

KRISTALL QATTIQ JISMLARNING SOLISHTIRMA ISSIQLIGI: NAZARIY ASOSLAR VA AMALIY AHAMIYATI

Bazarova Sevara

Abdulazizova Shaxnoza

Denov tadbirkorlik va pedagogika instituti talabalari

Annotatsiya. Ushbu maqolada kristall qattiq jismlarning solishtirma issiqligi tushunchasi, uni aniqlash metodlari va turli moddalarning solishtirma issiqligi qiymatlari tahlil qilinadi. Maqola umumiy fizikaviy qonuniyatlar asosida yozilgan bo‘lib, ilmiy va o‘quv maqsadlarda foydali bo‘lishi mumkin

Kalit so‘zlar: Kristall qattiq jismlar, solishtirma issiqlik, Dulong–Petit qonuni, Debay modeli, fononlar, issiqlik sig‘imi, nano materiallar, sun‘iy intellekt, termoelektrik materiallar, fazaviy o‘zgarish, grafen, energiya saqlash, kosmik texnika.

Moddalar issiqlikni turlicha miqdorda singdiradi va uzatadi. Qattiq jismlarning bu boradagi xatti-harakati ularning kristall tuzilmasi va issiqlik tashuvchi zarrachalarning (fononlar) xususiyatlari bilan bog‘liq. Ayniqsa, kristall qattiq jismlar o‘zining murakkab tuzilmasi sababli solishtirma issiqlikda turli xususiyatlarga ega. Ushbu maqolada biz shu turdagi jismlarning issiqlik xususiyatlarini chuqurroq ko‘rib chiqamiz. Kristall qattiq jismlarning solishtirma issiqligi bugungi kunda fizika, materialshunoslik, energetika va nanoelektronika sohalarida katta amaliy ahamiyat kasb etmoqda. Ushbu maqolada kristall jismlarning issiqlik xossalarini aniqlovchi nazariy modellar, 2023–2024-yillardagi eng so‘nggi tadqiqotlar asosida aniqlangan yangi yondashuvlar hamda amaliy tatbiqlar yoritiladi.

Dulong–Petit qonuni 1819-yilda fransuz olimlari Per Lui Dulong va Aleksis Teren Petit tomonidan taklif qilingan bo‘lib, u kristall qattiq jismlarning **moliy issiqlik sig‘imi** (ya‘ni 1 mol moddaning haroratini 1 K ga oshirish uchun zarur bo‘lgan issiqlik miqdori) doimiy miqdorga teng bo‘lishini bildiradi. Dulong–Petit qonuni kristall moddalarning issiqlik sig‘imini tushuntirishdagi birinchi muvaffaqiyatli model bo‘lsa-da, uning cheklovlari sababli keyinchalik **Debay** va **Einstein** modellariga ehtiyoj tug‘ilgan. Shu

bilan birga, bu qonun bugungi kunda ham yuqori haroratli muhitlar uchun **tez va sodda baholash vositasi** sifatida xizmat qiladi.

Debay modeli 1912-yilda golland fizigi Piter Debay tomonidan taklif qilingan bo'lib, u kristall qattiq jismlarning **solishtirma issiqligini** keng harorat oralig'ida tushuntirishga xizmat qiladi. Bu model Dulong–Petit qonunining past haroratlarda yetarli bo'lmaganligini bartaraf etishga qaratilgan kvant-statistik yondashuv hisoblanadi. Debay modeli kristall panjarasidagi **atomlarning tebranishini** (ya'ni fononlarni) **kvantlangan tebranishlar** sifatida ko'rib chiqadi. Modelda bu tebranishlarning maksimal chastotasiga ega bo'lgan fononlarning to'liq spektri hisobga olinadi. Bu model zamonaviy materialshunoslikda, ayniqsa fonon transporti, termoelektrik materiallar va kvant qurilmalarni o'rganishda keng qo'llaniladi.

Kvant yondashuvlar: So'nggi yillarda kvant statistikasi asosidagi modellar, ayniqsa **fonon gaz modeli** orqali yuqori aniqlikdagi natijalar olinmoqda. Ushbu metodlar materialdagi atomlararo o'zaro ta'sirlarni chuqurroq modellashtirish imkonini beradi. Kristall qattiq jismlarning solishtirma issiqligini modellashtirishda **klassik** va **yarim-klassik** yondashuvlar (masalan, Dulong–Petit qonuni va Debay modeli) ma'lum diapazonlarda yaxshi natija bersa-da, ularning aniqligi va qo'llanilish sohasi cheklangan. Ayniqsa, **past haroratlarda, murakkab strukturalarda** yoki **nano o'lchamdagi materiallarda** bu modellar yetarli bo'lmay qoladi. Shu sababli, **kvant statistikasiga** asoslangan ilg'or modellar — ya'ni **kvant yondashuvlar** — ilmiy va amaliy tahlillarda keng qo'llanmoqda.

