

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA

O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI



*H. T. To'rayev, I. Azizov*

# MATEMATIK MANTIQ VA DISKRET MATEMATIKA

I jild

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus  
ta'lim vazirligi ta'lim muassalarining talabalari uchun darslik  
sifatida taysiya etgan*

“Tafakkur-Bo'stoni”  
Toshkent – 2011

22.12

T97

512+51(075)

ББК 22.12z73+22.172z7

*Professor H.T. TO'RAYEVning umumiy tahriri ostida*

**Taqrizchilar:**

*TATU kafedrasi mudiri, O'zR FA akademigi  
M.M. Komilov*

*O'zMU professori, O'zR FA akademigi Sh. Farmonov*

*O'zR FA ning matematika va informatzion texnologiyalar  
Institutining laboratoriya mudiri, professor R. Sadullayev*

*SamDU kafedrasi mudiri professor A.S. Soleyev*

*O'zMU professori, fizika-matematika fanlari doktori  
R. Dadajonov*

**To'rayev H.T.**

**Matematik mantiq va diskret matematika.: Oliy ta'lif muassasalarining talabalarini uchun darslik: II jildlik. H.T. To'rayev, I. Azizov; H.T. To'rayevning umumiy tahriri ostida; O'zR oily va o'rta-maxsus ta'lif vazirligi. – Toshkent: Tafakkur-Bo'stoni, 2011. – 288 bet**

**I. Azizov, I.**

**ББК 22.12z73+22.172z7**

Darslikda to'plamlar haqida umumiy tushunchalar, kombinatorika elementlari, mulohazalar algebrasi va mulohazalar hisobi kabi masalalar bayon qilingan.

Darslikning II jildida predikatlar mantiqi, matematik nazariyalar, algoritmlar, matematik mantiqning texnikaga tatbiqi, matematik mantiq funksiyalarini minimallashtirish muammosi, graflar nazariyasining elementlari, tarmoqlar va tarmoqdagi oqimlar kabi masalalar yoritilgan.

Darslik bakalavriatning 5480100 – amaliy matematika va informatika, 5460100 – matematika, 5811200 – servis (axborot servisi), 5522200 – telekommunikasiya, 5521900 – informatika va axborot texnologiyalari, 5140900 – kasb ta'lifi (informatika va axborot texnologiyalari), 5140100 – matematika va informatika yo'talishlari bo'yicha ta'lif olayotgan talabalarga mo'ljallangan.

Darslikdan 5A460104, 5A480101, 5A480107, 5A5521901 va 5A480108 magistratura mutaxassisliklari bo'yicha ta'lif olayotgan talabalar hamda aspirantlar, radiotexnika, elektrotexnika va amaliy matematika sohalarida ishlayotgan muhandislar, matematiklar va mutaxassislar foydalanishlari mumkin.

## SO‘Z BOSHI

Diskret matematika – matematikaning bir qismi bo‘lib, meloddan avval IV asrda yaratila boshlangan. Diskret matematika matematikaning takomillashgan sonlar nazariyasi, algebra, matematik mantiq qismlaridan tashqari XX asr o‘rtalaridagi fan-texnika taraqqiyoti tufayli jadal rivojlanayotgan funksional sistemalar nazariyasi, graf va to‘rlar nazariyasi, kodlashtirish nazariyasi, kombinator analiz kabi bo‘limlarni ham o‘z ichiga oladi.

Dastlab faqat matematik mantiq, algebra, matematik analiz, matematika asoslari, ehtimollar nazariyasi, geometriya, topologiya, sonlar nazariyasi, modellar nazariyasi kabi matematik fanlarda tatbiq etib keligan diskret matematika XX asrning 40- yillardan boshlab hisoblash matematikasi, kibernetika, axborot texnologiyalari, iqtisodiyot, psixologiya, matematik lingvistika, tibbiyot fanlari va diskret texnikada ham keng qo‘llanilmoqda. Diskret matematika elektr sxemalarni loyihalashda va tekshirishda, avtomatik hisoblash mashinalarini loyihalash va dasturlashtirishda, diskret avtomatlarni mantiqiy loyihalashda, EHM elementlari va qismlarini loyihalashda, har xil texnik sistemalar, qurilmalar va avtomatik mashinalarni tahlil va sintez qilishda keng miqyosda tatbiq etiladi. Matematik mantiq fani elektron hisoblash mashinalarining vujudga kelishiga va uni mukammalashtirishga katta hissa qo‘shti. Diskret matematika informatikaning poydevori bo‘lishi bilan birga, hozirgi zamon matematik ta’limning muhim bo‘g‘ini ham hisoblanadi.

Kitobning asosi sifatida H.T. To‘rayev tomonidan 1973- yildan beri Samarqand davlat universiteti amaliy matematika va informatika fakulteti talabalariga uzlusiz o‘qilayotgan ma’ruzalar olingan. Uning strukturasi va mazmuniga fakultet bazasida “Diskret matematika va uning tatbiqlari” mavzusida o‘tkazilgan Xalqaro ilmiy anjumanlar, Moskva davlat universitetining «Diskret matematika» kafedrasi bilan o‘quv-uslubiy sohalardagi hamkorlik hamda fakultet talabalariga diskret matematika fanining yetuk olimlari A.Dorodnitsin, Yu.Juravlyov, M.Komilov, V.Kudryavsev, A.Zikov va V.Qobulov tomonidan o‘qilgan ma’ruzalarning ham ijobjiy ta’siri bor.

2003- yilda H.T.To‘rayev muallifligida kirill grafikasida yozilgan va «O‘qituvchi» nashriyotida nashr etilgan «Matematik mantiq va diskret matematika» o‘quv qo‘llanmasini, jamiyat va fan taraqqiyotini hisobga olib, lotin alifbosida qayta ishlab ushbu darslikni yozishga to‘g‘ri keldi.

Darslik kortej, fazzi to'plamlar va munosabatlar, grafning metrik tavsiflari hamda kombinatorika elementlariga doir ma'lumotlar bilan to'ldirildi. 2003- yilda nashr etilgan o'quv qo'llanmada keltirilgan I bobning 1-3-paragraflari, II bobning 1-9- paragraflari va IX bobning barcha paragraflari qayta ishlandi va "Kombinatorika elementlari" deb nomlangan yangi bob qo'shildi. Uquv qullanmaning "Umumiyl tushunchalar" deb nomlangan bobiga kortejlar, fazzi to'plamlar<sup>1</sup>, fazzi munosabatlarga bag'ishlangan paragraflar qo'shildi. Darslikning ushbu nashrida "Graflar nazariyasining elementlari" va "Mulohazalar algebrasini" deb ataluvchi boblari ham qayta ishlandi, to'ldirildi va yangi ma'lumotlar bilan yanada boyitildi. Boshqa boblarda jiddiy o'zgarishlar qilinmadi, faqat ayrim texnik noaniqliklar tuzatildi, xolos.

Darslikda matematik mantiq va diskret matematika fanining rivojlanishiga ulkan hissa qo'shgan Platon, Evklid, N. At-Tusiy, J. Ali Qushchi, L. Fibonachchi, U. Xayyom, I. Nyuton, L. Eyler, G. Kantor, J. Bul, O. de Morgan, R. Dekart, B. Pascal, P. Ferma, G. Leybnis, N. Abel, O. Koshi, N. Ferrers, H. Sheffer, Ch. Pirs, I.I. Jegalkin, E. Post, A. Chyorch, N. Lobachevskiy, Yu. Dedekind, G. Peano, D. Gilbert, Yu.V. Matiyasevich, S. Klini, A. Tyuring, A.A. Markov, E. Mur, K. Shennon, U. Kvayn, Yu.I. Juravlyov, D. Kyonig, A. Keli, L.S. Pontryagin, U. Gamilton, L. Zoda, L.R. Ford, D.R. Falkerson va boshqa o'nlab olimlar haqida qisqacha bibliografik ma'lumotlar keltirilgan.

"Matematik mantiq va diskret matematika" darsligi diskret matematikaning rivojlanish tarixi (kirish) va 10 bobdan iborat. Respublika oily uquv yurtlarida diskret matematika fani ikki semestrda o'tilishini hisobga olib, darslik ikki jildga ajratilgan. Darslikning birinchi jildi to'rt bobdan iborat. **Birinchi bobda to'plamlar nazariyasining paydo bo'lishi haqidagi ayrim tarixiy ma'lumotlar, to'plamlarning aksiomatik nazariyasi haqida tushunchalar, to'plamlarning birlashmasi, kesishmasi, ayirmasi, to'ldiruvchi to'plam, to'plamlar algebrasining asosiy qonunlari, kortej haqida tushuncha, Dekart ko'paytmasi va u bilan bog'liq ba'zi tushunchalar bayon etiladi.**

**Ikkinci bob kombinatorika predmetiga bag'ishlangan bo'lib, unda kombinatorika paydo bo'lishining qisqacha tarixi, kombinatorikada ko'p qo'llaniladigan usul va qoidalar hamda betakror va takrorli o'rinn almashtirish, o'rinalashtirish, gruppashalar kabi kombinatsiyalarga oid ma'lumotlar keltiriladi. Paskal uchburchagi, Nyuton binomi, binomial koeffitsiyentlarning xossalari, ko'phad formulasi, Fibonachchi sonlari va**

---

<sup>1</sup> Bu ibora ingliz tilida "fuzzy sets", ruscha "нечеткое множество" kabi yoziladi.

ularning sodda xossalari, bo'laklashlar va ularning ba'zi xususiyatlari, Ferrers diagrammasi, hosil qiluvchi funksiyalarning xossalari va ularning kombinatorikada qo'llanilishi ham shu bobda bayon qilinadi.

**Uchinchi bob mulohazalar algebrasiga bag'ishlangan bo'lib, unda mulohazalar va ular ustida mantiqiy amallar, formulalar, teng kuchli, aynan chin, aynan yolg'on va bajariluvchi formulalar, teng kuchli formulalarga doir teoremlar, formulalarning normal shakllari, mukammal diz'yunktiv va kon'yunktiv normal shakllar, mulohazalar algebrasi funksiyalari, Bul algebrasi, mantiq algebrasidagi ikkitaraflama qonun va arifmetik amallar, Jegalkin ko'phadi, monoton funksiyalar, funksional yopiq sinflar va Post teoremasi kabi masalalar ko'rib chiqiladi.**

Kitobning to'rinchi bobi mulohazalar hisobiga bag'ishlangan bo'lib, unda mulohazalar hisobi formulasi tushunchasi, isbotlanuvchi formula ta'rifi, mulohazalar hisobining aksiomalar sistemasi (tizimi), keltirib chiqarish qoidalari, keltirib chiqarish qoidasining hosilalari bo'lgan bir vaqtida o'rniga qo'yish, murakkab xulosa, sillogizm, kontropozitsiya, ikki karra inkorni tushirish qoidalari, formulalar majmuasidan formulani keltirib chiqarish qoidasi, keltirib chiqarilgan formula (isbotlash) tushunchasi, deduksiya va umumlashgan deduksiya teoremlari, ayrim mantiq (asoslarni o'rin almashtirish, asoslarni qo'shish, asoslarni ajratish) qonunlarining isboti, mulohazalar algebrasi va mulohazalar hisobi o'rtasidagi munosabatlar, mulohazalar hisobida yechilish, zidsizlik, to'liqlilik va erkinlik muammolari kabi masalalar ko'rib chiqiladi.

Darslikni tayyorlashda amerikalik S.Klini va A.Chyorch, avstriyalik K.Gyodel, angliyalik A.Tyuring va E.Mendelson hamda rossiyalik A.A.Markov, A.I.Malsev, P.S.Novikov, S.V.Yablonskiy, O.B.Lupanov, V.B.Kudryavsev, V.A.Gorbatov, S.G.Gindikin, A.A.Zikov, L.Lixtarnikov va T.Sukachyova kabi matematiklar tomonidan yaratilgan monografiya, darslik, o'quv qo'llanma va ilmiy maqolalaridan foydalanildi.

Nazaryi masalalarni bayon etishda misollardan keng foydalanilgan, deyarli har bir paragrafning oxirida mustaqil ishlash uchun mashqlar, savol va topshiriqlar berilgan. O'quvchilarga tavsiya etilayotgan ushbu darslik "Matematik mantiq va diskret matematika" hamda «Matematik mantiq va algoritmlar nazariyasi» fanlari bo'yicha Respublikamiz davlat ta'lim standartlarida ko'rsatilgan o'quv dasturlariga to'liq javob beradi.

## KIRISH

Mantiq – muhokama yuritishning qonun-qoidalari, usullari va formalari (shakllari) haqidagi fan bo‘lib, uning asoschisi qadimgi yunon mutafakkiri Aristotel (miloddan avvalgi 384-322 y.) hisoblanadi. U birinchi bo‘lib deduksiya nazariyasini, ya’ni mantiqiy xulosa chiqarish nazariyasini yaratib, mantiqiy xulosa chiqarishning formal xarakterga ega ekanligini ko‘rsatdi. Aristotelning mantiqiy ta’limoti formal mantiqning (logikaning) asosini tashkil qiladi. Formal mantiq fikrlashning formalari va qonunlarini tekshiradi. Shunday qilib, Aristotel mantiqiy fikrlashning asosiy qonunlarini ochdi.

Aristotel asos solgan mantiq ko‘p asrlar davomida turli mutafakkirlar, faylasuflar va butun falsafiy maktablar tomonidan to‘ldirildi, o‘zgartirildi va takomillashtirildi. Shu jumladan, Abu Nasr Farobi, Abu Ali Ibn Sino, Abu Rayxon Beruniy, Muhammad al-Xorazmiy, Umar Xayyom, Alisher Navoiy, Mirzo Bedil kabi Sharqning buyuk mutafakkirlari ham o‘zlarining katta hissalarini qo‘shdilar.

Mantiqning yangilanishida fransuz olimi R.Dekartning (1596-1650) ishlari muhim rol o‘ynadi. R.Dekart analitik usulda fikrlashning asosiy prinsiplarini yaratdi.

Olmon faylasufi va matematigi G.Leybnis (1646-1716) birinchi bo‘lib mantiqiy fikrlashga hisob xarakterini berish zarur degan g‘oya bilan chiqdi. Buning uchun, uning fikricha, hamma ilmiy tushunchalar va mulohazalarni asosiy mantiqiy elementlarga keltirib, ularni ma’lum simvollar bilan belgilash kerak.

G.Leybnis g‘oyalari faqat XIX asrdagina o‘z rivojini topdi. Ingliz olimlari J.Bul (1815-1864), Ch.Pirs (1839-1914), B.Rassel (1872-1970), A.Uaytxed (1861-1947), U.Jevons (1835-1882), olmon olimlari G.Fryoge (1848-1925), D.Gilbert (1862-1943), E.Shryoder (1841-1902), shotlandiyalik matematik O. de Morgan (1806-1871), rus olimlari P.S.Poreskiy (1846-1907), V.I.Glivenko (1897-1940), I.I.Jegalkin (1869-1947) va boshqalar mantiq sohasidagi ishlari bilan simvolik yoki matematik mantiqni (logikani) yaratdilar.

Matematik mantiq asoschilaridan biri bo‘lgan J.Bul (J.Bul mashhur «So‘na» romanining muallifi Lilian Voynichning otasidir) mustaqil ravishda grek, lotin, nemis, fransuz va italyan tillarini hamda matematikani o‘rganadi. U 1847- yilda yozilgan «Mantiqning matematik tahlili», «Mantiqiy hisob» va 1854 yilda yozilgan «Fikrlash qonunlarini tadqiq

etish» kitoblarida mantiqni algebraik shaklga keltirdi va matematik mantiqning aksiomalar sistemasini yaratdi. Bulning mantiqiy hisobi **bul algebrası** deb yuritiladi.

J.Bul mantiq va matematika operatsiyalari o'tasidagi o'xshashlikka asoslanib, mantiqiy xulosalarga algebraik simvolikani qo'lladi. U mantiq operatsiyalarini formallashtirish (rasmiylashtirish) uchun quyidagi simvollarni (belgilarni) kiritdi:

- predmetlarni belgilash uchun ( $x, y, z, \dots$ ) lotin alifbosining (alfavitining) kichik harflarini;

- predmetlar sifatini belgilash uchun ( $X, Y, Z, \dots$ ) lotin alifbosining bosh harflarini;

- biror mulohazaga akslantirilgan hamma predmetlar sinfi 1 ni;

- ko'riliши lozim bo'lган predmetlar yo'qligining belgisi 0 ni;

- mulohazalarni mantiqiy qo'shishning "+" belgisini;

- mulohazalarni mantiqiy ayirishning "-" belgisini;

- mulohazalar tengligining "=" belgisini.

Simvolik bul algebrasida mantiqiy ko'paytirish amali, xuddi algebraik qiymatlarni ko'paytirishdagidek kommutativlik

$$xy = yx$$

va assotsiativlik

$$x(yz) = (xy)z$$

xossalariga ega. Mantiqiy qo'shish amali ham kommutativlik va assotsiativlik xossalariga ega:

$$x + y = y + x, (x + y) + z = x + (y + z).$$

Bul algebrasida yig'indi ko'paytmaga nisbatan distributivlik qonuniga bo'ysunadi:

$$x(y + z) = xy + xz.$$

J.Bul algebraik simvolikalar yordami bilan hamma mantiqiy operatsiyalarni ikki qiymatl (1 va 0) algebra qonunlariga bo'ysunadigan formal (rasmiy) operatsiyalarga keltirishni o'yladi. Bul funksiyalari va uning argumentlari faqat ikki qiymat – «chin» va «yolg'on» qiymatlar qabul qiladi.

Mantiq algebrası qoidalari orqali oddiy mulohazalardan murakkab mulohazalarni hosil qilish mumkin. Masalan:

$xy$  – bir vaqtida  $x$  va  $y$  xossalarga ega bo'lган predmetlar sinfi;

$x(1-y)$  –  $x$  xossaga ega va  $y$  xossaga ega bo'lмаган predmetlar sinfi;

$(1-x)y$  –  $y$  xossaga ega va  $x$  xossaga ega bo'lмаган predmetlar sinfi;

$(1-x)(1-y) - x$  va  $y$  xossalarga ega bo'lmagan predmetlar sinfi;

Hozirgi matematik mantiq fanini yaratishda fundamental rol o'yagan Bul simvolik logikasi mukammallashtirishga muhtoj edi. Masalan, Jevons fikricha mantiqiy ayirish operatsiyasi ayrim noqulaylikka olib keladi.

O. de Morgan Bul g'oyalarini rivojlantirib, mantiq hisobini ehtimollar nazariyasi teoremalarini asoslashga tatbiq etdi va simvolik hisobni yaratish ustida ishladi.

Ch.Pirs matematikani tahlil qilishda mantiqiy munosabatlarni quroq sifatida ishlatishni asoslab berdi, u G.Fryoge ishlaridan xabarsiz holda, mantiqqa kvantor tushunchasini kiritdi.

G.Fryoge matematika prinsiplarini mantiq prinsiplaridan keltirib chiqarish ustida ishlab, mantiq hisobini yaratdi.

Bul va O. de Morgan asarlarida matematik mantiq o'ziga xos algebra – mantiq algebrasi ko'rinishida shakllandi.

Keyinchalik Bul usullari U.Jevons, E.Shryoder (1853-1901) va P.S.Poretskiy (1846-1907) asarlarida o'z rivojini topdi.

Bul algebrasini U.Jevons va E.Shryoder mukammallashtirishdi. U.Jevons «Sof mantiq» (1864), «O'xshashlarni almashtirish» (1869) va «Fan asosi» (1874) nomli kitoblarida mantiq sohasida almashtirish prinsipiga asoslangan o'zining nazariyasini tavsiya etdi. 1877- yili E.Shryoder «Der operationskreis des Logikkalkuls» kitobida algebraik mantiq asoslarini yoritdi.

Matematik mantiq fanining rivojlanishiga rus olimi P.S.Poretskiyning ham katta xizmati bor. Bul, Jevons va Shryoderlar yutuqlarini umumlashtirib, «Mantiqiy tenglamalarni yechish usullari va matematik mantiqning teskari usuli haqida» (1884) nomli kitobida mantiq algebrasi apparati rivojini ancha ilgari surdi. Amerikalik olim A.Bleyk P.S.Poreskiy metodini E.Shryoder metodidan ustun qo'ygan.

P.S.Poreskiy sistemasida quyidagi belgililar qabul qilingan:

1) bir-biriga bog'liq bo'lmagan va bir-biri bilan hech qanday munosabatda bo'lmagan predmetlar sinfini lotin alifbosining kichik harflari  $a, b, c, \dots$  bilan belgilash;

2) sinflarni inkor etish uchun lotin alifbosining kichik harflaridan keyin «emas» so'zini qo'shish, ya'ni  $a$  emas,  $b$  emas va hokazo kabi belgilash;

3)  $a, b, c, \dots$  predmetlar sinfi xususiyatiga ega bo'lmagan predmetlar sinfini  $a_1, b_1, c_1, \dots$  bilan belgilash;

4) ikki yoki ko'proq sinflar birgalikda bir nechta bir-biriga bog'liq bo'lmanan xossalarga ega bo'lishini  $ab$ ,  $bc$ , ... ko'paytmalar bilan belgilash; Bu operatsiya kommutativlik va assotsiativlik xossalariga ega:

$$ab = ba, (ab)c = a(bc);$$

5) mantiqiy qo'shish amalini « $\leftrightarrow$ » belgi bilan belgilash, bu operatsiya ham kommutativlik va assotsiativlik xossalariga ega:

$$x + y = y + x, (x + y) + z = x + (y + z);$$

6) hech qanday mazmunga ega bo'lmanan sifat shaklini 0 (mantiqiy 0) bilan belgilash;

7) mumkin bo'lgan sinflarni o'z ichiga olgan sifat shaklini 1 (mantiqiy 1) bilan belgilash; 0 va 1 ushbu xossalarga ega:

$$a + 0 = a, a \cdot 1 = a;$$

8)  $a$  sinfning inkorini  $a_1$  sinf bilan belgilash;

9) qo'shish, ko'paytirish va inkor amallaridan tashqari ekvivalentlik amali kiritilgan va uni « $\Leftrightarrow$ » simvol bilan belgilangan. Bu amal uchta qoidaga bo'ysunadi: a) agar  $a = b$  tenglikning chap va o'ng tomonlariga bir xil sinflarni qo'shsak, u holda tenglik o'rinli, ya'ni  $a + c = b + c$  bo'ladi; b) agar,  $a = b$  bo'lsa, u holda  $ad = bd$  bo'ladi; d) agar,  $a = b$  bo'lsa, u holda  $a_1 = b_1$  bo'ladi, bu yerda  $a_1 = a$  emas,  $b_1 = b$  emas.

XIX asrning oxirida matematik nazariyalar shunday rivojlandiki, endi mantiq masalalari matematikaning o'zida ham muhim ahamiyatga ega bo'lib, mavjud mantiqiy qurollar matematika talablariga javob bera olmay qoldi. Ayrim matematik muammolarni yechishdagi qiyinchiliklar ularning mantiqiy tabiatiga bog'liqligi aniqlandi. Shuning uchun ham matematik mantiq tor algebraik doiradan chiqib, jadal rivojlana boshladi. Bu yo'nalishda birinchi bo'lib G.Fryoge va italyan matematigi J.Peano (1858-1932) tadqiqotlar olib borishdi, ular matematik mantiqni arifmetika va to'plamlar nazariyasini asoslash uchun qo'lladilar.

Matematik mantiqning keyingi taraqqiyoti uchun B.Rassel va A.Uaytxedning uch tomlik «Matematika prinsiplari» (1910-1913- y.), D.Gilbertning ishlari, hamda K.Gyodelning tadqiqotlari juda muhim ahamiyatga ega bo'ldi. Matematik mantiqning rivojlanishida Rossiya matematiklari I.I.Jegalkin, V.I.Givenko, A.N.Kolmogorov, P.S.Novikov, A.A.Markov va boshqalar o'zlarining ulkan hissalarini qo'shdilar.

1903- yili B.Rasselning Londonda nashr etilgan «Matematika prinsiplari» kitobida mulohazalar va sinflar hisob nazariyasi ishlab chi-

qildi. B.Rasselning A.Uaytxed bilan hamkorlikda yozilgan 3 tomlik «Matematika prinsiplari» kitoblari matematik mantiq fanining rivojlanishida katta rol o'ynadi. Bu kitoblarda mulohaza, sinf va predikatlar hisobi deyarli to'liq aksiomalar shifirdi va formallashtirildi. Ular hozirgi vaqtida o'r ganilayotgan matematik mantiq ko'rinishini yaratdilar.

D.Gilbert va nemis olimi V.Akkerman 1928- yilda chop etilgan «Nazariy mantiqning asosiy xususiyatlari» kitoblari matematik mantiqning yanada rivojlanishida muhim ahamiyat kasb etdi. Bu kitobning mualliflari mantiqiy amallarda formallashtirish metodini tatbiq etib katta yutuqqa erishdilar.

Bul, Shryoder va Poreskiyning mantiq algebrasiga tayanib, I.I.Jegalkin logik qo'shish va logik ko'paytirish amallarini quyidagicha aniqladi:

$$1) 0+0=0, 0+1=1, 1+0=1, 1+1=0;$$

$$2) 0\cdot 0=0, 0\cdot 1=0, 1\cdot 0=0, 1\cdot 1=1.$$

Logik (mantiqiy) qo'shish va ko'paytirish amalidan  $a+a=0$  va  $a\cdot a=a$  kelib chiqadi.

Mantiqiy operatsiyalarning simvolik ko'rinishlari Jegalkin sistemasida quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{p} = p+1; \quad p = \bar{\bar{p}}; \quad p \vee q = p+q+pq;$$

$$p \rightarrow q = 1+p+pq; \quad p \equiv q = 1+p+q.$$

Jegalkin simvolik mantiqqa umumiylig va mayjudlik kvantori degan tushunchalarni ham kiritdi va predikatlar algebrasini yaratdi.

XX asrning 50- yillarda ko'p qiymatli mantiq sohasida ilmiy izlanishlar olib borildi. Ko'p qiymatli mantiqda mulohazalar chekli (3 va undan ko'p) va cheksiz chinlik qiymatlari oladi. Matematik mantiqning bu bo'limining asoschilaridan biri polyak olimi Ya.Lukasevich (1878-1954) hisoblanadi. U dastlab (1920) uch qiymatli, 1954 yilda to'rt qiymatli va nihoyat cheksiz qiymatli mantiqni yaratdi.

