

## KOBALT(II) XLORIDNI METILEN KO'KI BILAN KOMPLEKSINI MEXANOKIMYOVIY SINTEZI NATIJALARI

**M.X. Kadirova**, Farmatsevtika ta'limi va ilmiy tadqiqot instituti, assistent, Toshkent,  
E-mail: [kadirovam1970@gmail.com](mailto:kadirovam1970@gmail.com),

**V.X. Sabirov**, Farmatsevtika ta'limi va ilmiy tadqiqot instituti, professor.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10684918>

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada mexanokimyo usuli asosida metilen ko'kning ayrim d-metallar bilan kompleksini sintez qilishni o'rganish va tavsiflash yoritilgan. Buning uyun kobalt(II) xlorid va metilen ko'k ob'ekt sifatida foydalanildi va tahlil qilindi. Komplekslar sintezi mehanokimyoviy usulida reaktivlarni stexiometrik nisbatda agatli xovonchada yupqa massa hosil bo'lguncha aralastirib olib borilgan. Olingan reaksiyon aralashmasiga tomchilatib DMF qo'shilgan va jarayon bir hil quyuk ko'k eritma hosil bo'lguncha davom ettirilgan. Reaksiya eritmasini bir hafta davomida sekin bug'latish orqali rentgenostruktur tahlil uchun lozim bo'lgan kristallar olingan. Kristall parametrlari rentgenostruktur taxlil qilingan.

**Kalit so'zlar:** mexanokimyoviy, sintez, metilen ko'k, d-metall, kobalt(II) xlorid, erituvchi, kompleks, kristal, rengenostuktur, psevdotetraedral, izostruktura, yecheyka, burchak.

### KIRISH

"Mexanokimyo - mexanik energiyaning bevosita yutilishi natijasida yuzaga keladigan kimyoviy reaksiyadir" (IUPAC ta'rifi). Mexanokimyoni erituvchisiz muhitda amalga oshirish usulini ishlab chiqishga qiziqish tobora ommalashib bormoqda. Hozirgi vaqtda olimlar qattiq moddalarni bir-biri bilan birlashtirganda toza va ekologik toza reaksiyalarni yaratishga ko'proq sarmoya kiritmoqdalar. Reaksiya jarayonida erituvchilarni olib tashlash juda ko'p ijobiy natijalarga olib kelishi mumkin. Erituvchilar, shuningdek, eruvchanlik muammolari tufayli yakuniy mahsulotni chiqarishga xalaqit berishi mumkin va erituvchini metall ioni bilan muvofiqlashtirish, natijada erituvchini olib tashlash zarurati tug'iladi. Bundan tashqari, erituvchilardan qochish xavfsizlik bilan bog'liq muammolarni minimallashtirishi mumkin. Bu yashil deb ataladigan narsa erituvchilardan foydalanmasdan, kamroq chiqindi hosil qiladigan, tejamkor, ekologik toza va havfsiz sintezga kimyoviy yondashuv usulini ishlab chiqishni o'z ichiga oladi [1].

Moddalarni boshqa moddaga aylantirish uchun mexanik energiya qo'shish jarayoni kundalik hayotda ko'p jihatdan qo'llanilgan. Bu usulda o'ziga xoslik yo'qligi sababli, bu fan turi uchun dastlab umumiy nom belgilanmagan. Maydalash jarayonining keng qo'llanilishi asrlar bo'ylab qabul qilishda davom etdi va oxir-oqibat laboratoriyaga ko'chib o'tdi. Bu esa kimyoviy o'zgarishlar, reaksiyalar va silliqlashda mexanik energiya haqidagi ilmiy tushunchalarni bog'lash uchun yo'l ochdi [2].