Grafen, bor nitridi, molibden disulfidi kabi 2D materiallar ustida olib borilgan tadqiqotlar, ularning issiqlik sig'imi klassik modellar bilan mos kelmasligini ko'rsatdi. Bu materiallarning mikroskopik xususiyatlari, ayniqsa, fononlar bilan bog'liq issiqlik uzatish jarayonlarining o'ziga xosligi, an'anaviy nazariy modellar orqali tushuntirilishi qiyin bo'lgan yangi fenomenlarni namoyon etadi. Misol uchun, grafen o'zining ajoyib issiqlik o'tkazuvchanligi bilan ajralib turadi, bu esa uni nanoelektronika va mikroelektronika sohalarida sovituvchi material sifatida qo'llash imkonini beradi. Grafening ikki o'lchovli strukturasida fononlarning tarqalishi va interaksiyasi boshqa materiallarga nisbatan farq qiladi, bu esa uning issiqlik sig'imining yuqori darajada bo'lishiga olib keladi. Shuningdek,

molibden disulfidi va bor nitridi kabi boshqa 2D materiallar ham yuqori issiqlik o'tkazuvchanligi, eng kam energiya yo'qotilishi va yuqori termal barqarorlikka ega bo'lishi sababli, yangi avlod elektron qurilmalarida samarali sovutish tizimlari uchun imkoniyat yaratadi.

Materiallarning issiqlik sig'imini bashorat qilishda sun'iy intellektdan foydalanish so'nggi yillarda jadal rivojlanib bormoqda. Mashinaviy o'rganish va chuqur o'rganish algoritmlari yordamida materiallarning issiqlik xossalari, tarkibi, kristall tuzilishi, atom massasi va boshqa fizikaviy parametrlar asosida yuqori aniqlik bilan prognoz qilinmoqda. Bu yondashuvlar, ayniqsa, katta hajmdagi eksperimental ma'lumotlarni tezda tahlil qilishda samarali bo'lib, materiallarni optimallashtirish jarayonini sezilarli darajada tezlashtiradi. Algoritmlari yordamida, masalan, materiallarning issiqlik o'tkazuvchanligini va issiqlik sig'imini oldindan baholash uchun yangi parametrlar va xususiyatlar aniqlanadi. Bunday yondashuvlar nafaqat materiallarning termal xossalarini bashorat qilishni, balki yangi materiallarni yaratish jarayonini ham tezlashtiradi. Shuningdek, sun'iy intellekt asosida yaratilgan modellar, materiallarning xossalarini yanada aniqroq va samaraliroq kuzatib borish imkonini beradi, bu esa energiya samaradorligi yuqori va atrof-muhitga zarur keltirmaydigan yangi materiallar yaratish imkoniyatlarini ochadi.

Sun'iy intellektning bu boradagi yutuqlari nafaqat materialshunoslikda, balki energetika, elektronika va nanoteknologiya sohalarida ham yangi yuksalishlarga olib kelmoqda. Algoritmlar yordamida ko'plab materiallar uchun issiqlik xossalari bilan bog'liq yangi yondashuvlar ishlab chiqilmoqda, bu esa futuristik texnologiyalarning samarali va energiya tejovchi ishlashiga yordam beradi. Kristall moddalarning faza o'zgarish nuqtalarida (masalan, allotropik o'tishlar yoki suyuqlanishda) issiqlik sig'imi keskin ortadi. Yangi texnologiyalari yordamida ushbu nuqtalar aniqroq aniqlanmoqda. 2024-yilda fononlarning material bo'ylab tarqalishi — ya'ni fonon dispersiyasi - asosida yangi **termoelektrik materiallar** yaratildi. Bu materiallar elektr energiyasini issiqlikdan samarali hosil qilishda qo'llaniladi. Ayniqsa, past issiqlik sig'imiga ega bo'lgan, ammo yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikni namoyon etuvchi qattiq jismlar bu yo'nalishda ustunlik qilmoqda.