Ko'p qiymatli mantiq muammolari bilan E.Post, S.Yaskovskiy, D.Vebb, A.Geyting, A.N.Kolmogorov, D.A.Bochvar, V.I.Shestakov, G.Reyzenbax, S.K.Klini, P.Detush-Fevriye va boshqa olimlar shug'ullanganlar.

Konstruktiv matematikaning rivojlanishi konstruktiv mantiq masalalarini yechish usullarini ishlab chiqish vazifasini qo'ydi. Bu sohada A.A.Markov, N.A.Shanin hamda shogirdlarining xizmatlari kattadir.

Diskret matematikaning katta bo‘limlaridan biri algoritmlar nazariyasi hisoblanadi. Algoritm so‘zi IX asrda yashagan o‘z zamonasining buyuk matematigi vatandoshimiz **Muhammad al-Xorazmiy** ismining lotincha Algorithmi formasidan kelib chiqqan.

Algoritmlar nazariyasi algoritmlarning umumiy xususiyatlarini o‘rgatuvchi diskret matematikaning bir bo‘limidir.

XX asrning 20- yillarda birinchi bo‘lib intuitsionistlar vakillari L.Brauer va olmon olimi G.Veyler (1934) algoritm tushunchasini o‘rganishga kirishganlar. Algoritmlar nazariyasining asoschilaridan biri bo‘lgan A.Chyorch 1936- yilda hisoblanuvchi funksiya tushunchasiga dastlabki aniqlikni kiritdi va quyidagi tezisni ilgari surdi: natural argumentlarning barcha qiymatlarida hamma joyda aniqlangan hisoblanuvchi funksiyalar bilan umumiy rekursiv funksiyalar ekvivalentdir (bir xildir). U hisoblanuvchi funksiya bo‘lmagan funksiyani ko‘rsatdi.

Algoritmlar nazariyasining keyingi rivojlanishiga amerikalik olimlar K.Gyodel, S.K.Klini (1957), E.L.Post (1943-1947), X.Rodjers (1972), ingliz olimi A.Tyuring (1936-1937), rus olimlari A.A.Markov (1947-1954, 1958, 1967), A.N.Kolmogorov (1953, 1958, 1965), Yu.L.Yershov (1969-1973), A.I.Malsev (1965), D.A.Traxtenbrot (1967, 1970-1974), P.S.Novikov (1952), Yu.V.Matiyasevich (1970-1972) kabi olimlarning xizmatlari benihoyat kattadir.

Masalan, S.Klini algoritm yordamida hisoblanuvchi qismiy funksiyalar qismiy rekursiv funksiyalardir degan g‘oyani ilgari surdi.

A.Tyuring va E.Post (1936) ideallashtirilgan hisoblash mashinalari atamasida birinchi bo‘lib, bir-biridan bexabar holda, algoritm tushunchasiga aniqlik kiritishdi. Post va Tyuring algoritmik jarayonlar ma’lum bir tuzilishga ega bo‘lgan “mashina” bajaradigan jarayonlar ekanligini ko‘rsatdilar. Ular o‘sha paytdagi matematikada ma’lum bo‘lgan barcha algoritmik jarayonlarni bajara oladigan “mashinalar” sinfini hosil qilib, ularga aniq matematik atamalar yordamida ta’rif berdilar. Post va Tyuring ushbu mashinalar yordamida hisoblanuvchi barcha funksiyalar sinfi barcha qismiy rekursiv funksiyalar sinfi bilan bir xil ekanligini ko‘rsatdilar. Natijada, Chyorch tezisining yana bitta fundamental tasdig‘i hosil bo‘ldi.

S.Klini va E.Post birligida rekursivlik nazariyasini yaratdilar va rekursiv funksiyalar nazariyasini taraqqiy ettirdilar. Ular qisman rekursiv funksiyalar tushunchasini kiritishdi.

Dastlab faqat matematik mantiq, algebra, matematik analiz, matematika asoslari, ehtimollar nazariyasi, geometriya, topologiya, sonlar nazariyasi, modellar nazariyasi kabi matematika fanlarida tatbiq etib kelingan algoritmlar nazariyasi XX asrning 40-yillardidan boshlab hisoblash matematikasi, kibernetika, axborot nazariyasi, iqtisodiyot, psixologiya, matematik lingvistika, tibbiyot fanlari va diskret texnikada keng qo'llanilmoqda.

So'nggi davrlarda matematik mantiqni texnikaga juda samarali tatbiq etish imkoniyatlari borligi ma'lum bo'ldi.

Matematik mantiqning diskret texnikaga tatbiqi natijasida uning texnik mantiq bo'limi vujudga keldi. Bu sohada E.Post, V.I.Shestakov, K.Shennon (1916 y.t.), A.Nakashima, M.Xanzava, S.Klini, O.B.Lupanov (1932 y.t.), S.V.Yablonskiy (1924 y.t.), V.B.Kudryavsev, Yu.I.Juravlyov, V.I.Levenshteyn, V.V.Glagolev, F.Ya.Vetuxnovskiy, Yu.L.Vasilyev va boshqa olimlar o'z ilmiy izlanishlari bilan uning taraqqiy etishiga ulkan hissa qo'shganlar.

Matematik mantiqni texnikaga qo'llashni bиринчи bo'lib rus fizigi P.Erenfest (1910) va gidrotxnika qurilishlari bo'yicha yetuk mutaxassis N.M.Gersevanovlar amalga oshirganlar.

K.Shennon hisoblash mashinalarini yaratishning asosiy metodi sifatida mantiq algebrasini bilgan, u axborot va uni uzatishning matematik nazarialarni yaratdi, elektron tarmoqlardagi "1" va "0" binar munosabatlар bilan matematik mantiqdagi ikkilik (1 va 0) qiymatlarining mos kelishini va qanday qilib "mantiq mashinasini" yaratishni ko'rsatdi va hokazo.

Kontakli va rele-kontakli sxemalarga mantiq algebrasini tatbiq etishning isbotini bиринчи bo'lib V.I.Shestakov va K.Shennon berdi. A.Nakashima va M.Xanzava matematik mantiqni diskret texnika masalarini yechishda qo'llash metodlarini yaratdilar. S.Klini diskret qurilma modelini (cheqli avtomat modeli) yaratgani tufayli, matematik mantiqni xotirali diskret qurilmalarni loyihalashda ishlatish imkoni yuzaga keldi.

Moskva davlat universiteti diskret matematika maktabining asoschilariidan biri O.B.Lupanovning asosiy ishlari matematik kibernetika va matematik mantiqqa bag'ishlangan. U murakkab boshqaruvchi sistemalarning asimptotik qonuniyatlarini, kontakt sxemalar va funksional elementlardan yasalgan sxemalarni (umuman asosiy boshqaruvchi sistemalarni), eng yaxshi asimptotik sintez metodlarini va lokal kodlash prinsipini ishlab chiqdi.

Kombinatorika muammolari bilan XI-XV asrlarda Sharq olimlari, jumladan, Bxaskara Acharya, Nosir ad-Din-Muhammad at-Tusiy, Ali Qushchi, Umar Hayyom shug'ullanib, olamshumul ahamiyatga ega bo'lgan ilmiy natijalar olishgan.

Ilmiy adabiyotda Paskal uchburchagi deb ataluvchi sonlar jadvali Paskal nomi bilan atalishiga qaramasdan, bunday sonlar jadvali juda qadimdan dunyoning turli mintaqalarida, jumladan, Sharq mamlakatlari da ham ma'lum bo'lgan: Erondagi Tus shahrida (hozirgi Mashhadda) yashab ijod qilgan Nosir at-Tusiy XIII asrda bu jadvaldan foydalani, ikkita son yig'indisining natural darajasini hisoblash usulini o'zining ilmiy ishlarida keltirgan bo'lsa, g'arbda Al-Kashi nomi bilan mashhur Samarqandlik olim Ali Qushchi butun sonning istalgan natural ko'rsatkichli arifmetik ildizi qiyamatini taqribi hisoblashda bu jadvaldan foydalana bilgan. XVI asrga kelib G'arbiy Yevropada bu sonlar uchburchagi haqida M. Shtifel arifmetika bo'yicha qo'llanmalarida yozgan va u ham butun sondan istalgan natural ko'rsatkichli arifmetik ildizning taqribi qiyamatini hisoblashda bu uchburchakdan foydalana bilgan. 1556 yilda bu sonlar jadvali bilan N. Tartalya, 1631 yilda U. Otred ham shug'ullanishgan. Faqatgina 1654 yilga kelib B. Paskal bu sonlar jadvali haqidagi ma'lumotlarni o'zining "Arifmetik uchburchak haqidagi traktat" nomli asarida e'lon qildi.

Ixtiyoriy  $a$  va  $b$  haqiqiy sonlar hamda  $n$  natural son uchun  $(a+b)$ " ifodaning ko'phad shaklidagi yoyilmasi XVII-XVIII asrlarda yashagan Nyuton nomi bilan Nyuton binomi deb yuritiladi. Vaholanki, qadimgi greklar  $(a+b)$ " ifodaning qatorga yoyilmasini  $n$  ning faqat  $n=2$  bo'lgan holida bilishgan bo'lsa, Umar Hayyom (1048-1122) va Ali Qushchi (1436- yilda vafot etgan) bu ifodani  $n > 2$  bo'lgan natural sonlar uchun ham qatorga yoya bilganlar. Nyuton esa 1767 yilda yoyilma formulasini isbotsiz manfiy va kasr  $n$  sonlar uchun ham qo'lllagan.

Kombinatorik tahlil diskret matematikaning nazariy asoslaridan biridir. Bu tahlilni amalga oshirishda tanlashlar sonini bevosita aniqlash usuli, hosil qiluvchi funksiyalar usuli, mantiqiy, ekstremal, geometrik, jadval-sxema va boshqa usullardan foydalilaniladi.

1736-yilda L. Eyler tomonidan o'sha davrda qiziqarli amaliy masalalardan biri hisoblangan Kyonigsberg<sup>1</sup> ko'priklari haqidagi masalaning

<sup>1</sup> Kyonigsberg (Königsberg) – bu shahar 1255-yilda asoslangan bo'lib, Sharqiy Prussiya-dagi Pregel daryosi qirg'oqlarida joylashgan. 1946- yildan boshlab Kaliningrad, hozir Rossiya Federatsiyasi tarkibida.

qo'yilishi va yechilishi graflar nazariyasining paydo bo'lishiga asos bo'ldi.

XIX asrning o'rtalarida graflar nazariyasi bilan bog'liq tadqiqotlar G. Kirxgof<sup>1</sup> va A. Keli<sup>2</sup> ishlarida paydo bo'ldi.

"Graf" iborasi D. Kyonig<sup>3</sup> tomonidan 1936- yilda graflar nazariyasiga bag'ishlangan dastlabki darslikda<sup>4</sup> uchraydi.

XIX-XX asrlarda graflar nazariyasining rivojlanashiga daniya matematigi J. Petersen (1839-1910), polyak matematigi K. Kuratovskiy (1896-1980), rus matematigi L. Pontryagin (1908-1988), norvegiya matematigi O. Ore (1899-1968), irlandiya matematigi V.R. Gamilton (1805-1865), daniya matematigi G.A. Dirak (1925-1984), golland matematigi E.V. Deykstra (1930-2002), AQSH matematiklari L.R. Ford (1927) va D.R. Falkerson (1924-1976) kabi olimlarning benihoyat hizmatlari katta.

Graflar nazariyasi bo'yicha tadqiqotlar natijalari inson faoliyatining turli sohalarida qo'llaniladi. Ulardan ba'zilari quyidagilardir: boshqotirmalarni hal qilish; qiziqarli o'yinlar; yo'llar, elektr zanjirlari, integral sxemalari va boshqarish sistemalarini loyihalashtirish; avtomatlar, bloksxemalar va komputer uchun dasturlarni tadqiq qilish va hokazo.

Demak, matematik mantiq, bir tomondan, formal mantiq muammolariga matematik metodlarni qo'llash natijasida rivojlangan bo'lsa, ikkinchi tomondan, matematikani asoslashga xizmat qiluvchi fan sifatida rivojlandi. Hozirgi zamон matematik mantiqi avtomatika, mashina matematikasi, bir tildan ikkinchi tilga avtomatik tarzda tarjima qilish, matematik lingvistika, axborot nazariyasi va umuman kibernetika bilan bog'liqdir.

Shunday qilib, matematik mantiq va diskret matematika fani matematika asoslari, algebra, geometriya, matematik analiz, funksional analiz, topologiya, ehimollar nazariyasi kabi fanlarda tatbiq etilishidan tashqari kibernetika, iqtisodiyot, matematik lingvistika, psixologiya singari fanlarda ham keng qo'llaniladi.

<sup>1</sup> Kirxgof (Kirchhoff Gustav Robert, 1824-1887) – olmon faylasufi, fizigi.

<sup>2</sup> Keli yoki Keyli (Cayley Arthur, 1821-1895) – ingliz matematigi.

<sup>3</sup> Kyonig (Dénes König, 1884-1944) – venger matematigi.

<sup>4</sup> Bu darslik olmon tilida yozilgan.

# *I BOB*

## UMUMIY TUSHUNCHALAR

Ushbu bobda to‘plamlar nazariyasining paydo bo‘lishi haqidagi ayrim tarixiy ma’lumotlar, to‘plamlarning aksiomatik nazariyasi haqida tushunchalar, to‘plamlar ustidagi amallar, to‘plamlar algebrasining asosiy qonunlari, kortej va fuzzy to‘plam haqida tushunchalar, Dekart ko‘paytmasi va u bilan bog‘liq ba‘zi amallar, munosabatlar va funksiyalar superpozitsiyasi haqida tushunchalar bayon etiladi.

### 1.1. To‘plamlar nazariyasining asosiy tushunchalari

*To‘plam. Element. Qism to‘plam. Xos qism to‘plam. Chekli va cheksiz to‘plamlar. To‘plamlarning tengligi. Refleksivlik. Bo‘sh to‘plam. To‘plamning quvvati. Paradoks. Aksioma. Aksiomatik nazariya. Tanlash, hajmiylik, bo‘sh to‘plam va juftlik aksiomalari. Sermelo-Frenkel aksiomalari tizimi. Tartiblanmagan juftlik. Tranzitivlik. O‘zaro ekvivalent tasdiqlar.*

**1.1.1. To‘plamlar nazariyasining paydo bo‘lishi.**  
Matematikada, shu jumladan, diskret matematika, kombinatorika va graflar nazariyasida ham, turli to‘plamlar bilan ish ko‘rishga to‘g‘ri keladi. Masalan, kutubxonadagi barcha kitoblar to‘plami, to‘g‘ri burchakli uchburchaklar to‘plami, suvda hayot kechiruvchi tirik organizmlar to‘plami, natural sonlar to‘plami, koinotdagi yulduzlar to‘plami, to‘g‘ri chiziqda yotuvchi nuqtalar to‘plami va hokazo.

To‘plamlar nazariyasiga fan sifatida XIX asrning oxirida matematikani standartlashtirish bo‘yicha o‘z dasturini taklif etgan Kantor<sup>1</sup> tomonidan asos solingan deb hisoblansada, to‘plamlar bilan Kantordan oldinroq Bolsano<sup>2</sup> shug‘ullangan.

Kantor fikricha, istalgan matematik obyekt (shu jumladan, to‘plamning o‘zi ham) qandaydir to‘plamga tegishli bo‘lishi shart. Berilgan xossaga ega bo‘lgan barcha obyektlar majmuasi uchun umumiyl nomni Kantor to‘plam



Georg Kantor

<sup>1</sup> Kantor (Georg Ferdinand Ludwig Philipp Cantor, 1845 (Sankt Peterburg) - 1918) – olmon matematigi.

<sup>2</sup> Bolsano (Bernard Bolzano, 1781-1848) – chek matematigi va faylasufi.

deb tushungan edi. Umuman olganda, to‘plam tushunchasiga qat’iy ta’rif berilmaydi, chunki uni boshqa soddarоq tushuncha orqali ifodalab bo‘lmaydi. Masalan, to‘plamni matematik ibora sifatida tushuntirishda Kantor ham to‘plam so‘ziga sinonim bo‘lgan “majmua” so‘zidan foydalangan. Umuman olganda, to‘plam so‘zining lug‘aviy ma‘nosiga ko‘ra, uni tashkil etuvchilarni bir joyga to‘plash (yig‘ish, jamlash) tushunilsada, matematikada to‘plam deganda bunday yig‘ish talab etilmaydi, balki bu tashkil etuvchilarni birgalikda to‘plam sifatida qarash uchun ularning barchasiga tegishli qandaydir umumiy xossaning (belgining) mavjudligi yetarlidir.

### **1- та’rif. To‘plamni tashkil etuvchilar shu to‘plamning elementlari deb ataladi.**

To‘plamlar nazariyasida to‘plamning elementlari bir-biridan farqli deb hisoblanadi, ya’ni muayyan bir to‘plamning elementlari takrorlanmaydi.

To‘plamni tashkil etuvchi elementlar soni chekli yoki cheksiz bo‘lishi mumkin. Birinchi holda chekli to‘plamga, ikkinchi holda esa, cheksiz to‘plamga ega bo‘lamiz.

To‘plamlarni belgilashda, odatda, lotin yoki grek alifbosining bosh harflari, uning elementlari uchun esa alifboning kichik harflari qo‘llaniladi. To‘plamni tashkil etuvchi elementlar figurali qavslar orasiga olinib ifodalanishi mumkin. Masalan,  $A$  to‘plamning  $a, b, c, d, \dots, z$  elementlardan tuzilganligini  $A = \{a, b, c, d, \dots, z\}$  ko‘rinishda yozish mumkin. Ko‘pincha (masalan, cheksiz to‘plam yoki to‘plamning elementlari juda ko‘p bo‘lgan holda) to‘plamni belgilashda figurali qavslar orasida, avvalo, to‘plamni tashkil etuvchi elementning umumiy belgisi yozilib, undan so‘ng “|” yoki “:” (ba’zan “/”) belgisi qo‘yiladi, keyin esa, ifodalanayotgan to‘plamning barcha elementlariga xos shartlar yoziladi. Bunda, yozuvni murakkablashtirmaslik maqsadida, ba’zi qisqartirishlarga yoki tushuntiruvchi so‘zlarning qavslardan tashqarida yozilishiga yo‘l qo‘yiladi.

Masalan, toq natural sonlar to‘plamini  $B$  deb belgilasak, uni  $B = \{m \mid m = 2n - 1\}$ , bunda  $n$  – natural son, yoki  $B = \{m \mid m = 2n - 1, n \in \mathbb{N}\}$  ko‘rinishda<sup>1</sup> yozish mumkin.

**1.1.2. To‘plamlarning aksiomatik nazariyasi haqida tushunchalar.** XX asrning boshiga kelib, Kantorning matematikani standartlashtirish bo‘yicha dasturining asosi bo‘lgan va “to‘plamlarning sodda nazariyasi”

---

<sup>1</sup>  $\mathbb{N}$  – natural sonlar to‘plami (Kitobdagи asosiy belgilashiarga qarang).

deb ham ataluvchi to‘plamlar nazariyasi mukammal emasligi ma’lum bo‘ldi. To‘plamlarning sodda nazariyasini o‘rganish jarayonida Rassel<sup>1</sup> paradoksga<sup>2</sup> kelib qoldi. Kantorning to‘plamlar nazariyasi ichki ziddiyatiga ega ekanligi Rassel paradoksi sifatida ifodalangan.

**Rassel paradoksi.** Faraz qilaylik,  $K$  – o‘zini element sifatida o‘zida saqlamagan barcha to‘plamlar to‘plami bo‘lsin. U holda,  $K$  – o‘zini element sifatida saqlaydimi? Agar bu savolga “ha” deb javob berilsa,  $K$  to‘plamning aniqlanishiga ko‘ra, u  $K$  ning elementi bo‘lmasligi kerak – ziddiyat. Agar “yo‘q” deb javob berilsa, yana  $K$  to‘plamning aniqlanishiga ko‘ra, u to‘plam sifatida  $K$  ning elementi bo‘lishi kerak – yana ziddiyat.

Hozirgi zamon to‘plamlar nazariyasi aksiomalar<sup>3</sup> tizimiga asoslangandir. Qandaydir aksiomalarga asoslangan nazariya aksiomatik nazariya deb yuritiladi<sup>4</sup>. To‘plamlarning aksiomatik nazariyasida bunday aksiomalar tizimi sifatida standart tizim hisoblangan Sermelo<sup>5</sup>-Frenkel<sup>6</sup> aksiomalari tizimini keltirish mumkin. To‘plamlar nazariyasida, ko‘pincha, bu tizimga tanlash aksiomasi deb ataluvchi aksiomani ham qo‘shib olib, tanlash aksiomasi qatnashgan Sermelo-Frenkel aksiomalari tizimi bilan ish ko‘riladi. Bu aksiomalar tizimidan tashqari boshqa aksiomalar tizimlaridan ham foydalilanadi. Masalan, fon Neyman<sup>7</sup>-Berneys<sup>8</sup>-Gyodel<sup>9</sup> tizimi.

Quyida tanlash aksiomasi qatnashgan Sermelo-Frenkel aksiomalari tizimiga kiruvchi ba‘zi aksiomalarni keltiramiz.

**Hajmiylik aksiomasi.** Ikkita  $A$  va  $B$  to‘plamlar faqat va faqat aynan bir xil elementlardan iborat bo‘lsagina tengdir.

<sup>1</sup> Rassel (Bertrand Arthur William Russell, 1872-1970) – mashhur ingliz faylasufu, 1950-yilda adabiyot sohasida Nobel mukofotiga sazovar bo‘lgan.

<sup>2</sup> Paradoks (grekcha παράδοξος so‘zi kutilmagan, tushunarsiz, g‘ayrioddiy, taajjubli ma’nolarini beradi) – mantiqiy nuqtai nazardan formal ravishda to‘g‘ri fikrlab bir-biriga zid bo‘lgan natijalarni bosil qilish.

<sup>3</sup> Aksioma – isbotsiz qabul qilinadigan tasdiq.

<sup>4</sup> IV bobga qarang.

<sup>5</sup> Sermelo (Ernst Friedrich Ferdinand Zermelo, 1871-1953) – olmon matematigi.

<sup>6</sup> Frenkel (Adolf Abraham Halevi Fraenkel, אדולף פרנקל, 1891-1965) – olmon va isroil matematigi.

<sup>7</sup> Fon Neyman (John von Neumann, 1903 (Budapesht) – 1957) – AQSh matematigi, iqtisodchisi.

<sup>8</sup> Berneys (Paul Isaak Bernays, 1888 (London) – 1977) – Shveytsariya matematigi.

<sup>9</sup> Gyodel (Kurt Gödel, 1906 (Brno) – 1978) – AQSh matematigi.

**Bo'sh to'plam aksiomasi.** Birorta ham elementga ega bo'limgan to'plam, ya'ni bo'sh to'plam mavjud. Bo'sh to'plam uchun  $\emptyset$  belgisi qo'llaniladi.

**Juftlik aksiomasi.** Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun shunday  $C$  to'plam mavjudki, bu to'plam elementlari faqat  $A$  va  $B$  to'plamlardan iboratdir (ya'ni,  $A$  va  $B$  to'plamlar  $C$ ning yagona elementlaridir).  $C$  to'plam  $\{A, B\}$  ko'rinishda belgilanadi. Ushbu  $\{A, B\}$  ifoda  $A$  va  $B$  ning tartiblanmagan juftligi deb yuritiladi. Agar  $A$  va  $B$  to'plamlar teng bo'lsa, u holda  $C$  bitta elementdan iboratdir.

**Tanlash aksiomasi.** Bo'sh bo'limgan va o'zaro kesishmaydigan to'plamlar majmuasidagi har bir to'plamdan bittadan "vakil"-element tanlab, shu elementlar to'plami  $C$  ni tuzish mumkin.  $X$  to'plam shu majmuuning qanday elementi bo'lishidan qat'i nazar  $X$  va  $C$  to'plamlar faqatgina bitta umumiy elementga ega bo'ladi.

Albatta, bu aksiomalar (shu jumladan, tanlash aksiomasi qatnashgan Sermelo-Frenkel aksiomalari tizimining boshqa aksiomalari ham) bizga o'z-o'zidan oydin bo'lgan tasdiqlarga o'xshab tuyuladi, chunki bizning tafakkurimiz to'plamlar majmuasini chekli deb tessavvur qilishga o'rgan-gan. To'plamlar majmuasi chekli bo'lgan holda, masalan, tanlash aksiomasini tushunish qiyin emas. Tanlash aksiomasi cheksiz to'plamlar uchun qo'llansa, ba'zan, tortishuvlarga sabab bo'luvchi juda qiziq tasdiqlar vujudga keladi. Bu fikrni tasdiqlash maqsadida Banax<sup>1</sup>-Tarskiy<sup>2</sup> paradoksi (sharning ikkilanishi) va Xausdorf<sup>3</sup> paradoksi mavjudligini ta'kidlaymiz.

Yuqorida keltirilgan aksiomalardan, jumladan, hajmiylik aksiomasidan, to'plamlar bo'yicha ko'plab tasdiqlarni isbotlashda foydalanimiz. Hajmiylik aksiomasini boshqacha ifodalash ham mumkin.  $A$  to'plamning har bir elementi  $B$  to'plamda ham mavjud va, aksincha,  $B$  to'plamning har bir elementi  $A$  to'plamda ham mavjud bo'lsa, u holda  $A$  va  $B$  to'plamlar tengdir.  $A$  va  $B$  to'plamlarning tengligini  $A = B$  yoki  $B = A$  ko'rinishda ifodalaymiz. Aslida,  $A = B$  bo'lsa, u holda  $A$  va  $B$  to'plamlar aynan bitta to'plamning har xil belgilanishidir. Masalan, o'nlik sanoq tizimidagi yozuvning oxirgi raqami 1, 3, 5, 7 yoki 9 raqamlaridan biri bo'lgan natural sonlar to'plamini  $A$  bilan, birni qo'shganda ikkiga

<sup>1</sup> Banax (Banach Stefan, Банах Стефан, 1892-1945) – Polsha va Ukraina matematigi.