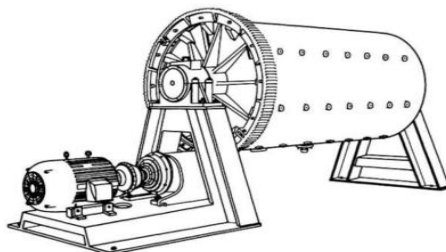
1827-yilda Faraday kumushni ajratib olish uchun kislotaga kerak yoki yo'qligini aniqlashda ruxni kumush xlorid bilan reaksiyaga kiritish uchun xovoncha va dastadan foydalanishni birinchilardan bo'lib tajribalarda qo'llagan. Birinchi navbatda M. Keri Li o'z tadqiqotini fotografiya paytida, xususan, kumush xloridning parchalanishi bilan sodir bo'ladigan hodisaning tavsifida mexanik kuch qanday hissa qo'shayotganiga qaratdi [3]. U bu sohani birinchi bo'lib o'rgangan olim, mexanik silliqlash reaksiyalar natijasiga qanday ta'sir qilishini, shuningdek, mahsulotlarni manipulyatsiya qiluvchi issiqlik ishlab chiqarishni ta'riflagan. Bu boradagi faoliyati unga «mexanokimyoning otasi» unvonini berdi [4].

Mexanokimyo atamasi birinchi marta 1885-1887 yillarda Riga politexnika maktabi professori Vilgelm Ostvald tomonidan nashr etilgan "Umumiy kimyo darsligi"da ishlatilgan. Mexanokimyoning ajdodlari orasida amerikalik Metyu Kerri-Li va ingliz Maykl Faraday bor. Rossiyada birinchi ishlardan biri Flavian Flavitskiyning 1902 yilda "Rossiya fizik-kimyogorlar jamiyati jurnali" da nashr etilishi edi.

1919 yilda olim Fridrix Vilgelm Ostvald termokimyo, elektrokimyo va fotokimyo bilan bir qatorda mexanokimyoni ham alohida fan sohasi sifatida e'tirof etish tarafdori edi. Ostvald

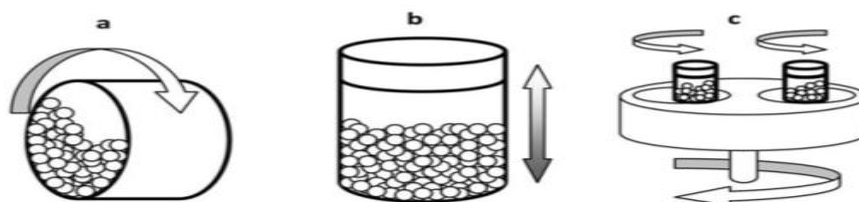
mexanokimyoga “kimyoning barcha agregat holatidagi moddalarning kimyoviy va fizik-kimyoviy o‘zgarishlarni o‘rganuvchi sohasi” deb ta’rif bergan [5].

Mexanokimyo oddiy chinni xovoncha va dastadan tortib, yuqori energiyaga ega bo‘lgan shar tegirmoni kabi murakkab mashinalarda kuchli kimyoviy reaksiyalar sodir bo‘ladigan usulni tavsiflaydi.



**1-rasm. Barabanli tegirmonning konstruksiyaviy tasviri [6].**

Faqat 1923 yilga qadar laboratoriyalar va tijorat maqsadlarida foydalanish uchun birinchi motorli tamburli tegirmon ishlab chiqildi (1-rasm). Birinchi elektr prototipi barabanli tegirmon xovoncha va dasta tushunchasini saqlab qoldi. Katta idish (tegirmon) moddani ushlab turadi va to‘plar, toshlar yoki tayoqlar (dasta) ezadi, moddani mayda kukunga aylantiradi. Motorli tegirmonda sharlar yerning tortishish kuchidan o‘z energiyasini olgan edi. Og‘ir va ancha katta zo‘ldirlar aylanib chiqib tegirmonda kichikroq zarralar, minerallar jinslar ustiga tushadi va shu bilan ularni maydalaydi. Tegirmon ichidagi zo‘ldirlar yerning tortishish kuchi orqali yetarli energiya olishi uchun tegirmonning o‘lchami katta bo‘lishi kerak edi [6, 7].