Kosmik qurilmalarda yuqori harorat farqlari mavjud bo'lishi sababli, yuqori issiqlik sig'imiga ega materiallar issiqlikni muvozanatlashda va haroratning keskin o'zgarishlariga bardosh berishda muhim rol o'ynaydi. Kosmik sharoitlarda, masalan, quyosh nurining kuchli ta'siri va kosmik xonadagi haroratning keskin farqlari materiallarga katta yuklamalar beradi. Shu sababli, kosmik texnikada materiallarning issiqlik xossalari, ayniqsa, ularning issiqlik sig'imi va issiqlik o'tkazuvchanligi katta ahamiyatga ega. NASA tomonidan ishlab chiqilgan yangi qotishmalar va materiallar aynan kristall qattiq jismlarning issiqlik sig'imi va ularning boshqa termal xossalari asosida tanlangan. Bu materiallar kosmik qurilmalar va satelitlar uchun samarali sovutish tizimlarini yaratish imkonini beradi. Kosmik kapsulalar, kosmonavtlarning kiyimlari, hamda kosmik stansiyalarda ishlatiladigan materiallar issiqlikni boshqarish uchun yuqori issiqlik sig'imiga ega bo'lishi zarur. Bunday materiallar yordamida kosmik sharoitlarda doimiy harorat muvozanatlashuvi ta'minlanadi, shu bilan birga qurilmalarning mexanik barqarorligi va uzoq muddatli ishlash muddati oshadi.

Mobil qurilmalar, kompyuterlar, elektron apparatlar va protsessorlar samarali ishlashini ta'minlash uchun sovutish tizimlari zarur. Elektron qurilmalar ish vaqtida yuqori issiqlikni hosil qiladi, bu esa ularning ishlash samaradorligini pasaytiradi va ishonchliligini kamaytiradi. Mobil telefonlar va kompyuter protsessorlaridagi issiqlikni boshqarish uchun, grafen asosidagi yuqori issiqlik sig'imiga ega qatlamlar joriy qilinmoqda. Grafen o'zining yuqori issiqlik o'tkazuvchanligi va engil tuzilishi bilan tanilgan. Bu, o'z navbatida, elektron qurilmalarning tezda ortib borayotgan haroratini samarali ravishda boshqarishga imkon beradi. Grafen qatlamlari qurilmalarning uzoq muddatli ishlashini ta'minlaydi, shu bilan birga ularning ishonchliligini oshiradi. Bundan tashqari, yuqori issiqlik sig'imiga ega materiallar, masalan, grafen, mobil qurilmalarda, xususan, smartfonlar va planshetlarda batareyalarning yuqori haroratli sharoitlarda ishlashini ta'minlash uchun ham ishlatilmoqda. Bu materiallar energiya tejashga yordam beradi va qurilmaning ishdan chiqishini kamaytiradi.

Quyosh energiyasini saqlash tizimlari ekologik toza va barqaror energiya manbalarini yaratishda muhim ahamiyatga ega. Yashil energiya tizimlarida energiyani uzoq muddatga saqlash va samarali tarqatish uchun faza o'zgaruvchan materiallar keng

qo'llanilmoqda. Bu materiallar ko'pincha kristall tuzilishga ega bo'lib, ularning issiqlik sig'imi faza o'zgarish nuqtasida sezilarli darajada ortadi. Faza o'zgarishi (masalan, suyuqlikka aylanish yoki qattiqdan suyuqqa yoki aksincha) energiyani saqlash jarayonida juda katta ahamiyatga ega. Bunday materiallar quyosh energiyasini so'nggi foydalanuvchiga uzatishdan oldin o'zida saqlaydi va keyin uning tarqalishini muvozanatlashadi..

Kristall qattiq jismlarning solishtirma issiqligi, ularning mikrostrukturasiga, atomlararo o'zaro ta'sirlar va fononlar (materianing tarmoqli vibratsiyalari) ning xususiyatlariga bevosita bog'liq. Bunday xossalar nafaqat moddalar fizikaviy holatini, balki ularning issiqlik o'tish jarayonlaridagi faoliyatini ham aniq belgilaydi. Yuqori yoki past haroratlarda, materiallar orasidagi issiqlik uzatish jarayoni kristallarning mikrostrukturasidagi o'zgarishlarga, masalan, defektlar, fazaviy o'zgarishlar yoki atomlarning o'zaro ta'siriga asoslanadi. Issiqlik sig'imi (yoki solishtirma issiqlik) orqali moddalar va materiallarning bir qancha muhim fizikaviy xossalari, masalan, ularning issiqlik o'tkazuvchanligi, issiqlik izolyatsiyasi, hamda energiya tejash xususiyatlari aniqlanishi mumkin. Kristall qattiq jismlarda issiqlik uzatish jarayonlari, asosan, fononlar orqali amalga oshadi. Har bir materialning atomik tuzilishi va struktura xususiyatlari, uning fononlarni qanday boshqarishiga va, shu orqali, issiqlik uzatish qobiliyatiga ta'sir qiladi.