<sup>2</sup> Tarskiy (Tarski Alfred, 1902-1983) – Polsha va AQSh mantiqchisi va matematigi.

<sup>3</sup> Xausdorf (Felix Hausdorff, 1868-1942) – olmon matematigi.

qoldiqsiz bo'linadigan natural sonlar to'plamini esa  $B$  bilan belgilasak, u holda  $A = B$  bo'ladi.  $A = B$  yozuv to'plamlardagi elementlarning qaysi tartibda joylashishiga bog'liq emas. Albatta, to'plamdagи elementlarni qaysi tartibda qo'yish masalasi ham dolzarbdir.

$A$  va  $B$  to'plamlar teng bo'lmasa, u holda bu holat  $A \neq B$  yoki  $B \neq A$  ko'rinishda ifodalanadi.

To'plamlar nazariyasida quvvat eng muhim tushunchalardan biri bo'lib, u to'plamlarni taqqoslashda katta ahamiyatga egadir. To'plamning quvvati tushunchasi, uning chekli yoki cheksiz bo'lishiga qarab ta'riflanadi. Quvvat tushunchasi to'g'risida batafsil ma'lumotni to'plamlar nazariyasiga bag'ishlangan manbalardan topish mumkin. Diskret matematikada, asosan, chekli to'plamlar bilan ish ko'rildi. Shu sababli, to'plamning quvvati tushunchasini faqat chekli to'plamlar uchun keltirish bilan chegaralanamiz.

**2- ta'rif.** *Chekli to'plamning elementlari soni shu to'plamning quvvati deb ataladi.*

Berilgan  $A$  to'plamning quvvati  $|A|$  ko'rinishda belgilanadi.

**1-misol.** Ushbu to'plamlar berilgan bo'lsin:  $A = \{a\}$ ,  $B = \{a, b\}$ ,  $C = \{a, b, c, d, e\}$ ,  $D = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ ,  $E = \{m | m = 2z\}$ ,  $F = \{2, 3, 5, 7, \dots, p, \dots\}$ , bu yerda  $n$  – natural son,  $z$  – butun son,  $p$  – tub son. Berilgan oltita to'plamdan to'rtasi –  $A$ ,  $B$ ,  $C$  va  $D$  to'plamlar chekli,  $E$  va  $F$  to'plamlar esa cheksiz to'plamlardir. Bundan tashqari,  $|A|=1$ ,  $|B|=2$ ,  $|C|=5$  va  $|D|=n$ . ■

Berilgan  $A$  to'plamga  $a$  element tegishliligi  $a \in A$  yoki  $A \ni a$  ko'rinishda belgilanadi va " $a$  tegishli  $A$ " deb o'qiladi. "Tegishli" iborasining o'miga, ba'zan, "qarashli" yoki "taalluqli" iborasi ham qo'llaniladi. Qandaydir  $b$  ning  $A$  to'plamga tegishli emasligi, ya'ni  $b$  ning  $A$  to'plam elementi bo'lmagligi  $b \notin A$ ,  $b \not\in A$  yoki  $A \ni b$  ko'rinishda yoziladi. Masalan,  $A = \{2, 4, 6, 8, 10\}$  to'plam uchun  $4 \in A$ ,  $6 \in A$ , va  $10 \in A$  (bularni umumlashtirib,  $4, 6, 10 \in A$  ko'rinishda yozish ham mumkin), lekin  $12 \notin A$  va  $14 \notin A$  (ya'ni,  $12, 14 \notin A$ ).

Tabiiyki, turli to'plamlar uchun umumiylar mavjud bo'lishi mumkin. Masalan,  $A = \{2, 4, 6, 8, 10\}$  va  $B = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$  to'plamlarda 2, 4, 6, 8 elementlar ikkala to'plamda ham mavjuddir.

**3- ta’rif.** Agar  $B$  to‘plamning har bir elementi  $A$  to‘plamda ham mavjud bo‘lsa, u holda  $B$  to‘plam  $A$  to‘plamning qism to‘plami deb ataladi.

$B$  to‘plam  $A$  to‘plamning qism to‘plami ekanligi  $B \subseteq A$  yoki  $A \supseteq B$  ko‘rinishda belgilanadi. Tabiiyki, bu belgilashlar  $A$  va  $B$  to‘plamlarning teng bo‘lgan holini ham nazarda tutadi.  $A \subseteq B$  va  $B \subseteq A$  bo‘lishidan  $A = B$  kelib chiqadi. Bu tenglik to‘plamning o‘zi o‘zining qism to‘plami bo‘la olishi mumkinligini ko‘rsatadi, ya’ni  $A \subseteq A$  (yoki  $A \supseteq A$ ) ko‘rinishdagi yozuv ham ma’noga egadir. Har qanday to‘plamning o‘zi o‘zining qism to‘plami bo‘la olishi to‘plamlarning refleksivlik xossasi deb yuritiladi.

**4- ta’rif.**  $B$  to‘plamning hamma elementlari  $A$  to‘plamda bor bo‘lib, shu bilan birga  $A$  to‘plamda  $B$  ga kirmagan element(lar) ham topilsa, u holda  $B$  to‘plam  $A$  to‘plamning xos qism to‘plami deb ataladi.

$B$  to‘plam  $A$  to‘plamning xos qism to‘plami bo‘lishi  $B \subset A$  yoki  $A \supset B$  ko‘rinishda belgilanadi.

Ta‘kidlash kerakki,  $A \subset A$  yoki  $A \supset A$  deb yozish mumkin emas<sup>1</sup>. Shuning uchun, bu holatni ifodalash maqsadida, har qanday to‘plam “o‘zi o‘zining xosmas qismi” degan iboradan foydalaniлади.

To‘plamlar nazariyasida bo‘sh to‘plam har qanday bo‘sh bo‘lmagan  $A$  to‘plamning qism to‘plami deb qaraladi, ya’ni  $\emptyset \subset A$ . Tabiiyki, bo‘sh to‘plamning quvvati nolga teng, ammo bo‘sh to‘plamni yagona element sifatida saqlovchi to‘plamning quvvati birga tengdir, ya’ni  $|\emptyset| = 0$ , lekin  $|\{\emptyset\}| = 1$ .

Qandaydir  $a$  tasdiqning o‘rinli bo‘lishidan boshqa  $b$  tasdiqning o‘rinli bo‘lishi kelib chiqsa, bu holat  $a \Rightarrow b$  deb belgilanadi. Masalan,  $(A \subseteq B$  va  $B \subseteq A) \Rightarrow A = B$ .

**5- ta’rif.** Agar  $a$  va  $b$  tasdiqlar uchun  $a \Rightarrow b$  va  $b \Rightarrow a$  bo‘lsa, u holda bu tasdiqlar o‘zaro ekvivalent tasdiqlar deb ataladi.

$a$  va  $b$  tasdiqlarning o‘zaro ekvivalentligi  $a \Leftrightarrow b$  deb belgilanadi (III bobga qarang).

**2- misol.**  $N$  natural sonlar to‘plami  $R$  haqiqiy sonlar to‘plamining qism to‘plamini tashkil etadi:  $N \subseteq R$ . ■

<sup>1</sup> Qiyoslang:  $a$  haqiqiy son bo‘lsa, u holda  $a < a$  va  $a > a$  yozuvlar noto‘g‘ri.

**3- misol.** Nukus shahridagi barcha talabalar to'plami O'zbekistonidagi barcha talabalar to'plamining qism to'plamidir. ■

**4- misol.** O'nli sanoq tizimidagi yozuvining oxirgi raqami 0, 2, 4, 6 yoki 8 raqamlaridan biri bo'lgan natural sonlar to'plami ikkiga qoldiqsiz bo'linadigan natural sonlar to'plamining qism to'plamidir. ■

**5- misol.**  $A = \{a, b, c, d, e\}$  to'plam uchun  $B = \{a\}$ ,  $C = \{a, b\}$  to'plamlarning har biri xos qism to'plamidir. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Juft sonlar to'plamini ifodalash usullarini keltiring.
2.  $\{a, b\} \in \{\{a, b, c\}, \{b, d\}, a, b, \{b, c\}\}$  tasdiqning to'g'ri yoki noto'g'riligini tekshiring va javobingizni izohlang.
3.  $\{\{a, b\}, \{b, c\}\} \neq \{a, b, c\}$  munosabatni isbotlang.
4.  $x^2 - 10x + 21 = 0$  tenglamaning ildizlari to'plamini  $A$  bilan va  $B = \{3, 7\}$  deb belgilasak,  $A = B$  bo'lishini ko'rsating.
5.  $\emptyset = \{\emptyset\}$  va  $\emptyset \neq \{\emptyset\}$  munosabatlardan to'g'risini ko'rsating.
6.  $A \subseteq \emptyset \Rightarrow A = \emptyset$  munosabatni isbotlang.
7. Birorta ham elementga ega bo'lмаган to'plam yagona ekanligini isbotlang.
8. Bir vaqtning o'zida  $A \in B$ ,  $B \in C$  va  $A \notin C$  xususiyatlarga ega bo'lgan  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlarga misol keltiring.
9. Quyida keltirilgan to'plamlarning har birini so'zlar vositasida ifodalang:

a)  $\{x \in \mathbb{N} \mid x \text{ 3ga va } 5\text{ga qoldiqsiz bo'linadi}\};$

b)  $\{x \in \mathbb{Z} \mid 0 < x < 9\};$

d)  $\{x : x = x_1 \text{ yoki } x = x_2, \text{ yoki } x = x_3, \text{ yoki } x = x_4\};$

e)  $\{\sqrt{x} : x - \text{tub son}\};$

f)  $\{(x, y) \mid x, y \in \mathbb{R}, x^2 + y^2 \leq 1\};$

g)  $B = \{x \in A : x - \text{yoshi yigirma birdan oshmagan talaba}\},$  bunda  $A$  – Toshkent shahridagi talabalar to'plami.

10. Sonlarning kerakli xossalarni qo'llab, quyida keltirilgan tasdiqlarni isbotlang:

a)  $\{x \in \mathbb{N} \mid \text{qandaydir } y \text{ uchun } x = 15y\} =$

$= \{x \in \mathbb{N} \mid \text{qandaydir } n \text{ va } m \text{ uchun } x = 3n \text{ va } x = 5m\};$

b)  $\{x \in \mathbb{R} \mid \text{qandaydir } y \in \mathbb{R} \text{ uchun } x = y^2\} = \{x \in \mathbb{R} \mid x \geq 0\}.$

11. Ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlar uchun quyidagi tasdiqlarni isbotlang:

- a) agar  $A \subseteq B$  va  $B \subseteq C$  bo'lsa, u holda  $A \subseteq C$  o'rnlidir;
- b) agar  $A \subseteq B$  va  $B \subset C$  bo'lsa, u holda  $A \subset C$  o'rnlidir;
- d) agar  $A \subset B$  va  $B \subset C$  bo'lsa, u holda  $A \subset C$  o'rnlidir;
- e) agar  $A \subset B$  va  $B \subseteq C$  bo'lsa, u holda  $A \subset C$  o'rnlidir.

12. Ixtiyoriy  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlar uchun quyidagini isbotlang:  $A_1 = A_2 = \dots = A_n \Leftrightarrow A_1 \subseteq A_2 \subseteq \dots \subseteq A_n \subseteq A_1$ .

13. "Paradoksiya" mamlakatida ushbu farmon e'lon qilindi: "Mamlakatdagi barcha shaharlar hokimlari o'zлari hokimlik qilayotgan shaharlarda yashashlari taqiqlanadi, ular maxsus hokimlar shahrda yashashlari shart". Shu farmonga ko'ra hokimlar shahrining hokimi qayerda yashashi lozim? Bu savolga javob berishga urinib ko'ring.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. To'plamlar nazariyasining asoschilari kimlar hisoblanadi?
2. Nega to'plam tushunchasiga ta'rif berilmaydi?
3. Chekli va cheksiz to'plamlar bir-biridan qanday farqlanadi?
4. To'plamlarni belgilashda qaysi usullardan foydalilanadi?
5. Rassel paradoksini bilasizmi?
6. To'plamlar aksiomatik nazariyasining mohiyati nimadan iborat?
7. Hajmiylik aksiomasi nimadan iborat?
8. Bo'sh to'plam aksiomasi qanday ifodalanadi?
9. Juftlik aksiomasi nimani bildiradi?
10. Tanlash aksiomasi qanday ifodalanadi?
11. Hajmiylik aksiomasini qanday tatbiq qilish mumkin?
12. Qaysi holda ikkita to'plam teng bo'ladi?
13. Chekli to'plamning quvvati deganda nima tushiniladi?
14. Xos va xosmas qism to'plamlarning bir-biridan farqi nimada?
15. O'zaro ekvivalent tasdiqlar deganda nimani tushunasiz?

### **1.2. To'plamlar ustida amallar**

*To 'plam. To 'plamlarning birlashmasi, kesishmasi va ayirmasi. To 'ldiruvchi va universal to 'plamlar. O'zaro kesishadigan va kesishmaydigan to 'plamlar. Universal to 'plam. Bulean.*

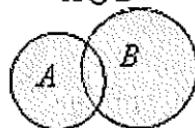
**1.2.1. To'plamlarning birlashmasi.** To'plamlar ustida turli amallar bajarish mumkin. Avvalo to'plamlarning birlashmasi amalini qarab chiqamiz.

**1- ta'rif.** *Har qanday ikkita to'plamning barcha elementlaridan, ularni takrorlamasdan, tuzilgan to'plamga shu to'plamlarning birlashmasi (yoki yig'indisi) deb ataladi.*

Bu ta'rifdan ko'rinishib turibdiki, to'plamlarning umumiy elementlari shu to'plamlarning birlashmasiga faqat bir martadan kiritiladi. Berilgan to'plamlarning birlashmasidagi har qanday element shu to'plamlarning

$$A \cup B$$

hech bo'lmaganda bittasiga tegishlidir.  $A$  va  $B$  to'plamlarning birlashmasi  $A \cup B$  kabi bel-gilanadi. Bu yerda " $A$  va  $B$  to'plamlarga birlashma amalini qo'llab (yoki  $A$  va  $B$  to'plamlar ustida birlashma amalini bajarib),  $A \cup B$  to'plam hosil qilindi" deyish mumkin.



1- shakl

1- shaklda  $A$  va  $B$  to'plamlar doiralar ko'rinishida,  $A \cup B$  to'plam esa bo'yab tasvirlangan.

**1- misol.** Agar  $A = \{a, b\}$ ,  $B = \{a, b, c\}$ ,  $C = \{e, f, k\}$  bo'lsa, u holda  $E = A \cup B = \{a, b, c\}$ ,  $E \cup C = \{a, b, c, e, f, k\}$ ,  $C \cup B = \{a, b, c, e, f, k\}$ ,  $A \cup C = \{a, b, e, f, k\}$  bo'ladi. ■

**2- misol.** O'zbekiston Respublikasining yoshi 16dan 25gacha bo'lgan fuqarolari to'plamini  $A$  bilan, yoshi 21dan 30gacha bo'lgan fuqarolari to'plamini esa  $B$  bilan belgilasak,  $A$  va  $B$  to'plamlarning  $A \cup B$  birlashmasi O'zbekiston Respublikasining yoshi 16dan 30gacha bo'lgan fuqarolari to'plamini tashkil etadi. ■

**3- misol.**  $N \cup R = R$ . ■

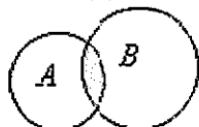
Shuni ta'kidlash kerakki, to'plamlar bilan bog'liq tushunchalar va ular ustidagi amallar, mos ravishda, sonlar bilan bog'liq tushunchalar va oddiy arifmetik amallar bilan qiyoslanadi. Jumladan, to'plamlar yig'indisini (birlashmasini) topish amali sonlarni qo'shish amali bilan qiyoslanadi. Bunday qiyoslashlar, ko'pincha, bir-biriga o'xshash natijalarning mavjudligini ko'rsatadi, ba'zan esa ular to'plamlarning farqli xususiyatlarga egaligini namoyon etadi. Masalan, ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun  $A \subseteq B$  bo'lsa, u holda  $A \cup B = B$  va  $B \cup A = B$  bo'ladi, lekin, ixtiyoriy  $a$  va  $b$  sonlar uchun  $a \leq b$  bo'lgan holda  $a + b = b$  va  $b + a = b$  tengliklar bajarilmasligi mumkin, ular faqat  $a = 0$  bo'lsagina o'rnilidir.

**1.2.2. To'plamlarning kesishmasi.** Endi to'plamlarning kesishmasi amalini o'rganamiz.

**2- ta'rif.** Har qanday ikkita to'plamning barcha umumiy elementlaridan tuzilgan to'plamga to'plamlarning kesishmasi (yoki ko'paytmasi) deyiladi.

Berilgan  $A$  va  $B$  to'plamlarning kesishmasi  $A \cap B$  kabi belgilanadi. Bu yerda " $A$  va  $B$  to'plamlarga kesishma amalini qo'llab,  $A \cap B$  to'plam hosil qilindi" deyish mumkin. 2- shaklda  $A$  va  $B$  to'plamlar doiralar ko'rinishida,  $A \cap B$  to'plam esa bo'yab tasvirlangan. To'plamlar ustidagi

$$A \cap B$$



2- shakl

amallarning yuqorida ta'kidlangan o'ziga xos xususiyatlari to'plamlar ko'paytmasini (kesishmasini) topishda ham namoyon bo'ladi.

Masalan,  $A \cap B = A$  va  $B \cap A = A$  bo'ladi.

Bitta ham umumiy elementga ega bo'lмаган иккита то'плamlarning kesishmasi bo'sh to'plam bo'lishi tabiiydir.

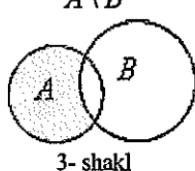
**3- ta'rif.** *Kesishmasi bo'sh bo'lgan to'plamlar o'zaro kesishmaydigan, kesishmasi bo'sh bo'lмаган to'plamlar esa o'zaro kesishadigan to'plamlar deb ataladi.*

**4- misol.**  $A = \{a, b, c\}$ ,  $B = \{a, b, c, d\}$ ,  $C = \{e, f, k\}$  bo'lsa, u holda  $D = A \cap B = \{a, b, c\}$ ,  $D \cap C = \emptyset$ ,  $A \cap C = \emptyset$ ,  $B \cap C = \emptyset$ ,  $D \cap B = \{a, b, c\}$  bo'ladi. ■

**5- misol.** 2- misolda aniqlangan  $A$  va  $B$  to'plamlarga kesishma amalini qo'llasak, O'zbekiston Respublikasining yoshi 21dan 25gacha bo'lgan fuqarolari to'plami ( $A \cap B$  to'plam) hosil bo'ladi. Bu yerda  $A$  va  $B$  to'plamlar o'zaro kesishadigan to'plamlardir. ■

**6- misol.**  $N \cap R = N$ . ■

**7- misol.** Butun dunyoda 2005- yilda tug'ilgan bolalar to'plamini  $T_5$  bilan, 2006-yilda tug'ilgan bolalar to'plamini esa  $T_6$  bilan belgilasak, u holda  $T_5 \cap T_6 = \emptyset$  bo'ladi. Demak,  $T_5$  va  $T_6$  to'plamlar o'zaro kesishmaydigan to'plamlardir. ■



3- shakl

**1.2.3. To'plamlarning ayirmasi.** Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar berilgan bo'lsin.

**4- ta'rif.** *A to'plamning B to'plamda bo'lмаган барча elementlaridan tuziladigan to'plamni hosil qilish A to'plamdan B to'plamni ayirish deb, tuzilgan to'plam esa, shu A va B to'plamlarning ayirmasi deb ataladi.*

$A$  to'plamdan  $B$  to'plamni ayirish natijasida hosil bo'lgan to'plam, ya'ni  $A$  va  $B$  to'plamlarning ayirmasi  $A \setminus B$  yoki  $A - B$  ko'rinishida belgilanadi. Bu yerda " $A$  to'plamdan  $B$  to'plamni ayirish amalini qo'llab,  $A \setminus B$  to'plam hosil qilindi" deyish mumkin. 3- shaklda  $A$  va  $B$  to'plamlar doiralar ko'rinishida,  $A \setminus B$  to'plam esa bo'yab tasvirlangan.

Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun  $A \cap B = \emptyset$  bo'lsa, u holda  $A \setminus B = \emptyset$  va  $B \setminus A = \emptyset$  bo'lishi ta'rifdan bevosita kelib chiqadi.

**8- misol.** 1- misoldagidek,  $A = \{a, b\}$ ,  $B = \{a, b, c\}$ ,  $C = \{e, f, k\}$  bo'lsa, u holda  $A \setminus B = \emptyset$ ,  $B \setminus A = \{c\}$ ,  $B \setminus C = \emptyset$  bo'ladi. ■

**9- misol.**  $A$  va  $B$  to‘plamlar 2- misoldagidek aniqlangan bo‘lsin. U holda,  $A$  to‘plamdan  $B$  to‘plamning ayirmasi  $A \setminus B$  O‘zbekiston Respublikasidagi yoshi 16 dan 21gacha bo‘lgan fuqarolari to‘plamini,  $B$  to‘plamdan  $A$  to‘plamning ayirmasi  $B \setminus A$  esa O‘zbekiston Respublikasining yoshi 25dan 30gacha bo‘lgan fuqarolari to‘plamini anglatadi. ■

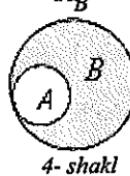
**10- misol.**  $R \setminus N$  ayirma tarkibida natural sonlar qatnashmagan barcha haqiqiy sonlar to‘plamidan iboratdir va  $N \setminus R = \emptyset$ . ■

**1.2.4. To‘ldiruvchi to‘plam.** Faraz qilaylik,  $A$  va  $B$  to‘plamlar berilgan va  $A \subseteq B$  bo‘lsin.

**5- ta’rif.**  $B$  to‘planning  $A$  to‘plamga kirmagan barcha elementlaridan tuzilgan  $B \setminus A$  to‘plam  $A$  to‘plamning  $B$  to‘plamgacha to‘ldiruvchi to‘plami deb ataladi.

$A$  to‘planning  $B$  to‘plamgacha to‘ldiruvchi to‘plami, odatda,  $\overline{A}_B$  ko‘rinishda belgilanadi. Bu yerda “ $A_B$  to‘plam  $A$  to‘plamni  $B$  to‘plamgacha to‘ldiradi” yoki “ $A$  to‘plamni  $B$  to‘plamgacha to‘ldirish amalini qo‘llab,  $A_B$  to‘plam hosil qilindi” deyish mumkin. 4-shaklda  $A$  to‘plam kichik doira,  $B$  to‘plam katta doira ko‘rinishida,  $A_B$  to‘plam esa bo‘yab tasvirlangan.

To‘plamlar ustidagi yuqorida keltirilgan birlashma, kesishma va to‘ldiruvchi to‘plam tushunchalari ta’riflarini bevosita qo‘llab,  $A \cup A_B = B$ ,  $A \cap \overline{A}_B = \emptyset$ ,  $A \setminus A_B = A$  va  $A_B \setminus A = A_B$  tengliklarni hosil qilish qiyin emas.



4- shakl

**11- misol.** Barcha juft sonlar to‘plamini  $A = \{2, 4, \dots, 2n, \dots\}$  ( $n \in N$ ) deb belgilasak,  $A$  to‘plamni  $N$  to‘plamgacha to‘ldirish amalini qo‘llab  $A_N = \{1, 3, \dots, 2n-1, \dots\}$  to‘plamni, ya‘ni barcha toq sonlar to‘plamini hosil qilamiz. Demak, barcha toq sonlar to‘plami barcha juft sonlar to‘plamini natural sonlar to‘plamigacha to‘ldiradi. Xuddi shunga o‘xshash, barcha toq sonlar to‘plamini natural sonlar to‘plamigacha to‘l-dirish amalini qo‘llab, barcha juft sonlar to‘plamini hosil qilish mumkin. ■

**1.2.5. Universal to‘plam va bulean<sup>1</sup> tushunchalari.** To‘plamlar nazariyasida universal to‘plam va bulean tushunchalari muhim tushunchalar hisoblanadi. Odatda, to‘plamlar orasidagi turli munosabatlarni hisobga olishga to‘g‘ri keladi. Masalan, qaralayotgan to‘plamlarning barchasi qandaydir boshqa bir to‘plamning qism to‘plami bo‘lishi mumkin.

**6- ta’rif.** Qaralayotgan barcha to‘plamlarni o‘zida qism to‘plam sifatida saqlovchi to‘plamga universal to‘plam deb ataladi.

<sup>1</sup> Bu ibora ingliz matematigi va mantiqchisi Jorj Bul (George Boole, 1815-1864) sharafiga shunday nomlangan.

Universal to'plam, odatda,  $U$  deb belgilanadi. Universal to'plamni universum deb ham atashadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, universal to'plam tushunchasiga boshqacha ta'riflar ham berilishi mumkin, masalan, biror to'plamning xos qismi deb qaralmagan to'plam universal to'plam deb ataladi. Bundan tashqari, universal to'plam tushunchasi nisbiy tushunchadir. Masalan, O'zbekiston sharoitida aholi bilan bog'liq qandaydir masala qaralayotgan bo'lsa, O'zbekiston aholisi to'plamini universal to'plam deb qarash mumkin. O'z navbatida, O'zbekiston aholisi to'plami dunyo aholisi to'plamining qism to'plamidir.

Universal to'planning ta'rifiga binoan, uning hamma qism to'plamlari orasida ikkita xosmas qismi bor: biri universal to'planning o'zi, ikkinchisi esa bo'sh to'plam. Tabiiyki, universal to'planning bu ikki xosmas qismlaridan boshqa barcha qism to'plamlari uning xos qism to'plamlaridir.

Ko'pincha, berilgan " $A$  to'planning universal to'plamgacha to'ldiruvchisi" deyish o'miga, qisqa qilib, berilgan " $A$  to'plamning to'ldiruvchisi" deb aytildi va  $A$  ko'rinishda belgilanadi. Bu yerda " $A$  to'plam  $A$  to'plamni to'ldiradi" yoki " $A$  to'plam  $A$  to'plamdan to'ldirish amalini qo'llab hosil qilindi" deyish mumkin.