**2-rasm. Tegirmonlarda turli harakatlarni taqqoslash:**

a) baraban tegirmon; b) tebranma-aralashtirish tegirmon; c) planetar tegirmon.

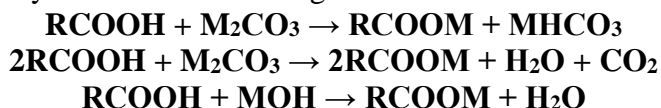
Bu fanning zamonaviy rivojlanishi 1960-yillarda metall qotishmalarini o‘rganishni tashkil etish va yo‘lga qo‘yish bilan boshlangan. Biroq, so‘nggi 20 yil davomida ilmiy hamjamiyatda to‘satdan ekologik toza talablar paydo bo‘lishi bilan u ko‘p muvaffaqiyatga erishdi [8]. Mexanik silliqlash, maydalash yoki maydalash orqali qattiq moddalarning o‘zaro ta‘sir qilish usulining muvaffaqiyati ham shu qadar keng tarqalgan. Metodologik kimyo, geologiya, farmatsevtika, oziq-ovqat va qishloq xo‘jaligini o‘z ichiga olgan, lekin ular bilan cheklanmagan holda turli sohalaridagi tadqiqotlar uchun qo‘llaniladi [9].

Qattiq fazali jarayonlarda moddalarni mexanik faollash, mexanik maydalash va mexanosintez uchun sharli, oqimli, rotor-oqimli, dezintegrator, dismembrator, kolloid, planetar tipidagi mexanoreaktorlar va tegirmonlar ishlatiladi. Reaktorlarning ishlash tamoyillari ham turlicha bo‘lib, ko‘pchilik hollarda mexanosintez reaksiyasi o‘tkazish uchun eng maqbuli va qulayi planetar-markazdan qochma turdagi mexanoreaktorlar hisoblanadi. Chunki bu reaktorlarda ta‘sir etuvchi kuch moddalarga murakkab traektoriyali sharlar vositasida beriladi (zarbli, ezg‘ilab-sirpanuvchi) va ta‘sir etayotgan kuchni hamda vaqtni boshqarish mumkin [10].

Qattiq jismlar plastik deformatsiyalash natijasida uning shakli va o‘lchami o‘zgaradi. Jismlarda nuqsonlar paydo bo‘ladi, to‘planadi va bu uning fizik-kimyoviy xossalari o‘zgarishiga sabab bo‘ladi. Nuqsonlar to‘plami qattiq jismlarning kimyoviy o‘zaro ta‘sirini amalga oshirishga yordam berishi mumkin. Mexanik ishlangan qattiq jismlarning faollanish jarayoni mavjud, ya‘ni

maydalanish jarayonida zarrachalar o'lchami o'ziga xos kritik kattalikka yaqinlashadi. Mexanik faollash jismning faqat yuzasini oshiribgina qolmasdan balki kristallning butun xajmida nuqsonlarning to'planishiga olib keladi. Bu esa qattiq jismlarning ko'pgina fizik-kimyoviy xossalari va reaksiyon qobiliyatini o'zgartirib yuboradi. Qattiq jismlarning reaksiyon qobiliyatini kerakli tomonga o'zgartirish uchun o'ziga xos mexanik faollash usullaridan (reaksiyon muhit, ta'sir energiyasi, reaksiya vaqti, harorat, ta'sir ko'rinishi) foydalanish lozim, chunki qattiq jismlarning kimyoviy reaksiyalari mexanizmiga ko'ra kristalldagi turli nuqsonlarga bog'liq bo'ladi [11].

Noorganik tuzlar va organik kislotalar aralashmasini mexanik ishlanganda sodir bo'ladigan agregatlanish jarayonlari fizik-kimyoviy usullarda tekshirilgan. Benzoy, salitsil, atsetilsalitsil, limon, sebatsin, indoliluksus, askorbin kislotalari va ishqoriy metal karbonatlari orasida neytrallanish reaksiyalari borishi isbotlangan.