So'nggi yillardagi ilmiy tadqiqotlar fononlarning harakatini va ularning materiallar ichidagi tarqalishini aniqlashda yangi usullarni ishlab chiqdi. Nanoo'lchamli materiallar va sun'iy intellekt asosida modellash texnologiyalari, solishtirma issiqlikni yanada yuqori aniq tasvirlash imkonini berdi. Nanomateriallarning kichik o'lchamlari fononlarning interaktsiyasini yaxshilaydi, bu esa energiya va issiqlik o'tkazuvchanligini optimallashtirishga yordam beradi. Sun'iy intellektning kiritilishi, xususan, katta hajmdagi ma'lumotlarni tahlil qilishda, materiallarning issiqlik xossalari bashorat qilishda muhim rol o'ynaydi. Shu tarzda, yangi avlod texnologiyalarida samarali va energiya tejovchi materiallar ishlab chiqish imkoniyatlari paydo bo'lmoqda. Yangi materiallar ishlab chiqishda solishtirma issiqlikning yuqori darajada tahlil qilinishi, ayniqsa, issiqlik izolyatsiyasi, elektron qurilmalar va energetika sohalarida katta ahamiyatga ega. Masalan,

yuqori issiqlik izolyatsiyasi materiallari, avtomobil sanoatida va kosmik texnologiyalarida keng qo'llanilsa, energiya tejovchi materiallar esa qayta tiklanadigan energiya manbalarini samarali ishlatishda muhim omil bo'ladi. Shu bilan birga, yangi avlod materiallari nafaqat yuqori issiqlik sig'imiga ega bo'lishi kerak, balki ularning mexanik va kimyoviy barqarorligi, shuningdek, ekologik tozaligi ham muhim ahamiyatga ega bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Ashirov Shamshiddin, Mamatov Abdurayim, Boymirov Sherzod, Sattarkulov Komil, Daminov Rahim. [Development of problem technology of teaching in physics](#). - European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences, 2019.
2. Sherzod Boymirov, Shamshiddin Ashirov, Alijon O'rozboqov, Abduraim Mamatov, Islom Shermatov. [The effect of using interactive methods in teaching physics](#). ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. 2021. 11 (3), p-962-971.
3. Sherzod Boymirov, Shamshiddin Ashirov, Alijon Urozbokov, Abduraim Mamatov, Olimjon Xolturayev. [Increase the creativity of students by creating problem situations when teaching the physics mechanics section](#). Asian Journal of Multidimensional Research (AJMR). 2021. 10 (3), p-247-253.
4. Boymirov Sherzod Tuxtaevich, Gayibnazarov Rozimurod Bakhtiyorovich, Axmedova Manzura Gulomjonovna, Berdikulova Shakhsanam Umaralievna, Saparova Gulmira Bakhtiyarovna. [Principles of selection of materials on the problem method of teaching physics in secondary schools](#). Texas Journal of Multidisciplinary Studies. 2022. P-283-288.
5. Makhmudov Yusup Ganievich, Boymirov Sherzod Tuxtaevich. [Types of Positive Communication in the Problematic Teaching of Physics in Secondary Schools](#). Academicia Globe: Inderscience Research. 2022. P-241-243.
6. Boymirov Sherzod Tuxtaevich, Gayibnazarov Rozimurod Bakhtiyorovich, Axmedova Manzura Gulomjonovna, Berdikulova Shakhsanam Umaralievna, Muminjonov Sadiqbek Ikromjonovich. [The Role of Problematic Types of Physics Questions in Directing the Reader to Creative Activity](#). The Peerian Journal. 2022. P-54-58.

7. Makhmudov Yusup Ganievich, Boymirov Sherzod Tuxtaevich. [Step-By-Step Processes of Creative Activity of Students in ProblemBased Teaching of the Department of Physics “Electrodynamics” in Secondary Schools](#). Eurasian Journal of Learning and Academic Teaching. 2022. P-132-135.