7- ta'rif. Berilgan  $A$  to'planning barcha qism to'plamlaridan tuzilgan to'plam  $A$  to'plamning buleani ( $A$  to'plam uchun bulean) deb ataladi.

$A$  to'plamning buleani  $2^A$  ko'rinishda belgilanadi<sup>1</sup>.

12- misol. To'rtta elementga ega  $A = \{a, b, c, d\}$  to'plam uchun  $2^A$  bulean o'n oltila element-to'plamlardan iborat bo'ladi:

$$2^A = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{c\}, \{d\}, \{a, b\}, \{a, c\}, \{a, d\}, \{b, c\}, \{b, d\}, \{c, d\}, \\ \{a, b, c\}, \{a, b, d\}, \{a, c, d\}, \{b, c, d\}, \{a, b, c, d\}\}.$$

Ravshanki,  $|A| = 4$  va  $|2^A| = 16$ . ■

### Muammoli masala va topshiriqlar

1. Berilgan  $A = \{a, b, c\}$ ,  $B = \{d, e, f, g\}$  va  $C = \{a, f, g, k, c\}$  to'plamlardan har ikkitasining kesishmasi, birlashmasi va ayirmalarini toping.

2. Markazlari bitta nuqtada joylashgan hamda radiuslari 1 va 3ga teng doiralar nuqtalaridan iborat to'plamlarning kesishmasi, birlashmasi va ayirmalarini toping.

3. To'plamlarning ayirmasi amali bilan bog'liq masala o'ylab toping va uni hal qiling.

<sup>1</sup> Bunday belgilashni izohlovchi ma'lumotlar II bobning 1- paragrafida keltiriladi.

4. Ushbu amallar natijalarini aniqlang:  $\emptyset \cap \{\emptyset\}$ ,  $\{\emptyset\} \cap \{\emptyset\}$ ,  $\{\emptyset\} \cup \{\emptyset\}$ ,  $\{\emptyset, \{\emptyset\}\} - \{\emptyset\}$ ,  $\{\emptyset, \{\emptyset\}\} - \emptyset$ ,  $\{\emptyset, \{\emptyset\}\} - \{\{\emptyset\}\}$ .

5. Ixtiyoriy  $A$  to'plam uchun  $A \cup \emptyset$ ,  $A \cap \emptyset$ ,  $A - \emptyset$ ,  $A - A$ ,  $\emptyset - A$  to'plamlarni aniqlang.

6.  $A - B = B - A$  tenglik o'rinni bo'ladigan  $A$  va  $B$  to'plamlarga misollar keltiring.

7. O'zaro kesishmaydigan to'plamlar bilan bog'liq masala o'ylab toping va uni hal qiling.

8. O'zaro kesishadigan to'plamlar bilan bog'liq masala o'ylab toping va uni hal qiling.

9. Ixtiyoriy  $A$  to'plam uchun  $A \cup \bar{A} = \bar{A} \cup A = U$  bo'lishini ko'rsating.

10. Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun quyidagi tasdiqlarning o'rinni bo'lishini ko'rsating:

a)  $A \setminus B = \emptyset \Rightarrow A \subseteq B$ ;

b)  $A \subseteq B \Rightarrow A \setminus B = \emptyset$  – a) tasdiqqa teskari tasdiq;

d)  $A \setminus B = B \setminus A = \emptyset \Rightarrow A = B$ ;

e)  $A = B \Rightarrow A \setminus B = B \setminus A = \emptyset$  – d) tasdiqqa teskari tasdiq;

f)  $A \setminus B = A \cap B$ , ya'ni ayirish amali kesishma va to'ldirish amallari yordamida ifodalanishi mumkin;

g)  $\emptyset \subseteq A \cap B \subseteq A \cup B$ ; h)  $\overline{A \setminus B} = \bar{A} \cup B$ .

11. Chekli  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun  $|A|$ ,  $|B|$ ,  $|A \cup B|$  va  $|A \cap B|$  sonlar orasidagi bog'lanishni toping.

12. Ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlar uchun quyidagi tasdiqlarni isbotlang:

a)  $A \cup B \subseteq C \Rightarrow (A \subseteq C \text{ va } B \subseteq C)$ ;

b)  $(A \subseteq C \text{ va } B \subseteq C) \Rightarrow A \cup B \subseteq C$  – a)ga teskari tasdiq;

d)  $A \subseteq B \cap C \Rightarrow (A \subseteq B \text{ va } A \subseteq C)$ ;

e)  $(A \subseteq B \text{ va } A \subseteq C) \Rightarrow A \subseteq B \cap C$  – d)ga teskari tasdiq;

f)  $A \subseteq B \Rightarrow A \cup C \subseteq B \cup C$ ; g)  $A \subseteq B \Rightarrow A \cap C \subseteq B \cap C$ ;

h)  $A \subseteq B \Rightarrow A \setminus C \subseteq B \setminus C$ ; i)  $A \subseteq B \Rightarrow C \setminus B \subseteq C \setminus A$ .

13. 12- topshiriqning f), g), h) va i) bandlaridagi tasdiqlarga teskari tasdiqlarni tahlil qiling va ular bajarilmaydigan hollarda  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlarga misol keltiring.

14. Ixtiyoriy  $a$ ,  $b$  va  $c$  sonlar uchun to'g'ri bo'lgan  $a \leq b \Leftrightarrow a + c \leq b + c$ ,  $a \leq b \Leftrightarrow a - c \leq b - c$  va  $a \leq b \Leftrightarrow c - b \leq c - a$  munosabatlardagi  $a$ ,  $b$  va  $c$  sonlarni  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlar bilan, " $\leq$ ", "+" va " $-$ " belgilarni " $\subseteq$ ", " $\cup$ " va " $\setminus$ " belgililar bilan mos ravishda almashtirib, hosil bo'lgan munosabatlarning to'g'riligini tahlil qiling.

15.  $B = \{x \in N \mid x \text{ 3ga bo'linadi}\}$  bo'lsin.  $N$  to'plamni universal to'plam deb hisoblab,  $\overline{B}$  to'plamni toping.

16. Natural, butun, haqiqiy va irratsional sonlar to'plamlari bilan bog'liq universal to'plamlarga misollar keltiring.

17.  $A = \{a, b, c, d, e\}$  to'plam uchun  $2^A$  buleanni aniqlang.

18. Bir uyda yashovchi oilada ota ( $t$ ), ona ( $n$ ) va to'rt nafar farzand (1,2,3,4) bo'lsa, oila a'zolarining uyda bo'lishlari vaziyatlariga mos barcha imkoniyatlarni to'plamlar ko'rinishida yozing va bu imkoniyatlar to'plamlari to'plamining quvvatini aniqlang.

19. Universal to'plam va bulean tushunchalari bilan bog'liq masalalar o'ylab toping va ularni hal qiling.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. To'plamlarning birlashmasi qanday amalga oshiriladi?
2. Qanday to'plamga to'plamlarning kesishmasi deb aytildi?
3. O'zaro kesishmaydigan to'plamlar deganda nimani tushunasiz?
4. Qanday to'plamlarga o'zaro kesishadigan to'plamlar deb aytildi?
5. To'plamlarning ayirmasi nima?
6.  $A$  to'plamni  $B$  to'plamgacha to'ldiruvchi to'plam deganda nimani tushunasiz?
7. Qanday to'plamga universal to'plam deb aytildi?
8. Bulean deganda nimani tushunasiz?

### **1.3. To'plamlar algebrasi**

*To'plam. Element. Algebra. Idempotentlik. Kommutativlik. Assotsiativlik.*

*Distributivlik. De Morgan va yutilish qonunlari. Ikki taraflama tenglik.*

*O'zaro ikki taraflama tengliklar.*

**1.3.1. Asosiy qonunlar.** To'plamlar algebrasida, umuman olganda, sonlar algebrasidagi munosabatlarga o'xshash munosabatlar qaraladi. To'plamlar algebrasidagi munosabatlar universal to'plamning va uning xos qism to'plamlarining qanday bo'lishidan qat'i nazar o'z kuchini saqlaydilar. Bu yerda, asosan, birlashma, kesishma, ayirma va to'ldirish amallari o'rtasidagi o'zaro munosabatlar muhim hisoblanadi.

To'plamlar nazariyasidagi munosabatlar, ko'pincha, tengliklar ko'rinishida namoyon bo'ladi. Bu yerda tengliklarni isbotlashda hajmiylik aksiomasidan foydalangan holda quyidagicha mulohaza yuritish usuli ko'p qo'llaniladi. Agar tenglikning chap tomonidagi to'plamga tegishli ixtiyor element u'ning o'ng tomonidagi to'plamda ham topilib va, aksincha, tenglikning o'ng tomonidagi to'plamga tegishli ixtiyor element uning

chap tomonidagi to'plamda ham bor bo'lsa, u holda bu tenglik to'g'ridir. Boshqacha aytganda, ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun  $A = B$  tenglikni isbotlash  $A \subseteq B$  va  $B \subseteq A$  munosabatlarning to'g'riligini ko'rsatishga tenguchlidir.

Ko'pincha, to'plamlar algebrasidagi " $\cup$ ", " $\cap$ " va " $\setminus$ " belgilar bilan ifodalanuvchi birlashma, kesishma va ayirma amallari, bo'sh ( $\emptyset$ ) va universal ( $U$ ) top'lamlar hamda xos ( $\subseteq$ ) va xosmas ( $\subset$ ) qism to'plamlar, mos ravishda, odatdagi algebraning "+", "x" va "-" belgilar bilan ifodalanuvchi qo'shish, ko'paytirish va ayirish amallari, nol (0) va bir (1) sonlar hamda katta emas ( $\leq$ ) va kichik ( $<$ ) munosabatlari bilan qiyoslanadi.

To'plamlar ustida munosabatlarni ifodalovchi asosiy tengliklarni qarab chiqamiz.

**1-teorema.** Universal to'plam  $U$  va uning ixtiyoriy qism to'plami  $A$  uchun quyidagi tengliklar o'rinnlidir:

1. (Nolning xossalari).  $A \cup \emptyset = A$ ,  $\emptyset \cup A = A$ ,  $A \cap \emptyset = \emptyset$ ,  $\emptyset \cap A = \emptyset$ .
2. (Birning xossalari).  $A \cap U = A$ ,  $U \cap A = A$ ,  $A \cup U = U$ ,  $U \cup A = U$ .
3. (Idempotentlik<sup>1</sup> qonuni).  $A \cup A = A$ ,  $A \cap A = A$ .
4. (Nol va birning bog'liqligi xossasi).  $\emptyset = U$ ,  $U = \emptyset$ .
5. (Involutivlik qonuni<sup>2</sup>).  $\overline{\overline{A}} = A$ .

**Isboti.** Bu tengliklarni isbotlash uchun, yuqorida ta'kidlaganamizdek, hajmiylik aksiomasidan foydalanamiz. Shuni e'tiborga olsak, isbotlanishi kerak bo'lgan barcha tengliklar to'plamlarning birlashmasi, kesishmasi va to'ldiruvchisi ta'riflaridan bevosita kelib chiqadi. Bu yerda faqat oxirgi tenglikning isbotini to'liq keltirish bilan chegaralanamiz.

$A$  to'plam  $U$  universal to'plamning ixtiyoriy qism to'plami va  $\overline{\overline{A}}$  to'plam  $A$  to'plamning to'ldiruvchisi bo'lgani uchun,  $\underline{A}$  to'plamning hech qaysi elementi  $\overline{\overline{A}}$  to'plamga tegishli emas. Demak,  $\overline{\overline{A}}$  to'plamning barcha elementlari  $A$  to'plamga tegishlidir, ya'ni  $\overline{\overline{A}} \subseteq A$ . Aksincha,  $\overline{\overline{A}}$  to'plamning hech qaysi elementi  $\underline{A}$  to'plamga tegishli emas, demak,  $\underline{A}$  to'plamning barcha elementlari  $\overline{\overline{A}}$  to'plamga tegishlidir, ya'ni  $\underline{A} \subseteq \overline{\overline{A}}$ . Shuning uchun,  $\overline{\overline{A}} = A$ . ■

**2-teorema** (birlashmaga nisbatan kommutativlik qonuni). Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun  $A \cup B = B \cup A$  tenglik o'rinnlidir.

**Isboti.** To'plamlarning birlashmasiga berilgan ta'rifga ko'ra,  $A \cup B$  to'plamning har bir elementi yo'q  $A$  to'plamda yoki  $B$  to'plamda topiladi,

<sup>1</sup> "Idempotens" so'zi lotinchadan olingan bo'lib, "idem" – shunday, "potens" – kuchli, ya'ni "o'sha kuchga ega" yoki "o'sha darajani saqlovchi" ma'nosini beradi.

<sup>2</sup> Bu qonunni falsafadagi "inkorni inkor qilish qonuni" bilan qiyoslash mumkin.

chunki  $A \cup B$  to'plam  $A$  va  $B$  to'plamlarning barcha elementlaridan takrorlanmasdan tuzilgan. Yana o'sha ta'rifga ko'ra,  $B \cup A$  to'plam ham  $A$  va  $B$  to'plamlarning barcha elementlaridan takrorlanmasdan tuzilganligi uchun  $A \cup B$  to'plamning har bir elementi  $B \cup A$  to'plamga ham tegishli bo'ladi. Xuddi shunday mulohazalarni  $B \cup A$  to'plam uchun yuritib, uning har bir elementi  $A \cup B$  to'plamda ham bor bo'lishini aniqlaymiz. Demak,  $A \cup B = B \cup A$ . ■

**3-teorema** (birlashmaga nisbatan assotsiativlik qonuni). Ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlar uchun  $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$  tenglik o'rindir.

**Ishboti.**  $(A \cup B) \cup C$  to'plamning ixtiyoriy elementi  $x$  bo'lsin. Birlashmaning ta'rifini qo'llasak, quyidagilarga ega bo'lamiz:  $x \in (A \cup B)$  yoki  $x \in C$ .  $x \in (A \cup B)$  munosabatdan  $x \in A$  yoki  $x \in B$  ekanligi kelib chiqadi. Demak,  $x \in A$  yoki  $x \in (B \cup C)$ . Shuning uchun  $x \in A \cup (B \cup C)$ . Xuddi shunday mulohaza yuritib,  $A \cup (B \cup C)$  to'plamning ixtiyoriy elementi  $(A \cup B) \cup C$  to'plamning ham elementi bo'lishini aniqlaymiz. Demak,  $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$ . ■

Birlashmaga nisbatan assotsiativlik qonuniga ko'ra  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlarga birlashma amalini qanday tartibda qo'llashning ahamiyati yo'q. Shuning uchun  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlarga birlashma amalini qo'llash natijasida hosil bo'lgan to'plamni  $A \cup B \cup C$  deb belgilash ham mumkin.

Ikkita to'plamning birlashmasi amaliga berilgan ta'rif ixtiyoriy chekli sondagi to'plamlarning birlashmasi uchun ham qo'llanilishi mumkin<sup>1</sup>: har qanday chekli sondagi to'plamlarning barcha elementlaridan takrorlanmasdan tuzilgan to'plamga shu to'plamlarning birlashmasi deb aytildi.

$A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlarning birlashmasini  $A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n$  yoki  $\bigcup_{i=1}^n A_i$  ko'rishda belgilash qabul qilingan.

Birlashmaga nisbatan kommutativlik qonuniga ko'ra,  $\bigcup_{i=1}^n A_i$  birlashma to'plamni quyidagi usul bilan ham tashkil etish mumkin. Oldin berilgan  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlardan ixtiyoriy ikkitasining, masalan  $A_{i_1}$  va  $A_{i_2}$  to'plamlarning birlashmasini tuzish, keyin  $A_{i_1} \cup A_{i_2}$  to'plam bilan  $A_{i_1}$ ,  $A_{i_2}$  to'plamlardan boshqa ixtiyoriy to'plamning birlashmasini tuzish, va hokazo, ketma-ket birlashma to'plamlarni tuzish natijasida  $A_1, A_2, \dots, A_n$

<sup>1</sup> Umuman olganda, birlashma va kesishma amallari binar (ikki o'rinali) amallar hisoblanadi.

to‘plamlarning  $\bigcup_{i=1}^n A_i$  birlashmasini hosil qilish mumkin. Har biri chekli

bo‘lgan  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to‘plamlar uchun  $\left| \bigcup_{i=1}^n A_i \right| \leq \sum_{i=1}^n |A_i|$  munosabat o‘rinlidir. Bu munosabat berilgan to‘plamlarning hech bo‘lmasganda ikkitasi umumiyl elementga ega bo‘lsagina qat’iy tengsizlik ko‘rinishda va berilgan to‘plamlarning barcha mumkin bo‘lgan juftlari umumiyl elementga ega bo‘lmasagina tenglik ko‘rinishda bajariladi. Bu tasdiqlar kombinatorikaga bag‘ishlangan II bobning 1- paragrafidagi 5- teoremadan kelib chiqadi.

**1- misol.**  $A = \{a, b\}$ ,  $B = \{a, b, c\}$ ,  $C = \{e, f, k\}$  va  $D = \{i, j\}$  bo‘lsin. U holda  $E = B \cup C \cup D = \{a, b, c, e, f, k, i, j\}$  va  $F = A \cup B \cup C \cup D = \{a, b, c, e, f, k, i, j\}$  bo‘ladi. Ko‘rinib turibdiki,  $E = F$ . Bu yerdagi barcha to‘plamlarning quvvatlarini aniqlaymiz:  $|A| = 2$ ,  $|B| = 3$ ,  $|C| = 3$ ,  $|D| = 2$ ,  $|E| = 8$  va  $|F| = 8$ . Ular uchun  $|E| = 8 < |A| + |B| + |C| + |D| = 10$  ( $A$  va  $B$  to‘plamlarda ikkita umumiyl  $a$  va  $b$  elementlar bor) va  $|F| = 8 = |B| + |C| + |D|$  ( $B$  bilan  $C$ ,  $C$  bilan  $D$  va  $B$  bilan  $D$  juftliklar umumiyl elementga ega emas). ■

**4- teorema** (kesishmaga nisbatan kommutativlik qonuni). Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to‘plamlar uchun  $A \cap B = B \cap A$  tenglik o‘rinlidir.

**I sboti.** To‘plamlarning kesishmasi ta’rifiga ko‘ra,  $A \cap B$  to‘plamning har bir elementi  $A$  va  $B$  to‘plamlarning ikkalasiga ham tegishli. Xuddi suningdek,  $B \cap A$  to‘plam  $A$  va  $B$  to‘plamlarning umumiyl elementlaridan tuzilganligi uchun  $A \cap B$  to‘plamning har bir elementi  $B \cap A$  to‘plamda ham topiladi. Shu kabi mulohazalar asosida  $B \cap A$  to‘plamning har bir elementi  $A \cap B$  to‘plamda ham bor bo‘lishini ko‘rish qiyin emas. Demak,  $A \cap B = B \cap A$ . ■

**5- teorema** (kesishmaga nisbatan assotsiativlik qonuni). Ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  to‘plamlar uchun  $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$  tenglik o‘rinlidir.

**I sboti.**  $(A \cap B) \cap C$  to‘plamning ixtiyoriy  $x$  elementini qaraymiz. To‘plamlar kesishmasining ta’rifiga asosan,  $x \in (A \cap B)$  va  $x \in C$ . Bu yerdan  $x \in A$ ,  $x \in B$  va  $x \in C$  ekanligi kelib chiqadi. Shuning uchun  $x \in A$  va  $x \in (B \cap C)$  bo‘ladi. Demak,  $x \in A \cap (B \cap C)$ . Xuddi shunga o‘xshash mulohaza yuritib,  $A \cap (B \cap C)$  to‘plamning ixtiyoriy elementi  $(A \cap B) \cap C$  to‘plamning ham elementi bo‘lishini ko‘rsatish qiyin emas. Demak,  $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$ . ■

Kesishmaga nisbatan assotsiativlik qonuniga ko'ra  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlarga kesishma amalini qanday tartibda qo'llashning ahamiyati yo'q. Shuning uchun  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlarning kesishmasini  $A \cap B \cap C$  deb belgilash ham mumkin.

Ikkita to'plamlarning kesishmasi tushunchasiga berilgan ta'rif ixtiyoriy chekli sondagi to'plamlarning kesishmasi uchun ham qo'llanilishi mumkin: har qanday chekli sondagi to'plamlarning barcha umumiylaridan tuzilgan to'plamga shu to'plamlarning kesishmasi deb aytiladi.  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlarning kesishmasi uchun  $A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n$  yoki  $\bigcap_{i=1}^n A_i$  ko'rinishdagi belgilash qabul qilingan.

Kesishmaga nisbatan kommutativlik qonuniga ko'ra,  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlarning  $\bigcap A_i$  kesishmasini ikkita to'plamlar kesishmasi amalini istalgan tartibda ketme-ket qo'llab hosil qilish mumkin: dastlab berilgan  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlardan ixtiyoriy ikkitasining, masalan  $A_1$  va  $A_2$  to'plamlarning kesishmasini tuzish, keyin  $A_1 \cap A_2$  to'plam bilan  $A_{i_1}$ ,  $A_{i_2}$  to'plamlardan boshqa ixtiyoriy to'plamning kesishmasini tuzish, va hokazo, shunday davom etib,  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlarning kesishmasini hosil qilish mumkin.

Chekli  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlar uchun  $\left| \bigcap_{i=1}^n A_i \right| \leq \min_{1 \leq i \leq n} |A_i|$  munosabat o'rinnlidir. Berilgan to'plamlardan birortasi qolgan barcha to'plamlarning qism to'plami bo'lsagina bu munosabatda tenglik o'rinnli bo'ladi. Bundan tashqari,  $\bigcap_{i=1}^n A_i$  to'plam berilgan barcha  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlarning xos qism to'plami bo'lsagina yuqoridagi munosabat qat'iy tengsizlik ko'rinishida bajariladi. Kombinatorikaga oid tushunchalar yordamida  $\bigcap_{i=1}^n A_i$  to'plamning quvvatini hisoblash formulasi II bobning 1- paragrafidagi 7-teoremada keltiriladi.

**2- misol.**  $A = \{a, b, c\}$ ,  $B = \{a, b, c, d\}$ ,  $C = \{e, f, g\}$  bo'lsa, u holda  $A \cap B = \{a, b, c\}$ ,  $A \cap B \cap C = \emptyset$ ,  $A \cap C = \emptyset$ ,  $B \cap C = \emptyset$  bo'ladi. Osonlik bilan ko'rish mumkinki,  $|A \cap B| = 3 = \min\{|A|, |B|\}$ , chunki  $|A| = 3$ ,  $|B| = 4$  va  $A \subset B$ . Bundan tashqari,  $|A \cap B \cap C| = |\emptyset| = 0 < \min\{|A|, |B|, |C|\} = 3$ . ■

**3- misol.** Eramizning  $i$ - yilida butun dunyoda tug'ilgan bolalar to'plamini  $T_i$  bilan va  $n$  bilan  $n \geq 2$  shartni qanoatlantiruvchi natural

sonni belgilasak, u holda  $\bigcap_{i=2001}^{2000+n} T_i = \emptyset$  bo'ladi. ■

**6- teorema** (birlashmaga nisbatan distributivlik qonuni). *Ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlar uchun  $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$  tenglik o'rinnlidir.*

**I sboti.**  $A \cup (B \cap C)$  to'plamning ixtiyoriy  $x$  elementini qaraymiz. Birlashmaning ta'rifiga ko'ra  $x \in A$  yoki  $x \in (B \cap C)$  bo'ladi. Kesishmaning ta'rifiga ko'ra  $x \in (B \cap C)$  munosabatdan  $x \in B$  va  $x \in C$  ekanligi kelib chiqadi. Shuning uchun  $x \in A$  yoki  $x \in B$  va (shu bilan birga)  $x \in C$ . Birlashmaning ta'rifiga asosan  $x \in (A \cup B)$  va  $x \in (A \cup C)$ . Demak, kesishmaning ta'rifiga ko'ra,  $x \in (A \cup B) \cap (A \cup C)$  bo'lishi kelib chiqadi.

Endi  $(A \cup B) \cap (A \cup C)$  to'plamning ixtiyoriy  $x$  elementini qaraymiz.

Kesishmaning ta'rifiga ko'ra  $x \in (A \cup B)$  va  $x \in (A \cup C)$  bo'ladi. U holda, birlashmaning ta'rifiga asosan,  $x \in A$  yoki  $x \in B$  va (shu bilan birga)  $x \in A$  yoki  $x \in C$  bo'lishi kelib chiqadi. Demak,  $x \in A$  yoki  $x$  element  $B$  va  $C$  to'plamlarga tegishlidir. Shuning uchun, kesishmaning ta'rifiga ko'ra,  $x \in A$  yoki  $x \in (B \cap C)$ . Birlashmaning ta'rifiga asosan  $x \in A \cup (B \cap C)$  bo'ladi. ■

Zarur mulohazalar yuritib, birlashmaga nisbatan distributivlik qonunini quyidagicha umumlashtirish mumkin.

*Ixtiyoriy  $A, B_1, B_2, \dots, B_n$  to'plamlar uchun  $A \cup (B_1 \cap B_2 \cap \dots \cap B_n) = (A \cup B_1) \cap (A \cup B_2) \cap \dots \cap (A \cup B_n)$  tenglik o'rinnlidir.*

**7- teorema** (kesishmaga nisbatan distributivlik qonuni). *Ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  to'plamlar uchun  $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$  tenglik<sup>1</sup> o'rinnlidir.*

**I sboti.**  $A \cap (B \cup C)$  to'plamning ixtiyoriy elementi  $x$  bo'lsin. U holda, kesishmaning ta'rifiga asosan,  $x \in A$  va  $x \in B \cup C$  bo'ladi. Birlashmaning ta'rifiga ko'ra  $x \in B \cup C$  munosabatdan  $x \in B$  yoki  $x \in C$  ekanligi kelib chiqadi. Demak,  $x \in A$  va  $x \in B$  yoki  $x \in A$  va  $x \in C$ . Bu yerdan esa  $x \in (A \cap B)$  yoki  $x \in (A \cap C)$  ekanligi kelib chiqadi. Birlashmaning ta'rifiga ko'ra oxirgi mulohazadan  $x \in (A \cap B) \cup (A \cap C)$  bo'lishini aniqlaymiz.