Bu yerda M = Li, Na, K ionlari, RCOOH - benzoy, salitsil atsetilsalitsil, limon, sebatsin, indoliluksus, askorbin kislotalari. Yuqoridagi reaksiyalarga asolanib oziq-ovqat va farmatsevtika sanoatida qo'llash uchun tez eruvchan "ko'piruvchi" quruq kompozitsiyalar olishning mexanokimyoviy texnologiyasi ishlab chiqilgan [12, 13].

Rutinning FeSO<sub>4</sub>, kraxmal, dekstrin va urotropinlar bilan mexanokimyoviy usulda olingan komplekslarining IQ-spektrlari o'rganildi. Rutin va tegishli komplekslar spektrlarining chastotalarini tahlil qilish shuni ko'rsatdiki, rutinning spirt va fenol gidroksil guruhlari eng faol, karbonil guruhi esa komplekslar hosil bo'lishida ishtirok etmaydi. FeSO<sub>4</sub> bilan hosil bo'lgan rutin kompleksi ko'k rangga ega, boshlang'ich moddalar esa boshqa ranglarga ega bo'ldi. Bu Fe<sup>+2</sup> d-element bilan rutin orasidagi reaksiya natijasida kompleks birikma hosil bo'lganligini ko'rsatadi [14, 15].

## METODLAR

Mexanokimyoviy deformatsiya ta'sirida moddaning kimyoviy va fizik-kimyoviy o'zgarishini o'rganadi. Mexanokimyoviy transformatsiyalar moddaning metastabil kimyoviy faol holatga o'tishi, shuningdek mexanik energiyani yutish natijasida massa o'tkazuvchanligining kuchayishi bilan bog'liq. Deformatsiya ta'siri, ishqalanish qattiq jismlarning kimyoviy faollashuvining sabablaridan biri bu atomlararo bog'lanishlarning tebranish va elektron qo'zg'aluvchan holatlari, mexanik stress va singan bog'lanishlar, shu jumladan turli xil strukturaviy nuqsonlarning paydo bo'lishidir [16].

Nanokristalli materiallarga bo'lgan qiziqishning ortishi ularni o'rganish uchun faollikni oshirdi. Shu bilan birga, bunday materiallarni olishning noan'anaviy usullari muhim o'rin egallaydi, ular tarkibiga kiritilgan individual komponentlar aralashmasini to'p bilan maydalashdan foydalanishga asoslangan mexanik termoyadroviy usulini o'z ichiga olishi mumkin [17].

Komplekslar sintezi. Komplekslar sintezi mexanokimyoviy usulida reaktivlarni stexiometrik nisbatda agatli xovonchada yupqa massa hosil bo'lguncha aralashtirib olib borilgan. Olingan reaksiyon aralashmasiga tomchilatib DMF qo'shilgan va jarayon bir hil quyuc ko'k eritma hosil bo'lguncha davom ettirilgan.

Reaksiya eritmasini bir hafta davomida sekin bug'latish orqali rentgenostruktur tahlil uchun lozim bo'lgan kristallar olingan. Kristall parametrlari rentgenostruktur taxlil qilingan.

## TAHLIL VA NATIJALAR

Mexanokimyoviy usul polimerlarni parchalash, intermetallidlar va ferritlarni sintez qilish, amorf qotishmalar olish va chang materiallarini faollashtirishdir. Mexanokimyoviy usul yordamida ishlab chiqarishning aniq namunasi - planar shar tegirmonida (termoelektrik material) sintezi amalga oshiriladi. Ushbu usul bilan qattiq moddalarni mexanik qayta ishlash ta'minlanadi.