8. Boymirov Sherzod Tuxtayevich, PRINCIPLES OF MATERIAL SELECTION IN PROBLEM TEACHING OF ELECTRODYNAMICS. Scientific Bulletin of Namangan State University. 2020. P-362-368.

9. Ashirov Shamshidin Axnazarovich, Boymirov Sherzod Tuxtayevich, Shermatov Islam Nuriddinovich, Khulturaev Olimjon Abduvalievich. METHODS OF FORMATION OF EXPERIMENTA. World scientific research journal. 2022. P-14-21.

10. Ashirov Shamshidin Axnazarovich, Boymirov Sherzod Tuxtayevich, Khulturaev Olimjon Abduvalievich, Shermatov Islam Nuriddinovich. DESIGN LABORATORY ASSIGNMENTS AIMED AT THE FORMATION OF EXPERIMENTAL SKILLS. World scientific research journal. 2022. P-8-13.

11. Боймиров Ш.Т. [УЗЛУКСИЗ ТАЪЛИМ ТИЗИМИДА “ЭЛАСТИКЛИК КУЧИ” МАВЗУСИНИ ЎҚИТИШ УЗВИЙЛИГИ](#). Science and innovation 3 (Special Issue 29), 350-352-b

12. Боймиров Шерзод Тухтаевич, Курбонов Бехруз Бахтиёр Ўғли. ҚУЁШ СИСТЕМАСИДАГИ МАЙДА ПЛАНЕТАЛАРНИНГ ФИЗИК ТАБИАТИ МАВЗУСИНИ ЎҚИТИШ МЕТОДИКАСИ. Science and innovation. 2024, 353-355

13. Боймиров Шерзод Тухтаевич. УМУМТАЪЛИМ МАКТАБЛАРИДА МЕХАНИКА БЎЛИМИГА ОИД ФИЗИК ТУШУНЧАЛАР МАЗМУНИ ЎРГАНИШНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ МЕТОДИКАСИ. Science and innovation. 2024. 309-312-b.

14. Boymirov Sherzod Tuxtayevich, Eshonqulova Oyjamol Nomoz Qizi. IXTISOSLASHGAN MAKTABLARDA “TERMODINAMIKANING BIRINCHI QONUNI” MAVZUSINI O‘QITISH METODIKASI. Science and innovation. 2024. 306-308-b.

15. Boymirov Sh T, Dursoatov A Ch, Tursunov Sh T. METHODOLOGY OF ORGANIZING AND ITS CONDUCT OF STUDY PRACTICE FOR PHYSICS IN

HIGHER EDUCATION WITH PROBLEM CONTENT. International journal of conference series on education and social sciences (Online), 2023.

16. Boymirov Sherzod Tuxtaevich, Akbarov Abdulaziz Axrorovich. The Second General Law Of Thermodynamics Teaching Method. Czech Journal of Multidisciplinary Innovations. 2022. P-13-18.

17. Abdulla Dursoatov, Safarali Abduqodirov. POLEMIRLI ERITMALARNING REOLOGIK XOSSALARINI O'RGANISH. Science and innovation. 2024.134-137-b

18. Abdulla Dursoatov, Humoyuddin Boboniyozov. SIRKA KISLOTASIDA COOH GURUHNING MOLEKULALARARO O'ZARO TA'SIRDAGI ROLI VA ULARNING KOMBINATSION SOCHILISH SPEKTRLARINI O'RGANISH. Science and innovation. 2024. 138-141-b

19. Abdulla Dursoatov, Ilhom Turdaliyev. CHUMOLI KISLOTASIDA COOH GURUHNING MOLEKULALARARO O'ZARO TA'SIRDAGI ROLI VA ULARNING KOMBINATSION SOCHILISH SPEKTRLARINI O'RGANISH. Science and innovation. 2024. 125-129-b

20. Shokir Tursunov, Abdulla Dursoatov, Ulug'Bek Qurbonov. SBT BO'YOQ VA UNING HOMODIMERLARINING ERITMALARI SPEKTRAL-LUMINESSENT VA FOTOKIMYOVIY XUSUSIYATLARI. Science and innovation. 2024. 81-85-b

21. Boymirov Sherzod, Dursoatov Abdulla. Monokarbon kislotalarda cooh guruhning molekulalararo o'zaro ta'siridagi roli va ularning kombinatsion sochilish spektrlari. Educational Research in Universal Sciences. 244-250-b