<sup>1</sup> Bu tenglik kesishmaga nisbatan taqsimot qonuni deb ham yuritiladi.

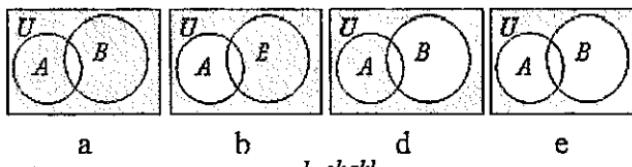
Endi  $(A \cap B) \cup (A \cap C)$  to'plamning ixtiyoriy elementi  $x$  bo'lsin. Birlashmaning ta'rifiga ko'ra  $x \in (A \cap B)$  yoki  $x \in (A \cap C)$  bo'ladi. Bu yerdan, kesishmaning ta'rifiga asosan,  $x \in A$  va  $x \in B$  yoki  $x \in A$  va  $x \in C$  bo'lishi kelib chiqadi.

Demak,  $x \in A$  va (shu bilan birga)  $x \in B$  yoki  $x \in C$ . Shuning uchun,  $x \in A$  va (birlashmaning ta'rifiga ko'ra)  $x \in (B \cup C)$ . Bu yerdan, kesishmaning ta'rifiga asosan,  $x \in A \cap (B \cup C)$ . ■

Zarur mulohazalar yuritib kesishmaga nisbatan distributivlik qonunini quyidagicha umumlashtirish mumkin:

*Ixtiyoriy  $A, B_1, B_2, \dots, B_n$  to'plamlar uchun  $A \cap (B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup B_n) = (A \cap B_1) \cup (A \cap B_2) \cup \dots \cup (A \cap B_n)$  tenglik o'rnlidir.*

**8- teorema.**  $U$  universal to'plamning ixtiyoriy  $A$  va  $B$  qism to'plamlari uchun  $A \cap B = \overline{A} \cup \overline{B}$  tenglik o'rnlidir.



I-shakl

**Isboti.**  $A$  va  $B$  to'plamlar  $U$  universal to'plamning ixtiyoriy qism to'plamlari bo'lsin. Teoremani isbotlashda 1- shakldan foydalananiz. Shaklda  $U$  universal to'plam to'g'ri to'rtburchak ko'rinishda,  $A$  va  $B$  to'plamlar esa doiralar sifatida tasvirlangan. 1-a shakldagi  $U$  to'plamning bo'yalmagan qismi  $A \cap B$  to'plamga, bo'yalgan qismi esa  $A \cap B$  to'plamga mos keladi.

$A \cap B$  to'plamning ixtiyoriy elementini  $x$  bilan belgilaymiz. To'l-diruvchi to'plamning ta'rifiga ko'ra,  $x \in U$  va  $x \notin A \cap B$ , ya'ni  $U$  to'plamning  $x$  elementi, bir vaqtning o'zida, ham  $A$  to'plamning, ham  $B$  to'plamning elementi bo'la olmaydi. Bu yerda uchta hol bor:

- 1)  $x \notin A$  (1-b shakl);
- 2)  $x \notin B$  (1-d shakl);
- 3)  $x \notin A$  va  $x \notin B$  (1-e shakl).

1) holda  $x \in A$ , 2) holda  $x \in \overline{B}$ , 3) holda esa  $x \in \overline{A}$  va  $x \in \overline{B}$  bo'ladi. Birlashmaning ta'rifiga ko'ra  $x \in A \cup B$ .

Endi  $A \cup B$  to'plamning ixtiyoriy elementi  $x$  bo'lsin. Bu holda  $x \in A$  yoki  $x \in B$ . Bu natijadan  $x \notin A$  yoki  $x \notin B$  bo'lishi kelib chiqadi. Shuning uchun  $x \in U$  va  $x \notin A \cap B$ . Demak,  $x \in A \cap B$ . ■

**9- teorema.**  $U$  universal to'plamning ixtiyoriy  $A$  va  $B$  qism to'plamlari uchun  $A \cup B = A \cap B$  tenglik o'rnlidir.

**I s b o t i.**  $A$  va  $B$  to'plamlar  $U$  universal to'plamning ixtiyoriy qism to'plamlari bo'lzin.  $A \cup B$  to'plamning ixtiyoriy elementini  $x$  bilan belgilaymiz.  $x$  element 1-e shaklda to'g'ri to'rburchakning bo'yalgan qismida yotadi.  $x \in A \cup B$  munosabatdan  $x \in U$  va  $x \notin A \cup B$  bo'lishi kelib chiqadi.  $x \notin A \cup B$  munosabat va birlashmaning ta'rifiga asosan,  $x$  element  $A$  to'plamga ham (1-b shaklga qarang),  $B$  to'plamga ham (1-d shaklga qarang) tegishli emas, ya'ni  $x \in U$ ,  $x \in A$  va  $x \in B$ . Bu yerdan  $x \in A$  va  $x \in B$  munosabatlar o'rinnligini topamiz. Shunday qilib, kesishmaning ta'rifiga asosan,  $x \in A \cap B$ .

Endi  $A \cap B$  to'plamning ixtiyoriy elementi  $x$  bo'lzin. Bu holda, kesishmaning ta'rifiga binoan,  $x \in A$  va  $x \in B$  bo'ladi. Bu yerdan, to'ldiruvchi to'plamning ta'rifiga ko'ra,  $x \in A$  va  $x \in B$  bo'lishini topamiz. Demak, qaralayotgan  $x$  element bir vaqtning o'zida  $A$  to'plamga ham,  $B$  to'plamga ham tegishli emas. Shuning uchun, birlashmaning ta'rifiga ko'ra,  $x \notin A \cup B$  bo'ladi. Shunday qilib, to'ldiruvchi to'plamning ta'rifiga asosan,  $x \in A \cap B$ . ■ Yugorida isbotlangan 8- va 9- teoremalardagi  $A \cap B = A \cup B$  va  $A \cup B = A \cap B$  tengliklar de Morgan qonunlari deb yuritiladi.

**10-teorema.** Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun  $A \cup (A \cap B) = A$  tenglik o'rinnlidir.

**I s b o t i.** Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar  $U$  universal to'plamning qism to'plamlari bo'lzin.  $A \cap U = A$  bo'lgani uchun 1- teoremaga (1-bandiga qarang) asosan  $A \cup (A \cap B) = (A \cap U) \cup (A \cap B)$  munosabat o'rinnlidir. Oxirgi tenglikning o'ng tomonidagi ifoda uchun kesishmaga nisbatan distributivlik qonunini qo'l-lab, uni  $A \cup (A \cap B) = A \cap (U \cup B)$  ko'rinishga keltiramiz. Endi  $U \cup B = U$  va  $A \cap U = A$  tengliklarni e'tiborga olsak,  $A \cup (A \cap B) = A \cap (U \cup B) = A \cap U = A$  kelib chiqadi. ■

**11- teorema.** Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun  $A \cap (A \cup B) = A$  tenglik o'rinnlidir.

**I s b o t i.** Avvalo kesishmaga nisbatan distributivlik qonunini, keyin esa idempotentlik qonunini qo'llasak, isbotlanishi kerak bo'lgan tenglikning chap tomoni uchun  $A \cap (A \cup B) = (A \cap A) \cup (A \cap B) = A \cup (A \cap B)$  munosabatlar o'rinnli bo'lishini aniqlaymiz. 10- teoremaga asosan  $A \cap (A \cup B) = A \cup (A \cap B) = A$ . ■



Ogastes (Avgustus)  
de Morgan

10- va 11- teoremlarda isbotlangan  $A \cup (A \cap B) = A$  va  $A \cap (A \cup B) = A$  tengliklar yutilish qonunlari deb yuritiladi.

Yuqorida isbotlangan teoremlarda keltirilgan tengliklar tahlil qilinganda ularning ba'zi xususiyatlarini payqash mumkin. Masalan, 6- va 7-, 8- va 9- hamda 10- va 11- teoremlardagi tengliklarning biri ikkinchisidan  $\cup$  va  $\cap$  belgilarni o'zaro almashtirish yordamida hosil qilinishi mumkin. Xuddi shunday, nolning xossalari bilan birning xossalari to'g'risida ham quyidagilarni aytish mumkin: bu xossalarni ifodalovchi tengliklarning biri ikkinchisidan  $\cup$  va  $\cap$  belgilarni hamda  $\emptyset$  va  $U$  belgilarni o'zaro almashtirish natijasida kelib chiqadi.

To'plamlar algebrasida agar biror tenglikdan shu tenglikdagi (bor bo'lsa)  $\cup$  belgisini  $\cap$  belgisiga,  $\cap$  ni  $\cup$  ga,  $\emptyset$  ni  $U$  ga,  $U$  ni  $\emptyset$  ga bordaniga almashtirish natijasida boshqa tenglikni hosil qilish mumkin bo'lsa, u holda hosil qilingan tenglik dastlabki tenglikka ikki taraflama (qo'shma) tenglik deb yuritiladi.

Ravshanki, biror tenglikka ikki taraflama hisoblangan tenglik uchun ikki taraflama tenglik dastlabki tenglik bilan bir xil bo'ladi. Shuning uchun bu tengliklar o'zaro ikki taraflama (qo'shma) tengliklar deb nomlanadi. Masalan, nolning xossasini ifodalovchi  $A \cup \emptyset = A$  va birning xossasini ifodalovchi  $A \cap U = A$  tengliklar o'zaro ikki taraflama (qo'shma) tengliklardir.

**1.3.2. Ekvivalent tasdiqlar.** To'plamlar algebrasining asosiy qonunlariga qo'shimcha quyidagi teoremani keltiramiz.

**12- teorema.** *Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun quyidagi tasdiqlar ekvivalentdir:*

$$1) A \subseteq B; 2) A \cap B = A; 3) A \cup B = B.$$

**Isboti.** 1. Teoremaning 1) tasdig'i o'rinni bo'lsin. U holda  $A \cap B = A$  munosabat to'g'rligini isbotlaymiz. Avvalo, to'plamlarning kesishmasi ta'rifiga ko'ra,  $A \cap B \subseteq A$  bo'ladi. Endi  $A$  to'plamning ixtiyoriy elementini  $x$  bilan belgilaymiz. U holda  $A \subseteq B \Rightarrow x \in B$ . Demak, to'plamlarning kesishmasi ta'rifiga ko'ra,  $x \in A \cap B$ , ya'ni  $A \subseteq A \cap B$ . Shunday qilib,  $A \cap B \subseteq A$  va  $A \subseteq A \cap B$  bo'lganidan  $A \cap B = A$  o'rinnlidir.

2.  $A \cap B = A \Rightarrow A \cup B = B$  bo'lishini isbotlash uchun, avvalo,  $A \cup B$  ifodadagi  $A$  to'plamning o'miga unga teng bo'lgan  $A \cap B$  to'plamni qo'yib,  $(A \cap B) \cup B$  ifodani hosil qilamiz. So'ngra, bu ifodaga

birlashmaga nisbatan distributivlik qonunini qo'llab,  $(A \cup B) \cap (B \cup B) = A \cup B$  ifodani hosil qilamiz. Idempotentlik qonuniga asosan  $B = B \cup B$  o'rinnlidir. Shuning uchun  $(A \cup B) \cap (B \cup B) = A \cup B$  ifodani  $(A \cup B) \cap B = A$  ko'rinishda yozish mumkin. Oxirgi ifoda yutilish qonuniga asosan  $B$  ga teng. Demak,  $A \cup B = B$ .

3.  $A \cup B = B \Rightarrow A \subseteq B$  munosabatni tekshiramiz. Teskarisini faraz qilamiz, ya'ni  $A \cup B = B$  tenglik o'rinnli bo'lسا-da,  $A$  to'plam  $B$  to'plamning qism to'plami bo'lmasin. U holda  $A$  to'plam tarkibida  $B$  to'plamga tegishli bo'lмаган hech bo'lmasa bitta  $x$  element topiladi, ya'ni  $x \in A$  va  $x \notin B$ . To'plamlarning birlashmasi ta'rifiga asosan  $x \in A$  bo'lгандан  $x \in A \cup B$  munosabat o'rinnlidir.  $A \cup B = B$  tenglikdan  $x \in B$  kelib chiqadi. Hosil bo'lган ziddiyat, ya'ni, ham  $x \notin B$ , ham  $x \in B$  bo'lishi qilgan farazimizning noto'g'riligini isbotlaydi. Demak,  $A \cup B = B$  tenglikdan  $A \subseteq B$  munosabat kelib chiqadi. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Yuqorida isbotlangan teoremlardan mumkin qadar kam foydalangan holda quyidagi tengliklarni isbot qiling:

$$a) (A \cap B \cap C) \cup (\bar{A} \cap B \cap C) \cup \bar{B} \cup \bar{C} = U;$$

$$b) (A \cap B \cap C \cap \bar{X}) \cup (\bar{A} \cap C) \cup (\bar{B} \cap C) \cup (C \cap X) = C.$$

2.  $U$  universal to'plamning  $A$  va  $B$  qism to'plamlari bo'lsin. Quyidagi tasdiqlarni isbotlang:

$$a) \text{ixtiyoriy } A \text{ to'plam uchun } A \cup B = A \Rightarrow B = \emptyset;$$

$$b) \text{ixtiyoriy } A \text{ to'plam uchun } A \cap B = A \Rightarrow B = U;$$

d) agar  $A \cup B = U$  va  $A \cap B = \emptyset$  bo'lsa, u holda  $B = \bar{A}$  va  $A = \bar{B}$  bo'ladi.

3. Quyidagi tengliklarni isbot qiling:

$$a) A \setminus (B \cup C) = (A \setminus B) \cap (A \setminus C); \quad b) A \setminus (B \cap C) = (A \setminus B) \cup (A \setminus C);$$

$$d) A \setminus B = A \setminus (A \cap B); \quad e) A \setminus (A \setminus B) = A \cap B;$$

$$f) A \cup B = A \cup (B \setminus A); \quad g) (A \setminus B) \setminus C = (A \setminus C) \setminus (B \setminus C);$$

$$h) A \cap (B \setminus C) = (A \cap B) \setminus C; \quad i) A \cap (B \setminus C) = (A \cap B) \setminus (A \cap C);$$

$$j) A \cap (B \setminus A) = \emptyset; \quad k) A \setminus (B \cup C) = (A \setminus B) \setminus C;$$

$$l) \overline{A \cap \bar{B}} \cup B = \bar{A} \cup B \quad m) A \setminus (B \setminus C) = (A \setminus B) \cup (A \cap C);$$

$$n) (A \cup B) \setminus C = (A \setminus C) \cup (B \setminus C).$$

4. Ixtiyoriy  $A$  va  $B$  to'plamlar uchun quyidagi tasdiqlarning o'rini bo'lishini ko'rsating:

a)  $(A \setminus B) \cup B = A \Rightarrow B \subseteq A$ ; b)  $B \subseteq A \Rightarrow (A \setminus B) \cup B = A$  (a) band-dagi tasdiqqa teskari tasdiq); d)  $(A \cap B) \cup C = A \cap (B \cup C) \Leftrightarrow C \subseteq A$ .

5. Ushbu paragrafda isbotlangan teoremlardagi tengliklarni tahlil qiling va o'zaro ikki taraflama (qo'shma) bo'ladidan tengliklarni aniqlang.

6.  $|A|=n$ ,  $|B|=k$ ,  $A \subset C \subset B$  va  $A \subseteq D \subseteq B$  bo'lsa,  $n$ ,  $k$ ,  $|C|$  va  $|D|$  sonlarni solishtiring.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Idempotentlik qonuni qanday ifodalanadi?
2. Involutivlik qonuni nimani anglatadi?
3. Birlashmaga nisbatan kommutativlik qonunini qanday tushunasiz?
4. Birlashmaga nisbatan assotsiativlik qonuni deganda nimani tushunasiz?
5. Kesishmaga nisbatan kommutativlik qonuni bilan assotsiativlik qonuni bir biridan nima bilan farq qiladi?
6. Birlashmaga nisbatan distributivlik qonuni bilan kesishmaga nisbatan distributivlik qonuning qanday o'xshashligi bor?
7. De Morgan qonunlarini bilasizmi?
8. Yutilish qonunlarida nima "yutiladi"?
9. Bir-biriga o'xshash tengliklar deganda nimani tushunasiz?
10. Ikki taraflama (qo'shma) tengliklar deb qanday tengliklarga aytildi?
11. Qanday tengliklarga o'zaro qo'shma tengliklar deymiz?
12. Ekvivalent tasdiqlar deganda nimani tushunasiz?

### **1.4. Kortejlar**

*To'plam. Element. Kortej. Kortejning uzunligi. Vector. Juslik. Uchlik.*

*To'rtlik.  $n$ -lik. Komponenta. Koordinata. To'plamlarning Dekart (to'g'ri) ko'paytmasi. To'plamning darajasi. Dekart ko'paytalarining kesishmasi va birlashmasi. Bo'sh Dekart ko'paytmasi. Morze alifbosi.*

**1.4.1. Kortej<sup>1</sup> tushunchasi.** Matemetikada to'plam tushunchasi bilan bir qatorda kortej tushunchasi alohida o'rin tutadi. Turli xossalarga ega

<sup>1</sup> Kortej (cortège) – fransuzcha so'z bo'lib, tantanali yurish ma'nosini beradi.

bo'lgan obyektlar bilan ish ko'rganda kortej tushunchasidan foydalanish mumkin. Kortej tushunchasi yordamida kombinatorikaning ko'plab tushunchalari tabiiy ravishda oson anglanadi. Kortej tushunchasini o'rganishdan oldin to'plamning elementlari takrorlanmasligini eslatib o'tamiz.

Ixtiyoriy  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlar berilgan bo'lsin. Bu to'plamlarning ixtiyoriy biridan, masalan,  $A_{i_1}$  to'plamdan qandaydir  $a_{i_1}$  elementni,  $A_{i_2}$  to'plamdan boshqa istalgan  $A_{i_2}$ , to'plamning qandaydir  $a_{i_2}$  elementini va hokazo, oxirgi  $A_{i_n}$  to'plamdan qandaydir  $a_{i_n}$  elementni olamiz. Bu elementlarni ularning berilgan to'plamlardan olinishi tartibida joylashtirib  $\langle a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n} \rangle$  tuzilmaga ega bo'lamiz. Bu tuzilmada har bir element o'zining qat'iy joylashish o'rniga ega. Shunday usul bilan boshqa tuzilmalarni ham hosil qilish mumkin. Bu tuzilmalarning har biri elementar kortej (qisqacha, kortej) deb yuritiladi. Kortejni boshqa usullar yordamida ham tashkil qilish mumkin. Masalan, faqat bitta to'plam elementlaridan (hattoki, bu to'plam yagona elementli bo'lsa ham) foydalanib, tarkibida elementlari ko'p bo'lgan kortej tuzish mumkin. Kortejlarni belgilashda, ko'pincha, lotin yoki grek alifbosining bosh harflaridan foydalaniлади.

**1- та'rif.** *Kortejni tashkil etuvchilar shu kortejning elementlari deb ataladi.*

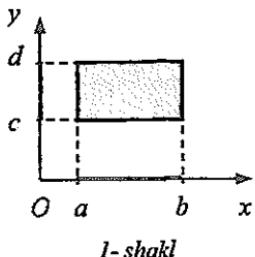
Kortejni tashkil qilishda ishtiroy etayotgan  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlar ixtiyoriy bo'lgani uchun bu to'plamlar umumiy elementlarga ega bo'lishi ehtimoldan xoli emas. Demak, umuman olganda,  $K = \langle a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n} \rangle$  kortej tarkibidagi elementlar takrorlanishi mumkin. Berilgan  $K$  kortejiga  $a$  element tegishliligi  $a \in K$  yoki  $K \ni a$  ko'rinishda belgilanadi.

Ba'zi hollarda kortej iborasining o'rniga vektor yoki, uning uzunligini e'tiborga olgan holda, juftlik (uzunligi ikkiga teng kortej), uchlik, to'rtlik va hokazo  $n$ -lik (uzunligi  $n$  ga teng kortej) iboralari ham ishlatiladi. Uzunligi  $n$  bo'lgan kortej  $n$  o'rinnli kortej deb ham yuritiladi.

**2- ta'rif.** *Kortejni tashkil etuvchi elementlar soni (kortejning uzunligi) kortejning quvvati deb ataladi.*

Berilgan  $K$  kortejning quvvati  $|K|$  ko'rinishda belgilanadi. Kortej tarkibidagi elementlar takrorlanishi mumkinligidan, ularning kortejda tutgan o'rinnari muhim hisoblanadi. Shuning uchun kortejning muayyan elementi nazarda tutilganda, uning o'rmini aniqlovchi raqam hisobga olinishi kerak.

Quvvatlari teng bo'lgan ikkita kortejning mos o'rinnaridagi elementlari aynan bir xil bo'lsagina bu kortejlar teng deb hisoblanadi.



1-shakl

**3-ta'rif.** Kortejni tashkil qiluvchi elementlar, uning komponentlari yoki koordinatalari deb ataladi.

Tabiiyki, uzunliklari teng bo'lмаган кортејлар тенг эмас. Кортејлар тенг болиши учун уларнинг мос компонентлари о'заро бир хил болиши шарт. Масалан, то'рт компонентли  $\langle 1, \{a, b\}, c, \{2, 5, 4\} \rangle$  ва  $\langle 1, \{b, a\}, c, \{5, 2, 4\} \rangle$  кортејлар о'заро тенгdir, чунки уларнинг тоқ о'ринларидаги компонентлари айнан бир хил ва ўст о'ринларда турган компонентлари esa то'плamlar сифатida bir-biriga teng bo'lgani учун айнан бир xildir.

**1-misol.**  $X = \{a, b\}$ ,  $Y = \{b, c, d\}$  va  $Z = \{e\}$  то'плamlar учун уларнинг берилish тартибига ( $X, Y, Z$ ) mos keluvchi hamda har bir то'пламдан фақат биттадан элемент оlish шарти билан тузилган барча элементар кортејлар quyidagilardir:  $\langle a, b, e \rangle$ ,  $\langle a, c, e \rangle$ ,  $\langle a, d, e \rangle$ ,  $\langle b, b, e \rangle$ ,  $\langle b, c, e \rangle$ ,  $\langle b, d, e \rangle$ . ■

**2-misol.** To'g'ri burchakli  $xOy$  Dekart koordinatalar sistemasining absissalar va ordinatlar o'qlariga ikkita  $[a, b]$  va  $[c, d]$  kesmalar 1-shakldagidek joylashtirilgan bo'lsin. U holda shakldagi bo'yalgan to'g'ri to'rtburchak va uning chegaralaridagi барча nuqtalarning koordinatalariga mos qilib tuzilgan ( $x, y$ ) juftliklar кортеjlardan iborat bo'ladi. Ta'kidlaymizki, bu yerda кортеjlар cheksiz ko'pdir. ■

**3-misol.** 1835-yilda S. Morze<sup>1</sup> томонидан

14C2993

yaratilgan matnli ma'lumotni kodlash sistemasi

2-shakl

(Morze alifbosи) bir asdan ko'p davr mobaynida

ma'lumot uzatishda asosiy sistema bo'lib keldi. Bu sistemada фақат иккита бир-бидан farqli elementlar – nuqta “•” (qisqa signal) va tire “—” (uzun signal) bo'lib, ular yordamida matndagi belgililar (harflar, raqamlar va boshqalar) kodlanadi. Bunday usulda tuzilgan har bir kodni кортеj deb hisoblash mumkin. Morze alifbosida uzunliklari birdan oltigacha bo'lgan кортеjlар bor. ■

**4-misol.** O'zbekiston Respublikasida shaxsiy avtomobilarni davlat ro'yxatiga оlishda yetti o'rinli кортеjlardan foydalaniladi. Har bir кортеjdagi dastlabki ikki o'ringa 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 raqamlar, uchinchi o'ringa lotin alifbosining 26 harfidan биттаси va qolgan to'rt o'ringa raqamlar joylashtiriladi. Bunday usulda tuzilgan har bir ro'yxatga оlish belgisini кортеj deb hisoblash mumkin. Tabiiyki, bu yerda raqamlar

<sup>1</sup> Semyuel Finli Briz Morze (Samuel Finley Breese Morse, 1791-1872) – AQSh kashfiyotchisi va rassomi.

takrorlanishlari mumkin. Masalan, 2- shaklda tasvirlangan ro'yxatga olish belgisiga mos keluvchi  $<1,4,C,2,9,9,3>$  kortejda 9 raqami ikki marta yozilgan. ■

5- misol. Microsoft (MS) Office tarkibiga kiruvchi MS Excel sistemasida ma'lumotlar elektron jadvallardagi kataklarga joylashtiriladi. Foydalanuvchi bu jadvallarni turli nomlar bilan belgilab, ma'lumotlarni fayl shaklida kompyuter xotirasida saqlashi mumkin. Har bir elektron jadval ustunlar va satrlarga ega. MS Excel sistemasida ustunlar (jami 256ta) lotin alifbosi tartibida oldin "A"dan "Z"gacha bitta harf bilan, keyin "AA"dan "IV"gacha ikkita harf bilan, satrlar esa 1dan 65536gacha sonlar bilan belgilanadi. Bu yerda, jadvallar nomlari, jadvalning ustunlari va satrlari to'plamlaridan bittadan elementni tartib bilan olib uch o'rinni kortej tuzish mumkin. Bunday usul vositasida tuzilgan uch o'rinni barcha kortejlar soni  $k = \text{jadvallar soni} \times 65536 \times 256$  bo'ladi. MS Excel sistemasida bu kortejlardan elektron jadvallardagi kataklarning adreslari sifatida foydalilanildi. Masalan, nomi Jadval1 bo'lgan elektron jadvalning G harfi bilan belgilangan ustuni va 7 raqami bilan belgilangan satri kesishgan joyidagi katakka  $<\text{jadval1},G,7>$  ko'rinishdagi kortej mos keladi. Bu kataknинг MS Excel sistemasidagi adresi Jadval1!G7 ko'rinishga ega bo'lib, unga Kitob1.xls nomli faylning Jadval2 elektron jadvalidan murojaat qilish 3- shaklda tasvirlangan. ■

1.4.2. To'plamlarning Dekart<sup>1</sup> ko'paytmasi va u bilan bog'liq ba'zi amallar. Yuqorida turli tabiatli to'plamlar yordamida aniqlanuvchi kortej

A2	=Jadval1!G7	B	C	D	E
1	Hozir Jadval2ning A2 acresli kataq faoli				
2	Jadval2dan Jadval1da G7 adresli katakkha murojaat qilamiz.				
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

3- shakl

<sup>1</sup> Rene Dekart (René Descartes, 1596-1650) – fransuz matematigi va faylasufi.

tushunchasi bilan tanishdik. O‘z navbatida bu tushunchadan foydalanib to‘plamlarning Dekart ko‘paytmasi tushunchasini kiritish mumkin.