Qiziqarli mexanokimyoviy g'oyalar uzoq ko'rinadigan sohalaridagi mutaxassislar bilan hamkorlikda paydo bo'ladi. Shunday qilib, Rossiya fanlar akademiyasining Umumiy va eksperimental biologiya instituti (Ulan-Ude) olimlari tufayli qadimgi Tibet tibbiyotining dori-

darmonlarini ishlab chiqarish texnologiyasi kabi mutlaqo noma'lum sohani kashf etish mumkin edi. Qadimgi farmatsevtlar, ayniqsa, metallardan dori-darmonlarni ishlab chiqarishda ba'zi mexanokimyoviy yondashuvlardan foydalanganliklari aniqlandi. Tadqiqotchilar uchun ming yillar avvalgi risoladagi texnologiyani takrorlash natijasi hayratlanarli edi, unda Kumushning qattiq preparati olingan, uning ustida eritmada 1 mg/l Kumushning "bufer" konsentratsiyasi saqlanib qolgan (bu tibbiy foydalanish uchun tavsiya etilgan kontsentratsiya).

Tadqiqot natijalarini aniqlash uchun laboratoriyada fundamental amaliyotlarni o'rnatish juda muhimdir. Tajribalarda odatiy bo'lganidek, kerakli reaksiyalarni olish uchun zarur bo'lgan chiqindilar, asboblardan foydalanish va materiallar miqdorini minimallashtiradigan parametr qiymatlarini aniqlash kerak.

Metilen ko'k (MK) kristallari va d-metal tuzlari agat xovonchasida qattiq fazada yumshoq, mayin, un shakliga keltiriladi, buning natijasida moddalarning faollanishi va plastik deformatsiyasi sodir bo'ladi. Materiallarni maydalash kimyoviy bog'lanishlarning uzilishi bilan birga keladi, bu esa keyinchalik yangi kimyoviy bog'lanishlarning paydo bo'lishi, ya'ni mexanokimyoviy reaksiyalarning paydo bo'lishini oldindan belgilaydi. Materiallarni maydalashda mexanik ta'sir pulsatsiyalanuvchi hisoblanadi; shu bilan birga, kuchlanish maydonining paydo bo'lishi va uning keyingi bo'shashishi zarrachalarning reaktorda bo'lgan butun davrida emas, balki faqat zarrachalar to'qnashganda va undan keyin qisqa vaqt ichida sodir bo'ladi. Mexanik ta'sir nafaqat impulsiv, balki mahalliy ham bo'lishi mumkin, chunki u qattiq moddaning butun massasida emas, balki faqat kuchlanish maydoni paydo bo'ladigan va keyin bo'shashadigan joyda sodir bo'ladi.

1) Bu juda kichik namunalarda, juda kam yoki umuman erituvchisiz mahsulotlar ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan reagentlarni maydalash yoki maydalash jarayonida sodir bo'ladigan kimyoviy reaksiyalardir.

2) Mexanik silliqlash paytida qattiq moddalar orasidagi kimyoviy reaksiyalarni kuzatish tarix davomida katta yutuqlarga erishdi va davom etmoqda. Orbital shar tegirmonlari kabi yaxshiroq texnologiyalar ixtirosi bilan rivojlanish. Vizual kuzatish, qattiq infraqizil spektroskopiya va elementar tahlil yordamida metall tuzlari bilan reaksiyalarni izchil kuzatish va tahlil qilish mumkin.

3) Keyinchalik, metall tuzlarining organik ligandlar bilan reaksiyalari amalga oshirilishi mumkin. Ularning o'zaro reaktivligini aniqlash uchun kuzatiladi va solishtiriladi. Bunday yondashuv yordamida bu reaksiyalar koordinatsion birikmalar sintezi uchun ham xavfsizroq va tejamkorroq usul bo'ladi.

