qiya-namlanadigan sirtli quyosh suv chuchitgich qurilmasini tadqiq qilish // центр научных публикаций (buxdu. uz), (2020) № 1 (1)
11. Arabov J.O. Qiya-namlanadigan quyosh suv chuchutgichlarining tuzilishi va ishlash prinsipi // центр научных публикаций (buxdu. uz), (2020) № 1 (1)

12. Arabov J.O. Talabalarda yarimo o‘tkazgichlarga doir masala yechish ko‘nikmasini shakillantirish: Fizika fanining yarim o‘tkazgichlarga doir bo‘limlarini umumiy o‘rta maktabning yuqori sinf o‘quvchilari va akademik litsey talabalarining tassavvur qilishlari birmuncha qiyinlik qiladi. Bularni to‘liq tushunib yetish uchun amaliy mashg‘ulotlarning o‘rni muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu maqolada maktab o‘quvchilari va akademik litsey talabalariga yarim o‘tkazgichlarga doir masalalar yechish uchun ba‘zi namunalari va izohlari keltirilgan // центр научных публикаций (buxdu.uz), (2020) № 4 (4)

13. Кодиров Ж.Р., Маматрузиев М., Составление программного обеспечения, алгоритм и расчет математической модели применения свойств солнечного опреснителя к точкам заправки топливом.// Молодой ученый, (2018) С 50-53.

14. Кодиров Ж.Р., Маматрузиев М. Изучение принципа работы устройства насосного гелио-водоопреснителя.//Международный научный журнал «Молодой ученый», 26 (2018) С 48-49.

15. Кодиров Ж.Р, Хакимова С.Ш, Мирзаев Ш.М. Анализ характеристик параболического и параболоцилиндрического концентраторов, сравнение данных, полученные на них.// Вестник ТашИИТ №2 2019 С 193-197.

16. Кодиров Ж.Р., Мавлонов У.М., Хакимова С.Ш. Аналитический обзор характеристик параболического и параболоцилиндрического Концентраторов.// Наука, техника и образование 2021. № 2 (77). С 15-19.

17. Мирзаев Ш.М., Кодиров Ж.Р., Ибрагимов С.С. Способ и методы определения форм и размеров элементов солнечной сушилки.//Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2021;(25-27):30-39. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2021.09.030-039>.

18. Mirzaev, Sh M.; Kodirov, J R. Ibragimov, S S. (2021) "Method and methods for determining shapes and sizes of solar dryer elements," // Scientific-technical journal: Vol. 4: Iss. 4, Article 11.

19. Qodirov, J. (2022). Установление технологии процесса сушки абрикосов на гелиосушилках.// Центр научных публикаций. [Том 8 № 8 \(2021\)](#)

20. Mirzayev Sh.M., Qodirov J.R., Hakimov B. Quyosh qurilmalarida o‘riklarni quritish uchun mo‘ljallangan quyosh qurilmasini yaratish va uning ishlash rejimini tadqiq qilish. // Involta Scientific Journal, 1(5), (2022). 371–379.

21. Sh. Mirzaev., J. Kodirov., B Khakimov. Research of apricot drying process in solar dryers. // [Harvard Educational and Scientific Review](#). (2021). Vol. 1 No. 1. Pp 20-27.

22. Qodirov, J. Quyosh meva quritgichi qurilmasining eksperiment natijalari. // центр научных публикаций. Том 1 № 1 (2020).
23. Arabov J.O., Hakimova S.Sh., To'xtayeva I.Sh. Past haroratli qiya ho'llanadigan sirtli quyosh suv chuchutgichlarida bug'lanadigan sirt bilan kondensatsiyaladigan sirt orasidagi masofani optimallashtirish.// Eurasian journal of academic research Innovative Academy Research Support Center. Volume 1 Issue 01, (2021) .
24. Hikmatov Behzod Amonovich, Ochilova Gullola Tolibovna - Fizika fanidan laboratoriya mashg'ulotlarida dasturiy vositalardan foydalanish. PEDAGOGS-2022 Том 6 Номер 1 Страницы 382-388
25. Бехзод Амонович Хикматов - Изучение физико-механических и химических свойств почвы. Наука, техника и образование Номер 2-2 (77) Страницы 52-55.
26. Kodirov J, Saidova R, Khakimova S, Bakhshilloev M. Determination of the size and amount of energy incident on the reflective surface of a parabolic cylinder concentrator. // Asian Journal of Research (2020). No 1-3. Pp 252-260.
27. Qodirov J, Hakimova S. [Suv nasos quyosh chuchitgichi takomillashgan qurilmasini loyihalash usuli](#). // Центр научных публикаций. Том 1 № 1 (2020).
28. Qodirov J, Hakimova S. [Quyosh konsentratrlari boyicha jahonda olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlar holati](#). // Центр научных публикаций. Том 1 № 1 (2020).
29. Qodirov J, Hakimova S. [Noan'anaviy energiya manbalaridan foydalanishning kelajak istiqbollari](#). // Центр научных публикаций. Том 1 № 1 (2020).
30. J Kodirov, S Khakimova. Determination of the size and amount of energy incident on the reflective surface of a parabolic cylinder concentrator. // Asian Journal of Research (2020). № 1-3.