**4- ta’rif.** *Tartiblangan  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to‘plamlar elementlaridan tuzilgan n o‘rinli barcha kortejlar to‘plami shu to‘plamlarning Dekart ko‘paytmasi deb ataladi.* Ba’zan to‘plamlarning Dekart ko‘paytmasi iborasi o‘rnida to‘plamlarning to‘g‘ri ko‘paytmasi iborasidan ham foydalaniladi. Tartiblangan  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to‘plamlarning Dekart ko‘payt-

masi  $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$  yoki  $\prod_{i=1}^n A_i$  ko‘rinishda belgilanadi, ya’ni

$$A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n = \prod_{i=1}^n A_i = \{ \langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle \mid a_i \in A_i, i = \overline{1, n} \}.$$

To‘plamlarning Dekart ko‘paytmasi tushunchasining aniqlanishida bu ko‘paytmada qatnashuvchi to‘plamning soni ham muhim hisoblanadi. Zarur bo‘lganda,  $n$  ta to‘plamlarning Dekart ko‘paytmasi iborasi o‘rnida  $n$  o‘rinli Dekart ko‘paytmasi iborasi ham qo‘llaniladi.

Tabiiyki, agar  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to‘plamlarning birortasi bo‘sh to‘plam bo‘lsa, u holda ulardan foydalanib birorta ham kortej tuzish imkoniyati yo‘q. Demak, tarkibida hech bo‘lmasa bitta bo‘sh to‘plam qatnashgan  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to‘plamlarning Dekart ko‘paytmasi ham bo‘sh to‘plamdir, ya’ni  $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n = \emptyset$ .

Dekart ko‘paytmasidan to‘plamlar bilan bog‘liq murakkab tuzilmalarni hosil qilishda va ularda ko‘paytma tushunchasini aniqlashda foydalaniladi. Ammo bunday hollarda aniqlangan ko‘paytirish amali Dekart ko‘paytmasining xossalardan farqli xossalarga ham ega bo‘lishi mumkin. Jumladan, tuzilmalardan birortasi bo‘sh to‘plam bo‘lsa-da, ularning ko‘paytmasi bo‘sh bo‘lmagan hollar bor. Masalan, X bobning 3- paragrafida keltirilgan graflarni ko‘paytirish amali shunday xususiyatga ega.

To‘plamlarning to‘g‘ri ko‘paytmasi tushunchasidan foydalanib, to‘plamning darajasi tushunchasi

$$A^n = \underbrace{A \times A \times \dots \times A}_{n \text{ marta}}$$

formula asosida kiritiladi. Masalan,  $A^1 = A$ ,  $A^2 = A \times A$ ,  $A^3 = A \times A \times A$ . Umuman olganda,  $A^n = A \times A^{n-1}$ .

$n$  o‘rinli  $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$  va  $B = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n$  Dekart ko‘paytmalari berilgan bo‘lsin.

**5- ta'rif.** Agar  $A_1 \subseteq B_1$ ,  $A_2 \subseteq B_2, \dots, A_n \subseteq B_n$  munosabatlar o'rinli bo'lsa, u holda  $A$  Dekart ko'paytmasi  $B$  Dekart ko'paytmasining qismi deb ataladi.

$A$  Dekart ko'paytmasi  $B$  Dekart ko'paytmasining qismi bo'lishi  $A \subseteq B$  kabi belgilanadi.

To'plamlarning  $n$  o'rinli Dekart ko'paytmasi ta'rifidan foydalanib va II bobning 1- paragrafida keltirilgan umumlashgan ko'paytirish qoidasi asosida  $\left| \prod_{i=1}^n A_i \right| = \prod_{i=1}^n |A_i|$  tenglik o'rinli bo'lishini ko'rsatish qiyin emas.

Bu munosabatdan, xususiy holda, ixtiyoriy  $n$  natural son va chekli  $A$  to'plam uchun  $|A^n| = |A|^n$  tenglikning o'rinli ekanligi kelib chiqadi (II bobning 1- paragrafidagi 7- muammoli topshiriqqa qarang).

**6- misol.** Ma'lumotlar bazalarini boshqarish tizimlarida (MBBTda)  $n$ -darajali munosabat ( $n$ -ar munosabat) deganda  $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$  Dekart ko'paytmasining biror qismi tushuniladi. Ma'lumotlar bazalarini boshqarishning relyatsion<sup>1</sup> nazariyasi negizida yetuvchi munosabat tushunchasidan foydalanish g'oyasini 1970- yilda E. Kodd<sup>2</sup> taklif qilgan edi. Umuman olganda, MBBTdagি munosabat tushunchasi biz odatda jadval deb yuritadigan ma'lumotlar to'plamiga mos keladi. Har bir jadval nomga, sarlavhaga va asosiy qismga (tanaga) ega deb hisoblanadi. Bu yerda jadvalning sarlavhasidagi va uning tanasidan o'rinn olgan har bir satridagi ma'lumotlarni kortejlar deb qarash mumkin. Jadvaldagi har bir satrning biror ustun bilan kesishgan joyi (katagi) ma'lumot tashuvchi sifatida shu satrga mos kortejning komponentalaridan biridir. MBBTda kortejlar deganda jadvalning tanasidagi satrlar tushuniladi. Odatdagи jadvaldagidek, MBBTda ham munosabatning (jadvalning) har bir ustuniga nom beriladi va bu nomlar jadvalning sarlavhasini tashkil etadi. Masalan, 1- jadvaldagi "TALABA" nomli munosabat "Tartib raqami", "Familiyasi", "Ismi", "Jinsi", "Tug'ilgan yili" va "O'qishga kirgan yili" kabi komponentalari bo'lgan kortej bilan aniq-lanuvchi sarlavhaga ega. Bu munosabatda MBBT ma'nosida to'rtta kortej bor. Shu kortejlardan biri <1,Rahimova,Dilafruz,Ayol,1982,2005> ko'rinishga ega. ■

<sup>1</sup> Bu so'z ingliz tilidagi "relation" so'zidan olingan bo'lib, munosabat ma'nosini anglatadi.

<sup>2</sup> Kodd (Edgar Frank "Ted" Codd, 1923-2003) -ingliz informatika mutahassisasi.

Dekart ko‘paytmasi berilgan to‘plamlardan foydalanib tuziluvchi qandaydir to‘plamni aniqlagani sababli to‘plamlar ustidagi amallar Dekart ko‘paytmalari uchun ham qo‘llanilishi mumkin. Bu yerda, odatda, Dekart ko‘paytmasining tuzilishidagi o‘ziga xoslikni hisobga olishga to‘g‘ri keladi. Birlashma amali o‘rganilganda, “o‘rinlari soni teng bo‘lgan ikkita Dekart ko‘paytmalarning birlashmasini qandaydir top’lamlarning Dekart ko‘paytmasi deb qarash mumkinmi?” degan savol tug‘iladi. Tushunarligi, agar bu Dekart ko‘paytmasini tashkil qiluvchi top’lamlarni birlashtirilayotgan Dekart ko‘paytmalar mos o‘rinlaridagi to‘plamlarning birlashmalarini sifatida aniqlash mumkin bo‘lsa, u holda yuqoridagi savolga ijobiy

javob berilgan bo‘ladi. Ammo, umumiy holda  $A = \prod_{i=1}^n A_i$  va  $B = \prod_{i=1}^n B_i$

Dekart ko‘paytmalar tarkibidagi  $A_i$  va  $B_i$  to‘plamlarni birlashtirib hosil qilingan Dekart ko‘paytmasining tarkibiga birlashtirilayotgan  $A$  va  $B$  Dekart ko‘paytmalarning ikkalasida ham mavjud bo‘lmagan elementar kor-tejlar ham kirib qolishi mumkin. Shuning uchun qaralayotgan  $A$  va  $B$  Dekart ko‘paytmalarining birlashmasi  $A \cup B$  uchun  $\prod_{i=1}^n A_i \cup \prod_{i=1}^n B_i \subseteq \prod_{i=1}^n (A_i \cup B_i)$

munosabat o‘rinlidir. Albatta, bu munosabat tenglik sifatida namoyon bo‘ladigan hollar ham bor. Masalan, ikkita  $A$  va  $B$  Dekart ko‘paytmalari uchun  $A \subseteq B$  bo‘lsa, u holda  $A \cup B = B$  bo‘ladi.

*I-jadval*

#### TALABA

Tartib raqami	Familiyasi	Ismi	Jinsi	Tug‘ilgan yili	O‘qishga kirgan yili
1	Rahimova	Dilafruz	Ayol	1982	2005
2	Islomov	Rustam	Erkak	1985	2006
3	Isrofilova	Gulsara	Ayol	1985	2005
4	Oqilova	Robiya	Ayol	1987	2006

7- misol. Berilgan ikkita  $A = \{a, c, 1, \otimes\} \times \{1, \Delta\} \times \{\otimes, \Delta\}$  va  $B = \{b, c, 1\} \times \{2, a, \Delta\} \times \{\otimes\}$  Dekart ko‘paytmalarini  $A = \{< a, 1, \otimes >, < a, 1, \Delta >, < a, \Delta, \otimes >, < a, \Delta, \Delta >, < c, 1, \otimes >, < c, 1, \Delta >, < c, \Delta, \otimes >, < c, \Delta, \Delta >, < 1, 1, \otimes >, < 1, 1, \Delta >, < 1, \Delta, \otimes >, < 1, \Delta, \Delta >, < \otimes, 1, \otimes >, < \otimes, 1, \Delta >, < \otimes, \Delta, \otimes >, < \otimes, \Delta, \Delta >\},$   $B = \{< b, 2, \otimes >, < b, a, \otimes >, < b, \Delta, \otimes >, < c, 2, \otimes >,$

$\langle c, a, \otimes \rangle, \langle c, \Delta, \otimes \rangle, \langle 1, 2, \otimes \rangle, \langle 1, a, \otimes \rangle, \langle 1, \Delta, \otimes \rangle \}$

ko'rinishda yozamiz. Ravshanki,  $A \cup B$  to'plamda 23ta kortej bo'lib, bu kortejlar  $(\{a, c, 1, \otimes\} \cup \{b, c, 1\}) \times (\{1, \Delta\} \cup \{2, a, \Delta\}) \times (\{\otimes, \Delta\} \cup \{\otimes\})$ . Dekart ko'paytmasi tarkibida qatnashadi. Lekin bu Dekart ko'paytmasini  $\{a, b, c, 1, \otimes\} \times \{a, 1, 2, \Delta\} \times \{\otimes, \Delta\}$  ko'rinishida yozsak, uning tarkibida 40ta kortej bo'lishini ko'rish qiyin emas. Demak,  $A \cup B \subset \{a, b, c, 1, \otimes\} \times \{a, 1, 2, \Delta\} \times \{\otimes, \Delta\}$ . ■

8- misol. Dekart ko'paytmalarining birlashmasi amaliga o'xshash amalga misol qilib MBBTda (6- misolga qarang) ma'lumotlarni qayta ishlashtirning standart tili sifatida qabul qilingan SQL (Structured Query Language) tilida sarlavhalari mos keluvchi ikkita  $A$  va  $B$  munosabatlarni (jadvallarni) birlashtirishda qo'llaniladigan " $A \text{ UNION } B$ " operatori bajaradigan amalni keltirish mumkin. SQL tilida sarlavhalari mos keluvchi  $A$  va  $B$  munosabatlarga  $A \text{ UNION } B$  birlashtirish operatorini qo'llash natijasida sarlavhasi  $A$  va  $B$  munosabatlardagidek bo'lgan yangi munosabat hosil bo'ladi. Bu munosabatning asosiy qismi berilgan  $A$  va  $B$  munosabatlardagi kortejlar to'plamlarining birlashmasidan iborat. Masalan, 2- jadvaldagi  $Y$  nomli va 3- jadvaldagi  $Z$  nomli munosabatlarga birlastirish operatorini  $Y \text{ UNION } Z$  ko'rinishda qo'llab, 4- jadvaldagi  $Y \cup Z$  nomli munosabatga ega bo'lamiz. ■

2-jadval

#### $Y$ munosabati

Bo'lim raqami	Familiyasi	Ismi	Ish haqi
1	Abdullayeva	Nazokat	100000
2	Hojiyev	Tolib	120000
3	O'rınboyev	Erkin	93000
4	Islomov	Davronqul	132000

$n$  o'rinali ikkita  $A = \prod_{i=1}^n A_i$  va  $B = \prod_{i=1}^n B_i$  Dekart ko'paytmalar berilgan bo'lsin. Bu  $A$  va  $B$  Dekart ko'paytmalarining  $A \cap B$  kesishmasi  $A \cap B = \prod_{i=1}^n (A_i \cap B_i)$  formula yordamida aniqlanadi.

## 3- jadval

Z munosabati

Bo'lim raqami	Familiyasi	Ismi	Ish haqi
1	Abdullayeva	Nazokat	100000
2	Shodiyev	Usmon	125000
4	O'rinboyev	Erkin	93000
5	Mo'minov	Muhiddin	127000

9- misol. Ikkita  $\{1,3,4\} \times \{2,3\} \times \{2,3,5\}$  va  $\{1,2,3,4\} \times \{1,3,4\} \times \{2,3,4\}$  Dekart ko'paytmalari berilgan bo'lsin. U holda Dekart ko'paytmalarning kesishmasini aniqlash formulasiga asosan

$$\begin{aligned} & (\{1,3,4\} \times \{2,3\} \times \{2,3,5\}) \cap (\{1,2,3,4\} \times \{1,3,4\} \times \{2,3,4\}) = \\ & = (\{1,3,4\} \cap \{1,2,3,4\}) \times (\{2,3\} \cap \{1,3,4\}) \times (\{2,3,5\} \times \{2,3,4\}) = \\ & = \{1,3,4\} \times \{3\} \times \{2,3\}. \end{aligned}$$

## 4- jadval

YUZ munosabati

Bo'lim raqami	Familiyasi	Ismi	Ish haqi
1	Abdullaev	Nazokat	100000
2	Hojiyev	Tolib	120000
3	O'rinboyev	Erkin	93000
4	Islomov	Davronqul	132000
2	Shodiyev	Usmon	125000
4	O'rinboyev	Erkin	93000
5	Mo'minov	Muhiddin	127000

Hosil bo'lган Dekart ko'paytmasi quyidagi oltita elementar kortejlardan tashkil topishi ravshandir:  $\langle 1,3,2 \rangle$ ,  $\langle 1,3,3 \rangle$ ,  $\langle 3,3,2 \rangle$ ,  $\langle 3,3,3 \rangle$ ,  $\langle 4,3,2 \rangle$ ,  $\langle 4,3,3 \rangle$ . Albatta, topilgan bu natijani har bir Dekart ko'paytmasidagi elementar kortejlarni yozib (birinchi Dekart ko'paytmasida 18ta, ikkinchisida esa 36ta elementar kortej mavjud), keyin bu kortejlardan ikkala Dekart ko'paytmasida ham bor bo'lганlarini olish usuli bilan ham hosil qilish mumkin. Lekin bu usul ancha ko'p ish bajarishni talab qiladi. ■

10- misol. Dekart ko'paytmalar kesishmasini aniqlash formulasidan foydalanish bu kesishmaning bo'sh to'plam bo'lib qoladigan hollar uchun yanada ahamiyatlidir. Masalan,

$$(\{a,c,d\} \times \{b,c\} \times \{b,c,e\}) \cap (\{a,b,d\} \times \{a,d\} \times \{b,c,d\}) = \\ = \{a,d\} \times \emptyset \times \{b,c\} = \emptyset. \blacksquare$$

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1.  $\langle \{a,b\}, c, d \rangle = \langle \{b,a\}, c, d \rangle$  tenglik o‘rinli bo‘lishini izohlang.
2.  $\langle a, \langle b, c \rangle, d \rangle$  va  $\langle a, \langle c, b \rangle, d \rangle$  kortejlarni solishtiring.
3. Universitetning xazinasidan oylik maoshini olish uchun navbatda turgent olti kishidan uch nafari assistant ( $a$ ), ikki nafari dotsent ( $d$ ) va biri professor ( $p$ ) bo‘lsa, bu kishilar navbatda turishining mumkin bo‘lgan barcha imkoniyatlarini aniqlang va bu imkoniyatlarga mos kortejlarni yozing.
4. Morze alifbosida qo‘llaniladigan nuqta va tire belgilaridan foydalaniib 1, 2, 3 va 4 o‘rinli barcha kortejlarni tuzing.
5. Dekart ko‘paytmalarining birlashmasi va kesishmasi amallarining qo‘llaninlishiga doir amaliy misollar keltiring.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Kortej tushunchasining mohiyati nimadan iborat?
2. To‘plam va kortej tushunchalari bir-biridan nima bilan farq qiladi?
3. Kortejnинг uzunligi deganda nimani tushunasiz?
4. Qanday kortejlar teng deb ataladi?
5. Kortejnинг koordinatalari nima?
6. Kortejnинг koordinatasi kortej bo‘lishi mumkinmi?
7. Dekart ko‘paytmasi deganda nimani tushunasiz?
8. Dekart ko‘paytmasining qismi nima?
9. To‘plamning darajasi tushunchasi qanday aniqlanadi?
10. Dekart ko‘paytmalarining birlashmasi tushunchasi uchun qanday munosabatni yozish mumkin?
11. Dekart ko‘paytmalarining kesishmasi qanday formula yordamida aniqlanadi?

### **1.5.Fazzi to‘plamlar**

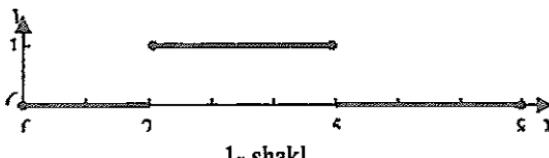
*To‘plam. Element. Universal to‘plam. Fazzi to‘plam. A’zolik funksiyasi.*

*O’tish nuqtasi. Fazzi to‘plamning balandligi. Bo’sh, qism, normal, subnormal, unimodal, bir-birini to‘ldiruvchi fazzi to‘plamlar. To‘ldirish, birlashma, kesishma va ayirma amallari.*

**1.5.1. Asosiy tushuncha va ta’riflar.** To‘plamlar nazariyasini o‘rganishda davom etib quyidagi misolni qarab chiqamiz.

1- misol. [0, 8] segmentda joylashgan haqiqiy sonlardan tashkil topgan to'plam  $U$  universal to'plam sifatida qabul qilinsa,  $A = [2, 5]$  to'plam uchun  $A \subset U$  bo'lishi ravshandir. 1-shaklda Oxy Dekart koordinatalari sistemasi tasvirlangan bo'lib,  $Ox$  sonlar o'qining [0, 8] segmentida joylashgan [0, 2) va (5, 8] to'plamlarning har bir  $x$  nuqtasiga  $Oy$  sonlar o'qining 0 hamda [2, 5] to'plamning har bir  $x$  nuqtasiga 1 qiymati mos qo'yilgan, ya'ni

$$y = \begin{cases} 1, & x \in U, x \in A \text{ bo'lгanda}, \\ 0, & x \in U, x \notin A \text{ bo'lгanda}. \end{cases}$$



1- shakl

Agar  $y$  ni  $x$  ning  $U$  to'plamda aniqlangan  $y = y(x)$  funksiyasi deb hisoblasak, u holda  $y(x)$  funksiya  $x \in U$  element-

ning  $A$  to'plamga tegishli bo'lish-bo'lmasligi xossasini (xususiyatini, xarakterini, xarakteristikasini) ifodalaydi.

Endi O'zbekiston Respublikasining o'rta yoshli fuqarolari to'plamini qaraymiz. Agar, shartli ravishda, yoshi 25dan 45gacha bo'lgan fuqarolarni o'rta yoshli deb hisoblasak, bu yerda ham Dekart koordinatalari sistemasidan foydalanib, O'zbekiston Respublikasi fuqarolarining tug'ilgan kunlariga qarab, bugungi kun uchun ularning yoshlarini aniqlash va 1-shaklda tasvirlangan grafikka o'xshash grafik hosil qilish mumkin. Lekin bu o'rinda qiziq savol paydo bo'ladi: "bugun 25 yoshga to'lgan fuqaro kecha yosh edi, endi o'rta yoshli, yoki bugun 45 yoshini nishonlagan o'rta yoshli fuqaro ertaga qari bo'lib qoladimi?" Bu savolga matematik nuqtai nazaridan qat'iy javob beriladigan bo'lsa (masalan, statistik ma'lumotlar uchun), "albatta, ha", ammo unga hayotiy nuqtai nazaridan yondoshilsa, "albatta, yo'q" javobi berilishi tabiiydir. ■

Bu misoldan ko'rinish turibdiki, ba'zan, to'plam elementlarining shu to'plamga tegishliligini aniqlaganda vaziyatni qandaydir ma'noda "yumshatuvchi" usuldan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Ya'ni to'plam elementlarining shu to'plamga tegishliligini emas, tegishlilik darajasini aniqlash ko'p vaziyatlarda to'g'ri qarorlar qabul qilish uchun ma'qul hisoblanadi. Boshqacha aytganda, "Qandaydir narsa, predmet va shunga o'xshashlar biror to'plamga tegishlimi?" degan savolga ma'nosи nuqtai nazaridan bir-biriga zid bo'lgan ikkita "tegishli" yoki "tegishli emas" javoblaridan biri o'miga bu narsaning o'sha to'plamga tegishliligi



Lotfi Zoda

darajasini ifodalovchi qiymat o'zida ko'proq ma'lumotni saqlashi ravshandir.

1965- yilda Lutfi Ali-Asqar Zoda<sup>1</sup> "Information and Control" jurnalida "Fuzzy sets" nomli maqolasini e'lon qilgandan so'ng yuqoridagiga o'xshash ko'plab savollarga javob topildi. Bundan tashqari, bu ilmiy ish nafaqat to'plamlar nazariyasida, shuningdek, matematikaning boshqa sohalarida ham, hozirgi davrda "Informatika" deb yuritiluvchi fan sohasida ham burilish yasalishiga sabab bo'ldi. Lutfi Zodaning yuqorida zikr etilgan maqolasi va uning o'sha mavzuga bag'ishlangan keyingi ilmiy ishlari

dunyoning turli mamlakatlari tillariga tarjima qilindi va o'rganildi. Dastlabki yillarda bu ilmiy ishlar "haqiqatga zid", "hech qanday ilmiy asosga ega emas" deganlar ham bo'ldi. Hozirgi davrda asosida Lutfi Zoda g'oyalari yotuvchi turli yo'nalishlar bo'yicha muvaffaqiyatli ilmiy va amaliy ishlar olib borilmoqda.

1- ta'rif. ( $\mu_A(x), x$ ) ko'rinishdagi juftliklar to'plami berilgan  $X$  universal to'plamda aniqlangan A fuzzy to'plam deb ataladi, bunda  $x \in X$  va  $\mu_A(x)$  - qiymatlari sohasi  $[0, 1]$  bo'lgan, a'zolik funksiyasi deb ataluvchi funksiya.

Bu ta'rifa "fuzzy to'plam" iborasi ingliz tilidagi "fuzzy set" iborasi tarkibiga kiruvchi "fuzzy" so'zini o'zbek tiliga tarjima qilmasdan berildi. Buning sababi shuki, ingliz tilidagi "fuzzy" so'zi juda ko'p, jumladan, yumshoq, mayin, momiqday, tivistli, parli, ochiq-oydin emas, aniq emas, noaniq, sof emas, tiniq emas, yorqin emas, oyduн emas, g'ayri oddiy, xira, mujmal, oshkor emas, g'ira-shira, cho'ziluvchan, qarovsiz qoldirilgan, tashlab qo'yilgan, xarob, tashlandiq, o'tkazib yuborilgan kabi ma'nolarda ishlataladi. Albatta, sanab o'tilganlarning har birini ingliz tilidagi "fuzzy" so'zining o'miga qo'yib atama yasash mumkin. Lekin, bizning fikrimizcha, bunday atamalarning hech qaysisi "fuzzy set" atamasining asl ma'nosini bermaydi. Ozarbayjon tiliga ingliz tilidagi "fuzzy" so'zi "qeyrislis" shaklda tarjima qilingan. Fors tilida "fuzzy set" atamasi bilan bog'liq ishlarda "مجموع فازی" ("majmuai fazzi") shakli ko'p qo'llaniladi.

<sup>1</sup> Bu AQSh matematigi va informatigining ismi-sharifi inglizcha Lotfi Asker Zadeh (qisqacha Lotfi Zadeh), forscha لطفى على عسكر زاده shaklda yozildi. U 1921 yilda Bokuda tug'ilgan. Otasi Eronlik ozarbayjon, onasi rus. Oilasi bilan 1932- yilda Eronga, 1944- yilda esa AQShga ko'chib borgan.

Rus tilida yozilgan ishlarga murojaat qiladigan bo'lsak, "fuzzy set" iborasi dastlab "расплывчатое множество" shaklida ishlataligan bo'lsa, keyinchalik "нечеткое множество" iborasidan foydalanish odat tusiga kirdi.

1- ta'rifga ko'ra berilgan  $X$  universal to'plamda aniqlangan fazzi to'plam uchun " $X$  to'plamning  $x$  elementi shu fazzi to'plamga tegishlimi?" degan savolga bir qiymatli "ha" yoki "yo'q" javobi berilmaydi. Fazzi to'plam ta'rifida keltirilgan a'zolik funksiyasi  $x$  elementning shu fazzi to'plamga a'zolik (tegishlilik, ta'alluqlilik) xususiyatini (xarakteristikasini) qandaydir ma'noda yumshatuvchi vosita hisoblanadi. Bu yerda a'zolik funksiyasi iborasi o'tniga xarakteristik funksiyasi, tegishlilik funksiyasi yoki taalluqlilik funksiyasi iborasidan ham foydalanish mumkin. A'zolik  $\mu_A(x)$  funksiyasining universal to'plamdagi muayyan  $x$  element uchun aniqlangan qiymati  $x$  ning  $A$  fazzi to'plamga a'zolik (tegishlilik, ta'alluqlilik) darajasini ifodalandaydi.