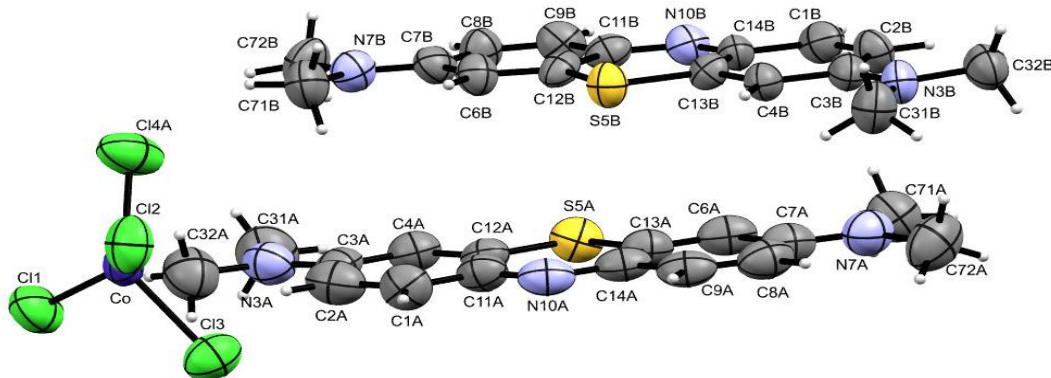
Komplekslar sintezi.  $[\text{MK}]_2[\text{CoCl}_4]$  kristali sintezi uchun 82 mg (0.2 mmol) metilen ko'k pentahidrat –  $[\text{MK}]\text{Cl}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  va 23.8 mg (0,1 mmol)  $\text{CoCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  tuzi mehanokimyo usulida aralashtirildi, bunda erituvchining reaksiya jarayoniga salbiy ta'siri istisno qilindi.  $\text{CoCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (23,80 mg, 0,1 mmol) va  $[\text{MK}]\text{Cl}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (82 mg, 0,2 mmol) reaktivlari 1:2 stexiometrik nisbatda agatli xovonchada yupqa massa hosil bo'lguncha aralashtirildi. Reaksiya aralashmasiga asta-sekin tomchilatib 5,0 ml DMF qo'shildi va jarayon bir hil quyuk ko'k eritma hosil bo'lguncha davom ettirildi. Rentgen strukturasi tahlil qilish uchun mavjud bo'lgan kristallar reaksiya eritmasini bir hafta davomida sekin bug'lash orqali olindi. Olingan kristall parametrlari va rentgen strukturasi o'rganish tavsilotlari quyida keltirilgan. Reaksiya unumi – 85 %.

#### DMFA



$[\text{MK}]_2[\text{CoCl}_4]$  (I) -  $\text{Co}^{2+}$  va  $\text{Cu}^{2+}$  kationlari o'xshash ion radiuslariga ega, shuning uchun ular MKCl bilan o'xshash komplekslar hosil qilgan.  $[\text{MK}]_2[\text{CuCl}_4]$  (II) kompleksiga o'xshash psevdotetraedral, izostrukturali komplekslar hosil qiladi. Ikkala kristallning hujayra parametrlari bir xil:  $a=15,1404(7)$ ,  $b=14,9566(4)$ ,  $c=16,5237(8)$  Å,  $\beta=115.279(6)$  °, I kristall uchun  $V=3383,5(3)$  Å<sup>3</sup>; II kristall uchun  $a=15,1327(5)$ ,  $b=14,9456(3)$ ,  $c=16,5175(5)$ ,  $\beta=115,236(4)$ ,  $V=3379,18(19)$  Å<sup>3</sup>.



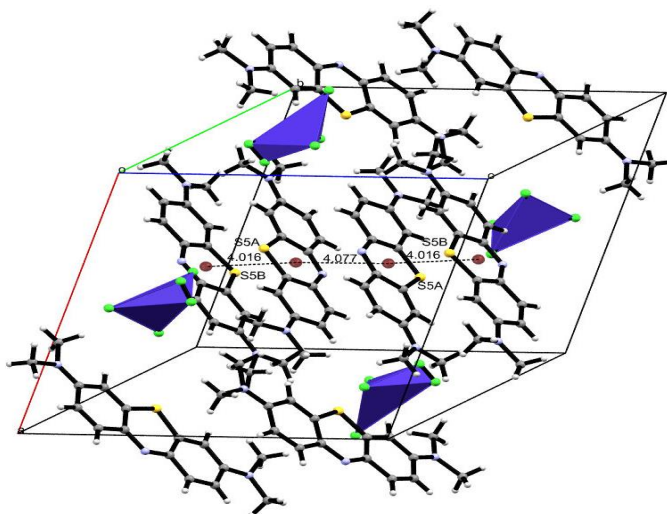


3-rasm: I birikmaning molekulyar tuzilishi va atom nomerlash sxemasi.

Cho'zilish ellipsoidlari 50% ehtimollik darajasida chizilgan. Kam populyatsiyaga ega tartibsiz Cl(4B) atomi chiqarib tashlandi. A va B belgilari mustaqil [MK]<sup>+</sup> kationlarini bildiradi.

1-Jadval. Tuzilishdagi (I) bog'lanish uzunliklari (d) va bog'lanish burchaklari (ω)

| ATOM | ATOM | d, Å     | ATOM | ATOM | d, Å    | ATOM | ATOM | d, Å    |
|------|------|----------|------|------|---------|------|------|---------|
| Co   | Cl1  | 2.263(3) | N10A | C11A | 1.33(1) | C72A | N7A  | 1.47(1) |
| Co   | Cl2  | 2.265(3) | C9B  | C8B  | 1.33(1) | C32B | N3B  | 1.46(1) |
| Co   | Cl3  | 2.257(3) | C7A  | N7A  | 1.36(1) | C6A  | C7A  | 1.41(1) |
| Co   | Cl4  | 2.242(4) | C7A  | C8A  | 1.44(1) | C14A | N10A | 1.35(1) |
| C72B | N7B  | 1.47(1)  | N7B  | C71B | 1.44(1) | C14A | C9A  | 1.44(1) |
| N3A  | C31A | 1.46(1)  | N7B  | C7B  | 1.35(1) | C6B  | C12B | 1.36(1) |
| N3A  | C3A  | 1.35(1)  | C8B  | C7B  | 1.43(1) | C6B  | C7B  | 1.40(1) |
| N3A  | C32A | 1.46(1)  | S5B  | C12B | 1.73(1) | C11A | C12A | 1.44(1) |
| C11B | C9B  | 1.41(1)  | S5B  | C13B | 1.73(1) | C4B  | C3B  | 1.41(1) |
| C11B | C12B | 1.47(1)  | S5A  | C12A | 1.73(1) | C4B  | C13B | 1.38(1) |
| C11B | N10B | 1.32(1)  | C8A  | C9A  | 1.34(1) | C1B  | C14B | 1.44(1) |
| C13A | C6A  | 1.38(1)  | N3B  | C31B | 1.47(1) | N10B | C14B | 1.35(1) |
| C13A | C14A | 1.42(1)  | N3B  | C3B  | 1.34(1) | C14B | C13B | 1.42(1) |
| C13A | S5A  | 1.72(1)  | C2A  | C3A  | 1.40(1) | C12A | C4A  | 1.38(1) |
| C2B  | C1B  | 1.34(1)  | C2A  | C1A  | 1.37(1) | C11A | C1A  | 1.40(1) |
| C2B  | C3B  | 1.42(1)  | C3A  | C4A  | 1.40(1) | C71A | N7A  | 1.48(1) |



4-rasm: I kristall strukturasiidagi π-π stacking fragmenti va markazdan – markazgacha bo'lgan masofalari

## XULOSA

Olingan natijalarga ko'ra  $[MK]_2[CoCl_4]$  kompleks birikma kristal tuzulishi rentgen tahlili moddani strukturasi aniqlash imkonini beradi. 3,4-rasmda kompleks kristalining tuzulishi va yecheykadagi taxlami ko'rsatilgan.

Erituvchi sifatida suv olinganda kompleks kristalgidrat holda cho'kmaga tushdi. Atseton, metil spirt, etil spirt qo'llanilganda ushbu erituvchilar tez bug'lanuvchanligi sababli hovoncha tubiga tuz va MK kristallari tushdi. Mikroskop yordamida vizivual tekshirish aralashma boshlang'ich moddalar kristallaridan iboratligini ko'rsatdi.