Agar universal to'plamning qandaydir  $x$  elementi uchun  $\mu_A(x)$  funksiya 0 qiymat qabul qilsa, shu  $x$  berilgan  $A$  fazzi to'plamga so'zsiz (shubhasiz, mutlaqo) a'zo emas (tegishli emas, taalluqli emas), 0 qiymat qabul qilganda esa, u  $A$  to'plamning so'zsiz a'zosi deb hisoblanadi.

1- ta'rifdan ko'rinib turibdiki, biz ilgari o'rganib kelgan "oddiy" to'plamlar sinfi fazzi to'plamlar sinfining bir qismidir. Haqiqatdan ham, agar  $B$  qandaydir  $X$  universal to'plamda berilgan oddiy to'plam ( $B \subseteq X$ ) bo'lsa, u holda

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 1, & \text{agar } x \in X \text{ va } x \in B \text{ bo'lsa,} \\ 0, & \text{agar } x \in X \text{ va } x \notin B \text{ bo'lsa,} \end{cases}$$

funksiya  $B$  to'plamning a'zolik funksiyasi bo'ladi.

2- ta'rif. Agar berilgan  $X$  universal to'plamda  $\mu_A(x)$  a'zolik funksiyasi bilan aniqlangan  $A$  fazzi to'plam barcha  $x \in X$  elementlar uchun  $\mu_A(x)=0$  shartni qanoatlantirsa, u holda  $A$  bo'sh fazzi to'plam deb ataladi.

Bo'sh fazzi to'plamni belgilashda odatdagi  $\emptyset$  belgi qo'llaniladi.

Fazzi to'plamning berilishi ko'p jihatdan a'zolik funksiyasining aniqlanishiga bog'liq bo'lgani uchun bu o'rinda subyektiv fikr o'z ta'sirini o'tkazishi tabiiydir. Odatda, fazzi to'plamlarni aniqlashda soddaroq a'zolik funksiyalari bilan ish ko'rishga harakat qilinadi.

Fazzi to'plamlarni ifodalashda turli usullar uchraydi, jumladan, Lutfi Zodaning fazzi to'plamlarga oid ilmiy ishlarida quyidagi atamalar va belgilashlar qo'llanilgan.

Agar  $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$  a'zolik funksiyasi  $X$  universal to'plamning har bir  $x$  elementiga  $[0,1]$  oraliqdan olingan qandaydir  $\mu_A(x)$  qiymat mos qo'yilgan bo'lsa, u holda  $X$  to'plamda  $A$  fazzi qism toplam berilgan deb hisoblanadi.  $X$  to'plamning  $\mu_A(x) > 0$  bo'lgan barcha  $x$  elementlari to'plami  $A$  fazzi qism toplamning tashuvchisi deb ataladi. Tashuvchisi faqat bitta nuqtadan iborat fazzi to'plam bir nuqtali fazzi to'plam deb ataladi. Agar  $A$  – tashuvchisi  $x$  nuqta bo'lgan bir nuqtali fazzi to'plam bo'lsa, u holda bu to'plam  $A = \mu_A(x)$  ko'rinishda belgilanadi, bu yerda  $\mu_A(x)$  ning  $A$  ga a'zolik darajasi. U holda bitta  $x$  elementdan tashkil topgan oddiy to'plamni  $1/x$  deb yozish mumkin.

$X$  to'plamning  $\mu_A(x) = 0,5$  shartni qanoatlantiruvchi  $x$  elementi  $A$  ning o'tish nuqtasi deb ataladi.

Berilgan  $X$  universal to'plamda  $\mu_A(x)$  a'zolik funsiyasi bilan aniqlangan  $A$  fazzi to'plamni uning bir nuqtali fazzi to'plamlari birlashmasi sifatida  $A = \int \mu_A(x)/x$  shaklda ifodalash mumkin, bu yerda integral  $\int_U$

belgisi  $\mu_A(x)/x$  ko'rinishdagi bir nuqtali fazzi to'plamlari birlashmasi amalini (birgalikda deb hisoblashni) anglatadi. Agar  $A$  ning tashuvchisi chekli sondagi elementlardan iborat bo'lsa, u holda yuqoridagi integral belgisi o'miga yiq'indi belgisini qo'yish mumkin:

$$A = \mu_1/x_1 + \mu_2/x_2 + \dots + \mu_n/x_n \text{ yoki } A = \sum_{i=1}^n \mu_i/x_i,$$

bu yerda ham yig'indi belgisi qo'shish amalini emas, bir nuqtali fazzi to'plamlar birlashmasi amalini anglatadi,  $\mu_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) –  $x_i$  elementning  $A$  to'plamga a'zolik darajasi. Berilgan  $A$  fazzi to'plamni

$$A = \begin{array}{c|c|c|c} x_1 & x_2 & \cdots & x_n \\ \hline \mu_1 & \mu_2 & \cdots & \mu_n \end{array}$$

ko'rinishda ham belgilash mumkin. Oxirgi belgilash ehtimollar nazariyasidagi tasodifiy miqdorni belgilashni eslatasada, fazzi to'plam tushunchasini tasodifiy miqdor tushunchasi bilan tenglashtirib bo'lmaydi.

**2- misol.** Universal to'plam sifatida  $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$  to'plam berilgan va unda  $A$  fazzi to'plamning  $\mu_A(x)$  a'zolik funksiyasi  $\mu_A(x_1) = 0,4$ ,  $\mu_A(x_2) = 1$ ,  $\mu_A(x_3) = 0$ ,  $\mu_A(x_4) = 0,9$ ,  $\mu_A(x_5) = 0,5$  tengliklar vositasida aniqlangan bo'lsin. Berilgan  $A$  fazzi to'plamni quyidagi shakllarda ifodalash mumkin:

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
0,4	1	0	0,9	0,5

$$A = \{0,4/x_1; 1/x_2; 0/x_3; 0,9/x_4; 0,5/x_5\},$$

$$A = \{0,4/x_1 + 1/x_2 + 0/x_3 + 0,9/x_4 + 0,5/x_5\}. \blacksquare$$

3- ta’rif.  $\sup_{x \in X} \mu_A(x)$  kattalik berilgan  $X$  universal to‘plamda  $\mu_A(x)$  a’zolik funksiyasi bilan aniqlangan  $A$  fazzi to‘plamning balandligi deb ataladi.

4- ta’rif. Balandligi 1ga teng fazzi to‘plam normal, balandligi 1dan kichik fazzi to‘plam esa subnormal fazzi to‘plam deb ataladi.

5- ta’rif. Agar berilgan  $X$  universal to‘plamda  $\mu_A(x)$  a’zolik funksiyasi bilan aniqlangan  $A$  fazzi to‘plam uchun faqat bitta  $x \in X$  elementda  $\mu_A(x) = 1$  bo‘lsa, u holda  $A$  unimodal fazzi to‘plam deb ataladi.

Berilgan  $X$  universal to‘plamda  $\mu_A(x)$  a’zolik funsiyasi bilan aniqlangan bo‘sh bo‘limgan ixtiyoriy  $A$  subnormal fazzi to‘plamni  $\mu_A(x) := \frac{\mu_A(x)}{\sup_{x \in U} \mu_A(x)}$  formuladan foydalaniib normal fazzi to‘plam qilib ifodalash imkoniyati bor.

$X$  universal to‘plamda mos ravishda  $\mu_A(x)$  va  $\mu_B(x)$  a’zolik funsiyalari bilan aniqlangan  $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlar berilgan bo‘lsin.

6- ta’rif. Agar barcha  $x \in X$  elementlar uchun  $\mu_A(x) = \mu_B(x)$  tenglik bajarilsa, u holda  $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlar o‘zaro teng deb ataladi.

Fazzi to‘plamlarning o‘zaro tengligi iborasi o‘rniga, ba’zan, ekvivalentligi iborasi ham qo’llaniladi.  $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlarning o‘zaro tengligi, odatdagidek,  $A = B$ , ekvivalentligi esa  $A \sim B$  shaklda belgilanadi.

7- ta’rif. Agar barcha  $x \in X$  elementlar uchun  $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$  tengsizlik bajarilsa  $A$  fazzi to‘plam  $B$  fazzi to‘plamning qism to‘plami deb ataladi.

Agar  $A$  fazzi to‘plam  $B$  fazzi to‘plamning qism to‘plami bo‘lsa, u holda  $A \subseteq B$  deb yoziladi va  $A$  (fazzi to‘plam)  $B$  da (fazzi to‘plamda) yotadi yoki  $B$   $A$  ni o‘z ichiga oladi (qamraydi) deb o‘qiladi. Masalan,

“juda katta sonlar” fazzi to‘plami “katta sonlar” fazzi to‘plamini o‘z ichiga oladi.

**8- ta’rif.** Agar barcha  $x \in X$  elementlar uchun  $\mu_A(x) = 1 - \mu_B(x)$  tenglik bajarilsa, u holda  $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlar bir-birini to‘ldiradi deb ataladi.

Bir-birini to‘ldiruvchi  $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlar uchun  $B = \overline{A}$  yoki  $A = \overline{B}$  belgilashlardan foydalanish mumkin.

**3- misol.**  $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$  universal to‘plam bo‘lsin. Bu to‘plamda  $A = "Bir nechta"$  fazzi to‘plami quyidagicha aniqlanishi va ifodalanishi mumkin:

$$A = 0,5/3 + 0,8/4 + 1/5 + 1/6 + 0,8/7 + 0,5/8. \blacksquare$$

**4- misol.**  $\{0, 1, 2, 3, \dots, n, \dots\}$  universal to‘plam berilgan bo‘lsin. Bu to‘plamda aniqlangan “Oz” fazzi to‘plami uchun a’zolik funksiyasini,

masalan,  $\mu_{“Oz”}(n) = \frac{1}{1 + (0,1n)^2}$  ko‘rinishda ifodalash mumkin.  $\blacksquare$

**5- misol.** 1- misoldagi vaziyatga qaytib, universal to‘plam sifatida  $[0, 70]$  segmentni qaraymiz. O‘zbekiston Respublikasining o‘rtal yoshli fuqarolari to‘plamini o‘rganish uchun “O‘rtal yosh” fazzi to‘plamini aniqlash mumkin. Bu yerda a’zolik funksiyasi sifatida, masalan, grafigi 2-shaklda tasvirlangan quyidagi funksiyani keltirsa bo‘ladi:

$$\mu_{“O‘rtal yosh”}(x) = \begin{cases} 0, \text{ agar } 0 \leq x \leq 20 \text{ yoki } 50 < x \leq 70 \text{ bo‘lsa}, \\ 0,005 \cdot (x - 20)^2, \text{ agar } 20 < x \leq 30 \text{ bo‘lsa}, \\ 1/(1 + ((x - 35)/5)^2), \text{ agar } 30 < x \leq 40 \text{ bo‘lsa}, \\ 0,005 \cdot (x - 50)^2, \text{ agar } 40 < x \leq 50 \text{ bo‘lsa}. \end{cases}$$

“O‘rtal yosh” fazzi to‘plamining tashuvchisi  $(20, 50)$  to‘plamdir. Uning ikkita  $x_1 = 30$  va  $x_2 = 40$  o‘tish nuqtalari bor.

$\sup_{x \in [0, 70]} \mu_{“O‘rtal yosh”}(x) = \mu_{“O‘rtal yosh”}(35) = 1$  bo‘lgani uchun “O‘rtal yosh” fazzi to‘plamining balandligi 1ga teng, ya’ni u normal fazzi to‘plamdir. Bu to‘plam unimodal fazzi to‘plamdir, chunki uning a’zolik funksiyasi faqat bitta  $x = 35$  nuqtada 1 qiymat qabul qiladi.  $\blacksquare$

Fazzi to‘plamning mohiyatini yaxshiroq anglash maqsadida, uni, odatda, shartli ravishda, 3- shakldagiga oxshash tasvirlashadi. Bu shaklda to‘g‘ri to‘rtburchak universal to‘plamga, egrini chiziq  $A$  fazzi to‘plam uchun a’zolik funksiyasiga mos keladi, fazzi to‘plamning o‘zi esa bo‘yab tasvirlangan.

**1.5.2. Fazzi to'plamlar ustida amallar.** Fazzi to'plamlar ustida turli amallar bajarish mumkin. Bu amallar odatdag'i so'zlashuv tilida uchraydigan ayrim iboralar bilan bog'liqdir. Bunday iboralar jumlasiga "emas", "va", "yoki", "ancha", "sal", "sal-pal", "o'ta", "juda", "uncha-muncha", "sezilarli (darajada)", "ko'plab", "ko'proq", "ozgina", "g'irashira", "yaxshi", "yaxshiroq", "yomon", "yomonroq", "o'xshash", "qariyb" va boshqalar kiradi. Bu iboralarning ba'zilari vaziyatni yetarli darajada aniq ifodalaydi, masalan, "emas" so'zi o'zidan oldin kelgan so'zni inkor qiladi. Lekin, bu iboralarning ko'pchiligi u bilan bog'liq so'zni (sifatni, xossani) qay darajada kuchaytirishi yoki susaytirishini anglash uchun vaziyatni e'tiborga olish kerak bo'ladi.

Quyida fazzi to'plamlar ustida bajarish mumkin bo'lgan ba'zi amallar keltiriladi. Albatta bu amallar ma'noga ega bo'lishi uchun muayyan shartlar bajarilishi kerak, masalan, qaralayotgan fazzi to'plamlar bitta universal to'plamda aniqlangan bo'lishi kerak. Bundan buyon fazzi to'plamlar bilan ish ko'rganda, zarur bo'ilmasa, universal to'plamning berilishiga to'xtalmaymiz.

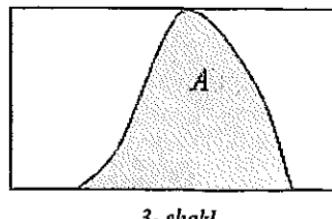
*A* va *B* fazzi to'plamlar, mos ravishda,  $\mu_A(x)$  va  $\mu_B(x)$  a'zolik funksiyalari bilan berilgan bo'lsin.

**9- ta'rif.** Agar  $B = \bar{A}$  bo'lsa, u holda *B* fazzi to'plam *A* fazzi to'plamdan

*to'ldirish amalini* qo'llash natijasida hosil qilindi deb aytildi.

To'ldirish amaliga "emas" bog'lovchisini mos qo'yish mumkin. 9-ta'rifga ko'ra, agar berilgan *A* fazzi to'plamdan to'ldirish amalini qo'llash natijasida  $\bar{A}$  fazzi to'plam hosil qilingan bo'lsa, u holda  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$  bo'ladi. 3- shaklda keltirilgan  $\bar{A}$  fazzi to'plamdan to'ldirish amalini qo'llash natijasida hosil qilingan  $\bar{A}$  fazzi to'plam 4- shaklda tasvirlangan.

**10- ta'rif.** *A*'zolik funksiyasi bo'lgan  $A \cup B$  fazzi to'plam berilgan *A* va *B* fazzi to'plamlarning birlashmasi deb ataladi:  $\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$ .



3-shakl

Odatda “berilgan  $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlarga birlashma amalini qo‘llab,  $A \cup B$  fazzi to‘plam hosil qilindi” deb yuritiladi. Birlashma amaliga “yoki” bog‘lovchisini mos qo‘yish mumkin. 3- va 4- shakllarda keltirilgan  $A$  va  $\bar{A}$  fazzi to‘plamlarning  $A \cup \bar{A}$  birlashmasi 5- shaklda tasvirlangan.

**11- ta’rif.**  $A$ ’zolik funksiyasi  $\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$  bo‘lgan  $A \cap B$  fazzi to‘plam berilgan  $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlarning kesishmasi deb ataladi.

11- ta’rifdan ko‘rinib turibdiki, berilgan  $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlarning kesishmasini belgilashda ham yangilik yo‘q, bu yerda odatdagи  $A \cap B$  ifoda qo‘llaniladi.  $A \cap B$  yozuv “ $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlarga kesishma amalini qo‘llab  $A \cap B$  fazzi to‘plam hosil qilindi” deb o‘qiladi. Kesishma amaliga “va” bog‘lovchisini mos qo‘yish mumkin. 6- shaklda tasvirlangan fazzi to‘plam 3- va 4- shakllarda keltirilgan  $A$  va  $\bar{A}$  fazzi to‘plamlarning  $A \cap \bar{A}$  kesishmasidir.

**6- misol.** 4- misolda keltirilangan “Oz” fazzi to‘plamga to‘ldirish amalini qo‘llab  $\{0,1,2,3,\dots,n,\dots\}$  universal to‘plamda aniqlangan “Oz emas” fazzi to‘plamni hosil qilish mumkin. U holda “Oz emas” fazzi to‘plamining a’zolik funksiyasi quyidagicha bo‘ladi:

$$\mu_{“Oz\ emas”}(n) = 1 - \mu_{“Oz”}(n) = 1 - \frac{1}{1 + (0,1n)^2} = \frac{(0,1n)^2}{1 + (0,1n)^2}. \blacksquare$$

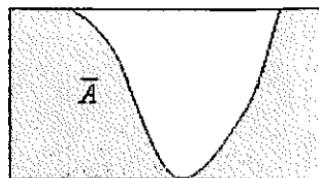
**12- ta’rif.**  $A$ ’zolik funksiyasi

$$\mu_{A \setminus B}(x) = \begin{cases} \mu_A(x) - \mu_B(x), & \text{agar } \mu_A(x) \geq \mu_B(x) > 0 \text{ bo‘lsa,} \\ 0, & \text{aks holda,} \end{cases}$$

bo‘lgan  $A \setminus B$  fazzi to‘plam berilgan  $A$  va  $B$  fazzi to‘plamlarning ayirmasi deb ataladi.

Fazzi to‘plamlar ustida yuqorida bayon qilingan amallardan tashqari kuchli birlashma, algebraik yig‘indi, kuchli kesishma, algebraik ko‘paytma, Dekart ko‘-paytma, konsentrash (jipslash), cho‘zish, songa ko‘paytirish va boshqa turli amallar ham kiritilgan.

**1.5.3. Fazzi to‘plamlarning asosiy xossalari.** Berilgan  $X$  universal to‘plamda aniqlangan ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  fazzi to‘plamlar uchun quyidagi xossalalar o‘rnildir:



4- shakl

1. Kommutativlik:  $A \cup B = B \cup A$ ,  $A \cap B = B \cap A$ .

2. Assotsiativlik:

$$(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C), (A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C).$$

3. Idempotentlik:  $A \cup A = A$ ,  $A \cap A = A$ .

4. Distributivlik:  $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$ ,

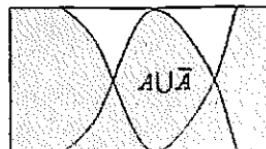
$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C).$$

5. Nolning xossalari:  $A \cup \emptyset = A$ ,

$$\emptyset \cup A = A, A \cap \emptyset = \emptyset, \emptyset \cap A = \emptyset.$$

6. Birning xossalari:  $A \cap X = A$ ,

$$X \cap A = A, A \cup X = X, X \cup A = X.$$



5-shakl

7. De Morgan qonunlari:  $\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$ ,  $\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$ .

8. Involuyutivlik qonuni:  $\overline{\overline{A}} = A$ .

Tabiiyki, bu xossalarning har birini qat'iy isbotlash mumkin. Distributivlik xossasini ifodalovchi tengliklardan faqat birinchisining, ya'ni  $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$  tenglikning isbotini keltiramiz. Qolgan barcha tengliklarning isbotini o'quvchiga topshiriq sifatida havola qilamiz.

Fazzi to'plamlarning tengligi, birlashmasi va kesishmasi ta'riflariga ko'ra ixtiyoriy  $x \in X$  uchun

$$\min\{\mu_A(x), \max\{\mu_B(x), \mu_C(x)\}\} = \\ = \max\{\min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \min\{\mu_A(x), \mu_C(x)\}\}$$

tenglik o'rinni bo'lishini ko'rsatish zarur.

Faraz qilaylik,  $a = \mu_A(x)$ ,  $b = \mu_B(x)$ ,  $c = \mu_C(x)$  bo'lsin.  $a$ ,  $b$  va  $c$  sonlar uchun quyidagi 15 holdan biri ro'y berishi muqarrardir:

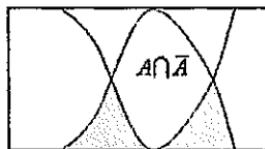
$$1) a > b > c; \quad 2) a > b = c; \quad 3) a = b > c;$$

$$4) a = b = c; \quad 5) a > c > b; \quad 6) a > c = b;$$

$$7) a = c > b; \quad 8) b > a > c; \quad 9) b > a = c;$$

$$10) b > c > a; \quad 11) b > c = a; \quad 12) b = c > a;$$

$$13) c > a > b; \quad 14) c > a = b; \quad 15) c > b > a.$$



6-shakl

Har bir hol uchun yuqoridagi tenglik o'rinnlidir:

$$1) \min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = b,$$

$$\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{b, c\} = b;$$

- 2)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = b = c$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{b, c\} = b = c$ ;  
 3)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = b = a$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{b, c\} = b = a$ ;  
 4)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = a = b = c$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{a, a\} = a = b = c$ ;  
 5)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = a$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{a, c\} = a$ ;  
 6)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = a$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{a, a\} = a$ ;  
 7)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, c\} = c$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{b, c\} = c$ ;  
 8)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = b = c$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{b, c\} = b = c$ ;  
 9)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, c\} = a = c$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{b, a\} = a = c$ ;  
 10)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = a$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{a, a\} = a$ ;  
 11)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = a = c$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{a, a\} = a = c$ ;  
 12)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, b\} = a$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{a, a\} = a$ ;  
 13)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, c\} = a$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{b, a\} = a$ ;  
 14)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, c\} = a = b$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{a, a\} = a = b$ ;  
 15)  $\min\{a, \max\{b, c\}\} = \min\{a, c\} = a$ ,  
 $\max\{\min\{a, b\}, \min\{a, c\}\} = \max\{a, a\} = a$ . ■

Ta'kidlaymizki, oddiy to'plamlardan farqli o'laroq fazzi to'plamlar uchun, umumiy holda,  $A \cup \bar{A} \neq X$ ,  $A \cap \bar{A} \neq \emptyset$  (5- va 6- shakllarga qarang).

## *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Universal to'plam  $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$  shaklda berilgan va unda  $A$  fazzi to'plamning  $\mu_A(x)$  a'zolik funksiyasi  $\mu_A(x_1)=0,3$ ,  $\mu_A(x_2)=0$ ,  $\mu_A(x_3)=0,5$ ,  $\mu_A(x_4)=0,9$ ,  $\mu_A(x_5)=1$ ,  $\mu_A(x_6)=0,8$  tengliklar vositasida aniqlangan bo'lzin. Yuqorida bayon qilingan belgilashlardan foydalanib, berilgan  $A$  fazzi to'plamni ifodalang.  $A$  fazzi to'plam misolida fazzi to'plam tashuvchisi, o'tish nuqtasi, balandligi va unimodal fazzi to'plam kabi tushunchalarni o'rganining.  $A$  fazzi to'plamning normal yoki subnormal bo'lishini tekshiring.  $\bar{A}$  to'ldiruvchi fazzi toplamni aniqlang.

2. Universal to'plam  $\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$  shaklda berilgan va unda

$$A = 0,4/x_1 + 0,2/x_2 + 0/x_3 + 1/x_4,$$

$$B = 0,7/x_1 + 0,9/x_2 + 0,1/x_3 + 1/x_4,$$

$$C = 0,1/x_1 + 1/x_2 + 0,2/x_3 + 0,9/x_4$$

fazzi toplamlarani aniqlangan bo'lzin.

a) Bu fazzi to'plamlarning barcha juftlari uchun orasiga " $\subseteq$ " belgisini qo'yish mumkin bo'lganlarini aniqlang.

b) Bu fazzi to'plamlarning har biri uchun to'ldiruvchi fazzi toplamni aniqlang.

d) Bu fazzi to'plamlarning barcha juftlari uchun birlashma, kesishma va ayirma amallarini qo'llash natijasida hosil bo'lgan fazzi to'plamlarni toping.

3.  $X = (50, 100]$  universal to'plamda aniqlangan  $A = "Qari"$  fazzi to'plamning a'zolik funksiyasi  $\mu_{Qari}(x) = (1 + ((x - 50)/5)^{-2})^{-1}$  ko'rinishga ega bo'lzin.

a)  $A$  fazzi to'plamning balandligini topib, uning normal fazzi to'plam emasligini ko'rsating.

b)  $A$  fazzi to'plam uchun o'tish nuqtasini toping.

d)  $A$  ning unimodal fazzi to'plam bo'lish-bo'lmasligini tekshiring.

4. "Iga yaqin miqdor" va "Iga juda yaqin miqdor" fazzi to'plamlarini aniqlang va ulardan foydalananib nazariy ma'lumotlarni talqin qiling.

5. Fazzi to'plamlarning asosiy xossalalarini isbotlang.

## *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Qaysi maqola fazzi to'plamlar bilan bog'liq ilmiy ishlarning paydo bo'lishiga asos bo'ldi?

2. Fazzi to'plam nima?

3. A'zolik funksiyasi deganda nimani tushunasiz?

- Fazzi qism toplamning tashuvchisi nima?
- Fazzi toplamning o'tish nuqtasi qanday aniqlanadi?
- Fazzi toplamlarni ifodalashning qanday usullarini bilasiz?
- Fazzi toplamning balandligi deganda nimani tushunasiz?
- Bo'sh fazzi toplam qanday aniqlanadi?
- Normal va subnormal fazzi toplamlar bir-biridan qanday farqlanadi?
- Unimodal fazzi toplam bo'sh fazzi toplam bo'lishi mumkinmi?
- Qanday shartlar bajarilsa, berilgan fazzi toplamlar o'zaro teng deb hisoblanadi?
- Qism fazzi toplam tushunchasi qanday aniqlanadi?
- Bir-birini to'ldiruvchi fazzi toplamlar uchun a'zolik funksiyalari o'zaro qanday munosabatda bo'ladi?
- Berilgan fazzi to'plamlar birlashmasi bilan ularning kesishmasi bir-biridan qanday farqlanadi?
- Fazzi toplamlarning qanday xossalari bilasiz?
- Oddiy to'plamlar uchun o'rinci, lekin fazzi to'plamlar uchun o'rinci bo'limgan tenglik topa olasizmi?