DMFA qulay erituvchi ekanligi o'rganildi va o'tish metallari xloridlarining MK bilan sintezini bajarishda mexanokimyoviy usul qulayligi, bu natija albatta metall ionlari va MK ning kompleks birikmalar tarkibiga bog'liqligi aniqlandi.

## ADABIYOTLAR

1. Do, Jean-Loui.; Frišćić, Tomislav. Chemistry 2.0: Developing a New, Solvent-Free System of Chemical Synthesis Based on Mechanochemistry. *Synlett*. 2017, 28(16), 2066–2092.
2. Tan, Davin; Frišćić, Tomislav. Mechanochemistry for Organic Chemists: An Update. *Eur. J. Org. Chem.* 2018, 18-33.
3. Boldyrev, V. V.; Boldyev, V. V.; Tkacova, K. Mechanochemistry of Solids: Past, Present, And Prospects. *J. Mater. Synth. Process.* 2000, 8(3/4). 121-132
4. Takacs L. The historical development of mechanochemistry (англ.) // *Chemical Society Reviews* : журнал. — 2013. — Vol. 42, iss. 18. — P. 7649-7659.
5. Ottarackal, D. Powder metallurgy <https://www.slideshare.net/dennyjottarackal/powder-metallurgy42889032> (accessed Jul 25, 2020).
6. Gorrasi, G.; Sorrentino, A. ChemInform . Mechanical Milling as a Technology to Produce Structural and Functional Bio-Nanocomposites. *Chem. Inform.*, 2015. 46(29).
7. Takacs, L. Two important periods in the history of mechanochemistry. *J. Mater. Sci.* 2018, 53(19), 13324–13330.
8. Waddell, D.; Mack, J.; Baldwin, M.; Gudmundsdottir, A. Environmentally Friendly Synthesis Using High Speed Ball Milling. *ProQuest Dissertations and Theses*. 2012
9. Crescent Manufacturing Co. *Anal. Chem.* 1963, 35(1), 39A–39A.
10. Болдырев В.В. Механохимия и механическая активация твердых веществ // *Успехи химии*, 2006.- Т.75 (3). - С.203-217.
11. Ломовский О.И. Прикладная механохимия: фармацевтика и медицинская промышленность // *Обработка дисперсных материалов и сред: межд. периодический сб. научн. трудов. Вып. 11. Одесса, 2001. С. 81–100.*
12. Душкин А.В., Наговицына Е.В., Болдырев В.В., Друганов Е.Г. Механохимические реакции твердых органических соединений // *Тез. докл. Всесоюзн. Научно-технической конф. «Механохимический синтез», Владивосток. 1990. - С. 162 - 167.*
13. Гуськов С.А., Душкин А.В., Болдырев В.В. Физико-химические основы механохимического получения быстрорастворимых дисперсных систем // *Химия в интересах устойчивого развития*, 2007- № 1. - С. 35–43.
14. Х.Шахидоятов, Э. Кристаллович, Ф.Хошимов, А.Ешимбетов, Ш,Абдуллаев. Изучение ИК-спектров поликомплексов рутина с FeSO<sub>4</sub>, крахмалом, декстрином и уротропином // *Узбекский химический журнал, Ташкент, № 4, 2010, стр.15-18.*
15. Ф.Ф.Хошимов. ИК-спектроскопическое изучение некоторых комплексов рутина синтезированных твердофазным способом // "Research Focus" international scientific journal, 1 сон, 2022. 189-198 betlar, (<https://doi.org/10.5281/zenodo.7157130>).
16. Sh.Abdullayev, F.F.Hoshimov. "Qattiq jism kimyosi va mexanokimyo". Монография. НамМТИ, Наманган, 2018.
17. Кодзаева Н.В., Кубалова Л.М. Нанокристаллические и аморфные сплавы, полученные механохимическим методом // *Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 7-2. – С. 89-90;*