### 1.6. Munosabatlar

*Munosabat. Tartiblangan juftlik. Unar, binar va n-ar munosabatlari. Aniqlanish va qiymatlar sohalari. Refleksiv, simmetrik va tranzitiv munosabatlari. Ekvivalentlik sinfi. Funksiya. Funksiyalar tengligi. Bir qiymatli va teskari funksiyalar.*

*Superpozitsiya. Funksiyalarning funksiysi. Antisimmetrik va irrefleksiv munosabatlari. Tartiblash, qisman tartiblash va chiziqli tartiblash munosabatlari. Qisman tartiblangan to'plam.*

**1.6.1. Binar munosabat.** Diskret matematikada fundamental tushunchalardan biri bo'lgan **munosabat** tushunchasi predmetlar (narsalar) va tushunchalar orasidagi aloqani ifodalaydi. Quyidagi to'liqsiz gaplar munosabatlarga misol bo'la oladi:

... kichik ... dan, ... teng ... ga, ... bo'linadi ... ga va hokazo.

Odatda, munosabat tushunchasi to'plamlar nazariyasi nuqtai nazaridan turib o'rganiladi. Munosabat tushunchasiga aniqlik kiritish uchun **tartiblangan juftlik** tushunchasini o'rganamiz.

**1- ta'rif.** *Ma'lum tartibda joylashgan ikki predmetdan tuzilgan kortej tartiblangan juftlik deb ataladi.*

Odatda tartiblangan juftlik quyidagi xususiyatlarga ega deb faraz qilinadi:

1) ixtiyoriy  $x$  va  $y$  predmetlar uchun  $\langle x, y \rangle$  kabi belgilanadigan muayyan obyekt mavjud bo'lib, har bir  $x$  va  $y$  predmetlarga yagona

tartiblangan  $\langle x, y \rangle$  juftlik mos keladi ( $\langle x, y \rangle$  yozuv “ $x$  va  $y$  ning tartiblangan juftligi” deb o‘qiladi);

2) agar ikkita  $\langle x, y \rangle$  va  $\langle u, v \rangle$  tartiblangan juftlik uchun  $x = u$  va  $y = v$  bo‘lsa, u holda  $\langle x, y \rangle = \langle u, v \rangle$  bo‘ladi.

$\langle x, y \rangle$  tartiblangan juftlik  $\langle x, y \rangle = \{\{x\}, \{x, y\}\}$  ko‘rinishdagi to‘plamdir, ya’ni u shunday ikki elementli to‘plamki, uning bir elementi  $\{x, y\}$  tartibsiz juftlikdan iborat, boshqa  $\{x\}$  elementi esa, shu tartibsiz juftlikning qaysi hadi birinchi hisoblanishi kerakligini ko‘rsatadi.

Tartiblangan juftliklardan birgalikda tartiblangan juftliklar to‘plamini tashkil etishadi.

2- ta’rif.  $\langle x, y \rangle$  tartiblangan juftlikdagi  $x$  uning birinchi koordinatasi,  $y$  esa ikkinchi koordinatasi deb ataladi.

Tartiblangan juftliklar atamasi asosida tartiblangan  $n$ -liklarni aniqlash mumkin.  $x, y$  va  $z$  predmetlarning tartiblangan uchligi  $\langle x, y, z \rangle$  quyidagi tartiblangan juftliklar shaklida aniqlanadi:  $\langle\langle x, y \rangle, z \rangle$ . Xuddi shu kabi  $x_1, x_2, \dots, x_n$  predmetlarning tartiblangan  $n$ -ligi  $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ , ta’rifga asosan,  $\langle\langle x_1, x_2, \dots, x_{n-1} \rangle, x_n \rangle$  tarzda aniqlanadi.

Matematik mantiqda  $n$ -ar munosabat tartiblangan  $n$ -liklar to‘plami sifatida aniqlanadi. Ba’zan  $n$ -ar munosabat iborasi o‘rniga  $n$  o‘rinli munosabat iborasi qo‘llaniladi. Agar munosabat bir o‘rinli bo‘lsa, u holda  $u$  unar munosabat, ikki o‘rinli bo‘lganda esa binar munosabat deb ataladi. Unar munosabat xossa (xususiyat) deb ham yuritiladi. Adabiyotda, ko‘pincha, 3-ar munosabat ternar munosabat deb nomланади.

1- misol.  $\{\langle 2, 4 \rangle, \langle 5, 6 \rangle, \langle 7, 6 \rangle, \langle 8, 8 \rangle\}$  tartiblangan juftliklar to‘plami binar munosabatdir. ■

2- misol. Agar  $\rho$  ayniyat munosabatini bildirsa, u holda  $\langle x, y \rangle \in \rho$  yozuv  $x \equiv y$  ayniyatni bildiradi. ■

3- misol. Agar  $\rho$  onalik munosabatini bildirsa, u holda  $\langle Xurshida, Iroda \rangle \in \rho$  yozuv Xurshida Iordaning onasi ekanligini bildiradi. ■

4- misol. Ternar munosabatga butun sonlar to‘plamida aniqlangan qo‘sish amalini misol qilib keltirsa bo‘ladi. ■

Bundan keyin binar munosabat atamasi o‘rnida, qisqalik uchun, munosabat atamasini ishlatamiz.

3- ta’rif. Agar  $\rho$  biror munosabatni ifodalasa, u holda  $\langle x, y \rangle \in \rho$  va  $x \rho y$  ifodalar o‘zaro almashuvchi ifodalar deb ataladi.

$x \rho y$  ifoda (yozuv) “infiks yozushi” deb yuritiladi va “ $x$  (predmet)  $y$  (predmet)ga nisbatan  $\rho$  munosabatda” deb o‘qiladi. Odatdagи  $x = y$ ,  $x < y$ ,  $x \neq y$  belgilashlar (yozuvlar)  $x \rho y$  ifodadan kelib chiqqan deb hisoblash mumkin.

$\{x / x \in A\}$  yozuvni, to‘plamlar nazariyasidagi kabi, “shunday  $x$  lar to‘plamiki,  $x \in A$ ” deb tushunamiz.

4- ta'rif.  $\{x / \text{ayrim } y \text{ uchun } \langle x, y \rangle \in \rho\}$  to'plam  $\rho$  munosabatning aniqlanish sohasi deb ataladi va  $D_\rho$  kabi belgilanadi.

5- ta'rif.  $\{y / \text{ayrim } x \text{ uchun } \langle x, y \rangle \in \rho\}$  to'plam  $\rho$  munosabatning qiymatlar sohasi deb ataladi va  $R_\rho$  kabi belgilanadi.

Boshqacha qilib aytganda,  $\rho$  munosabatning aniqlanish sohasi shu  $\rho$  munosabatning birinchi koordinatalaridan tashkil topgan to'plamdir, ikkinchi koordinatalaridan tuzilgan to'plam esa, uning qiymatlar sohasidir.

5- misol.  $\{\langle 2, 4 \rangle, \langle 3, 3 \rangle, \langle 6, 7 \rangle\}$  ko'rinishdagi  $\rho$  munosabat berilgan bo'lsin. U holda  $D_\rho = \{2, 3, 6\}$ ,  $R_\rho = \{4, 3, 7\}$ . ■

Tartiblangan juftliklar to'plami tushunchasidan foydalanim, Dekart ko'paytmasini (ushbu bobning 4- paragrafiga qarang) boshqacha ham aniqlash mumkin. Agar  $x$  biror  $X$  to'plamning elementi,  $y$  esa  $Y$  to'plamning elementi bo'lsa, u holda tartiblangan  $\langle x, y \rangle$  juftliklar  $C$  to'plami  $X$  va  $Y$  to'plamlarning Dekart ko'paytmasi deyiladi:

$$C = X \times Y = \{\langle x, y \rangle / x \in X, y \in Y\}.$$

Har bir  $\rho$  munosabat  $X \times Y$  to'g'ri ko'paytmaning qism to'plami bo'ladi va  $X \supseteq D_\rho$ ,  $Y \supseteq R_\rho$ .

6- ta'rif. Agar  $\rho \subseteq X \times Y$  bo'lsa, u holda  $\rho$  shu  $X$  dan  $Y$  ga bo'lgan munosabat deb ataladi.

7- ta'rif. Agar  $\rho \subseteq X \times Y$  va  $Z \supseteq X \cup Y$  bo'lsa, u holda  $\rho$  dan  $Z$  ga bo'lgan munosabat deb ataladi.

8- ta'rif.  $Z$  dan  $Z$  ga bo'lgan munosabat  $Z$  ichidagi munosabat deb ataladi.

9- ta'rif.  $X$  to'plam ichidagi  $X \times X$  munosabat  $X$  ichidagi universal munosabat deb ataladi.

10- ta'rif.  $\{\langle x, x \rangle / x \in X\}$  munosabat  $X$  ichidagi ayniyat munosabati deb ataladi va  $i_x$  yoki  $i$  simvoli bilan belgilanadi.

Ixtiyoriy  $X$  to'plamning  $x$  va  $y$  elementlari uchun  $x_i_y$  ifoda  $x = y$  bilan teng kuchlidir.

$A$  to'plam va  $\rho$  munosabat berilgan bo'lsin. U holda  $\rho[A] = \{y / A \text{ ning ayrim } x \text{ lari uchun } x \rho y\}$  bo'ladi.

11- ta'rif.  $\rho[A]$  to'plam  $A$  to'plam elementlarining  $\rho$ -obrazlari to'plami deb ataladi.

6- misol.  $y = 2x + 1$  tenglama bilan aniqlangan to'g'ri chiziqni  $\{\langle x, y \rangle \in R \times R / y = 2x + 1\}$ , ushbu  $y < x$  tengsizlikni esa  $\{\langle x, y \rangle \in R \times R / y < x\}$  shaklda ifodalash mumkin. ■

**1.6.2. Ekvivalentlik munosabati.** Munosabatlar turli xossalarga ega bo'lishi mumkin. Matematikada quyidagi 12- ta'rifda ko'rsatilgan uchta xossaga ega bo'lgan munosabatlar ko'p uchragani uchun ularga maxsus nom berilgan.

**12- ta'rif.**  $X$  to'plamning ixtiyoriy  $x$  elementi uchun:

agar  $x \rho x$  bo'lsa, u holda  $\rho$  munosabat  $X$  to'plamdagagi refleksiv munosabat;

agar  $x \rho y$  dan  $y \rho x$  kelib chiqsa, u holda  $\rho$  munosabat simmetrik munosabat;

agar  $x \rho y$  va  $y \rho z$  dan  $x \rho z$  kelib chiqsa, u holda  $\rho$  munosabat tranzitiv munosabat deb ataladi.

**13- ta'rif.** Agar biror to'plamdagagi munosabat refleksiv, simmetrik va tranzitivlik xossalariiga ega bo'lsa, u holda bunday munosabat shu to'plamdagagi ekvivalentlik munosabati deb ataladi.

Agar  $\rho$  munosabat  $X$  to'plamdagagi ekvivalentlik munosabati bo'lsa, u holda  $D_\rho = X$  bo'lishi ravshandir.

**7- misol.** Quyidagi har bir munosabat muayyan to'plamdagagi ekvivaletlik munosabatiga misol bo'la oladi.

1. Istalgan to'plamdagagi tenglik munosabati.

2. Tekislikda joylashgan barcha uchburchaklar to'plamidagi o'xshashlik munosabati.

3. Butun sonlar to'plamidagi  $n$  modul bo'yicha taqqoslash munosabati.

4. O'zbekiston Respublikasida yashovchi odamlar to'plamidagi "bir uyda yashovchilar" munosabati. ■

Ekvivalentlik munosabati ushbu asosiy xususiyatga ega: u to'plamni kesishmaydigan qism to'plamlarga bo'ladi. Masalan, 7- misolning 4-bandidagi "bir uyda yashovchilar" munosabati O'zbekiston Respublikasida yashovchi odamlar to'plamini bir-biri bilan kesishmaydigan "bir uyda yashovchilar" va "qolganlar" qism to'plamlariga bo'ladi. Bu aytilganlarni quyidagicha umumilashtirish mumkin.

**14- ta'rif.**  $\rho$  biror  $X$  to'plamdagagi ekvivalentlik munosabati bo'lsin. Agar  $X$  to'plamning  $A$  qism to'plamida shunday  $x$  element topilib,  $A = \{y / x \rho y\}$  bo'lsa, u holda  $A$  qism to'plam ekvivalentlik sinfi yoki ekvivalentlik  $\rho$ -sinfi deb ataladi.

Keltirilgan ta'rifa asosan  $X$  to'plamning  $A$  qism to'plami ekvivalentlik sinfi bo'lishi uchun  $X$  to'plamning  $A = \rho[\{x\}]$  tenglikni qanoatlantiruvchi  $x$  elementi mavjud bo'lishi yetarli va zarurdir. Agar  $\rho$  munosabat to'g'risida hech qanday shubha tug'ilmaydigan bo'lsa, u holda  $X$  to'plamdagagi  $x$  elementlarning  $\rho$ -obrazlari to'plami  $[x]$  shaklida belgilanadi (ya'ni  $\rho[\{x\}] = [x]$ ) va bu to'plam  $x$  yuzaga keltirgan

ekvivalentlik sinfi deb ataladi. Ekvivalentlik sinfi quyidagi ikki xususiyatga ega:

1)  $x \in [x]$  – bir sinfning hamma elementlari o‘zaro ekvivalentdir;

2) agar  $x \rho y$  bo‘lsa, u holda  $[x] = [y]$ .

1) xossa ekvivalentlik munosabatining refleksivlik xususiyatidan kelib chiqadi.

2) xossani isbotlaymiz.  $x \rho y$  bo‘lsin, ya’ni  $x$  element  $y$  elementga ekvivalent bo‘lsin, u holda  $[y] \subseteq [x]$ . Haqiqatan ham,  $z \in [y]$  (ya’ni,  $y \rho z$ ) munosabatdan va  $x \rho z$  bo‘lganligi uchun,  $\rho$  munosabatning tranzitiv xususiyatiga asosan,  $x \rho z$  kelib chiqadi, ya’ni  $z \in [x]$ . Ekvivalentlik munosabatining simmetriklik xossasidan foydalaniib,  $[x] \subseteq [y]$  bo‘lishini isbot qilish mumkin. Demak,  $[x] = [y]$ .

**1.6.3. Funksiya tushunchasi.** Funksiyalar superpozitsiyasi. Funksiya tushunchasini yuqorida o‘rganilgan atamalar orqali aniqlaymiz. Funksiya shunday munosabatki, uning turli elementlarining (juftliklarining) birinchi koordinatalari hech qachon o‘zaro teng bo‘lmaydi. Funksiyaning grafigi tartiblangan juftliklar to‘plamidan iborat. Funksiya bilan uning grafigi orasida hech qanday farq yo‘q.

Shunday qilib,  $f$  munosabat quyidagi talablarni qanoatlan-tirgandagina funksiya bo‘la oladi:

1)  $f$  ning elementlari faqat tartiblangan juftliklardan iborat;

2) agar  $\langle x, y \rangle$  va  $\langle x, z \rangle$  elementlar  $f$  ning elementlari bo‘lsa, u holda  $y = z$  bo‘ladi.

8- misol.  $\{\langle 1, 2 \rangle, \langle 2, 2 \rangle, \langle 3, 4 \rangle\}$  shaklda berilgan  $s$  munosabat funksiyadir va  $D_s = \{1, 2, 3\}$ ,  $R_s = \{2, 4\}$ . ■

9- misol.  $\{\langle 3, 4 \rangle, \langle 3, 5 \rangle, \langle 4, 6 \rangle\}$  munosabat funksiya bo‘la olmaydi, chunki  $\langle 3, 4 \rangle$  va  $\langle 3, 5 \rangle$  elementlarining birinchi koordinatalari o‘zaro teng. ■

10- misol.  $\{\langle x, x^2 + x + 1 \rangle / x \in R\}$  funksiyadir, chunki agar  $x = u$  bo‘lsa, u holda  $x^2 + x + 1 = u^2 + u + 1$ . ■

11- misol.  $\{\langle x^2, x \rangle / x \in R\}$  munosabat funksiya bo‘la olmaydi, chunki uning birinchi koordinatalari o‘zaro teng bo‘lgan elementlari (masalan,  $\langle 1, 1 \rangle$  va  $\langle 1, -1 \rangle$ ) mavjud. ■

15- ta’rif. Agar  $f$  funksiya va  $\langle x, y \rangle \in f$  (ya’ni  $x f y$ ) bo‘lsa, u holda  $x$  berilgan  $f$  funksiyaning argumenti,  $y$  esa shu funksiyaning  $x$  argumentdagi qiymati yoki  $x$  elementining obrazzi deb ataladi.

$x$  argumentning  $f$  funksiyasini belgilash uchun  $x f$ ,  $f(x)$ ,  $f x$  yoki  $x f$  yozuvlardan foydalaniadi.  $f(x)$  yozuvni  $f(x) = f[\{x\}]$  deb, ya’ni  $x$  elementning  $f$ -obrazlari to‘plami deb qarash mumkin.

Berilgan  $f$  va  $g$  funksiyalar bir xil elementlardan tuzilgan bo'lsa, bunday funksiyalar teng bo'ladi ( $f = g$ ), ya'ni boshqacha qilib aytganda,  $D_f = D_g$  va barcha  $x$  argumentlar uchun  $f(x) = g(x)$  bo'lsagina,  $f = g$  bo'ladi.

Shunday qilib, funksiya berilgan bo'lishi uchun uning aniqlanish sohasi va shu sohaning har bir elementi uchun funksiyaning qiymati berilishi kerak.

**12- misol.** Berilgan  $f$  funksiya uchun  $\{<x, x^2 + x + 1> / x \in R\}$  dan  $f(x) = x^2 + x + 1$  kelib chiqadi. ■

Agar  $f$  funksiyaning aniqlanish sohasi  $R_f \subseteq Y$  bo'lsa, u holda funksiyaning o'zgarish sohasi  $Y$  to'plami ichida bo'ladi, deb yuritiladi va quyidagicha belgilanadi:  $f: X \rightarrow Y$  yoki  $X \rightarrow Y$ .

Yuqorida ko'rsatilgan hamma  $f$  to'plam  $X \times Y$  to'plamning qism to'plami bo'ladi, uni  $Y^x$  deb belgilaymiz.

Agar  $X = \emptyset$  bo'lsa, u holda  $Y^x$  faqatgina bir elementdan iborat bo'ladi va u  $X \times Y$  to'plamning bo'sh qism to'plamidir. Agar  $Y = \emptyset$  va  $X = \emptyset$  bo'lsa, u holda  $Y^x = \emptyset$ .

**16- ta'rif.** Agar  $f$  funksiya uchun  $x_1 \neq x_2$  bo'lishidan  $f(x_1) \neq f(x_2)$  kelib chiqsa, u holda  $f$  bir qiymatli funksiya deb ataladi.

**17- ta'rif.** Berilgan  $f$  va  $g$  funksiyalarning superpozitsiyasi deb  $g \circ f = \{<x, z> / shunday y borki, xfy va ygz\}$  to'plamga aytildi.

Berilgan  $f$  va  $g$  funksiyalarning  $g \circ f$  superpozitsiyasi ham funksiya bo'ladi.  $f$  va  $g$  funksiyalarning  $z = g \circ f$  superpozitsiyasini  $z = g(f(x))$  ko'rinishda yozish mumkin. Superpozitsiyaga berilgan funksiyalar ustida bajarilayotgan amal deb qarasa bo'ladi. Funksiyalarning superpozitsiyasi funksiyalarning funksiysi deb ham ataladi.

**13- misol.**  $y = \sin x$  va  $z = \ln y$  bo'lsin, u holda  $z = \ln \sin x$  funksiya  $\sin x$  va  $\ln y$  funksiyalarning superpozitsiyasidir. ■

Superpozitsiya amali assotsiativlik qonuniga bo'ysunadi, ya'ni ixtiyoriy  $g$ ,  $f$  va  $h$  funksiyalar uchun quyidagi tenglik o'rinnlidir:  $g \circ (f \circ h) = (g \circ f) \circ h$ .

Agar  $f: X \rightarrow Y$  va  $g: Y \rightarrow Z$  bo'lsa, u holda  $g \circ f: X \rightarrow Z$  va  $(g \circ f)(x) = g(f(x))$  bo'ladi.

**18- ta'rif.** Agar  $f$  bir qiymatli funksiya bo'lsa, u holda  $f$  funksiyadan koordinatalarining o'rinalarini almashtirish natijasida hosil bo'ladigan funksiya  $f$  funksiyasiga teskari funksiya deb ataladi va  $f^{-1}$  kabi belgilanadi.

Faqatgina bir qiymatli funksiyalar uchun bajariladigan  $f^{-1}$  amaliga qaytarish amali deyiladi.

$f^{-1}$  funksiyaning aniqlanish sohasi uchun  $D_{f^{-1}} = R_f$ , o'zgarish sohasi uchun esa  $R_{f^{-1}} = D_f$  o'rinnidir.

**1.6.4. Tartiblash munosabati.** Endi tartiblash munosabatini o'rganamiz.

**19- ta'rif.** Berilgan  $X$  to'plamdagи  $x$  va  $y$  elementlar uchun  $y \rho x$  munosabat o'rniga  $x \rho y$  munosabat o'rinli bo'lishini ko'rsatuvchi munosabat **tartiblash munosabati** deb ataladi.

Tartiblash munosabati yordamida elementlarni qanday tartibda qo'yish masalasini hal etish mumkin. Haqiqiy sonlar to'plami uchun  $<$ ,  $\leq$ ,  $>$ ,  $\geq$  munosabatlar tartiblash munosabatlariga misol bo'la oladi. To'plamlar sistemasi uchun xuddi shunga o'xhash vazifani  $\subset$ ,  $\subseteq$  munosabatlar o'ynaydi (ushbu bobning 3- paragrafiga qarang).

**20- ta'rif.** Agar  $X$  to'plamining ixtiyoriy  $x$  va  $y$  elementlari uchun bir vaqtda  $x \rho y$  va  $y \rho x$  bajarilishidan  $x = y$  bo'lishi kelib chiqsa, u holda bunday  $\rho$  munosabat **antisimmetrik munosabat** deb ataladi.

**21- ta'rif.**  $X$  to'plam ichida refleksivlik, antisimmetrik va tranzitivlik xossalariiga ega bo'lgan  $\rho$  munosabat  $X$  to'plamdagи qisman tartiblash munosabati deb ataladi. Har qanday refleksiv va tranzitiv munosabat tartiblash munosabati deb ataladi.

Qisman tartiblash munosabati odadagi " $\leq$ " simvol bilan belgilanadi. Agar  $\leq$  munosabati  $X$  to'plamni qisman tartiblasa, u holda  $X$  to'plamning istalgan  $x$  va  $y$  elementlari uchun  $x \leq y$  munosabat bajarilishi ham, bajarilmasligi ham mumkin. Agar  $x \leq y$  va  $x \neq y$  bo'lsa, u holda  $x < y$  deb yoziladi va "x (element) y (element)dan kichik" yoki "x (element) y (element)dan oldin kelladi" deb o'qiladi.

**22- ta'rif.**  $X$  to'plamning har qanday  $x$  elementi uchun  $x \rho x$  munosabat bajarilmasa, u holda  $\rho$  shu  $X$  to'plamdagи irrefleksiv munosabat deb ataladi.

Agar  $\leq$  munosabat  $X$  to'plamdagи qisman tartiblash munosabati bo'lsa, u holda  $<$  munosabat  $X$  to'plamdagи irrefleksiv va tranzitiv munosabat bo'ladi.

**23- ta'rif.** Qisman tartiblash  $\rho$  munosabatning (o'zgarish sohasi bilan ustma-ust tushuvchi) aniqlanish sohasiga qarashli ixtiyoriy turli  $x$  va  $y$  elementlari uchun yo'x  $x \rho y$  yoki  $y \rho x$  o'rinli bo'lsa, bunday munosabat chiziqli (oddiy) tartiblash munosabati deb ataladi.

Haqiqiy sonlarni qiymatlariga qarab tartiblash chiziqli tartiblash munosabatiga misol bo'la oladi.

24- ta'rif. Agar biror  $X$  to'plamda qisman tartiblash munosabati  $\leq$  berilgan bo'lsa, u holda bu to'plam qisman tartiblangan to'plam deb ataladi va  $u < X, \leq >$  tartiblangan juftlikdan iborat bo'ladi.

25- ta'rif. Agar biror  $X$  to'plamda chiziqli (oddiy) tartiblash munosabati  $\leq$  berilgan bo'lsa, u holda bu to'plam chiziqli (oddiy) tartiblangan to'plam deb ataladi va  $u < X, \leq >$  tartiblangan juftlikdan iborat bo'ladi.

Masalan, agar  $f$  to'plamlar sistemasi bo'lsa, u holda  $< f, \subseteq >$  qisman tartiblangan to'plam bo'ladi.

$X$  to'plamning tartiblash munosabati va  $X'$  to'plamning  $\leq$  tartiblash munosabati berilgan bo'lsin. Agar  $f: X \rightarrow X'$  funksiya uchun  $x \leq y$  dan  $f(x) \leq f(y)$  kelib chiqsa, u holda bu funksiya  $X$  to'plamining  $\leq$  tartiblash munosabatiga va  $X'$  to'plamining  $\leq$  tartiblash munosabatiga nisbatan tartibini saqlaydi deb hisoblanadi. Agar  $X$  va  $X'$  to'plamlar orasida shunday o'zaro bir qiymatli moslik topilsaki, uning o'zi ham teskarisi ham tartibni saqlasa, u holda bu o'zaro bir qiymatli moslik qisman tartiblangan  $< X, \leq >$  va  $< X', \leq' >$  to'plamlar orasidagi izomorfizmdir.

Endi qisman tartiblangan to'plamlar bilan bog'liq bir necha tushunchalarни о'рганамиз. Agar  $X$  to'plamning barcha  $x$  elementlari uchun  $y \leq x$  bo'lsa, u holda uning  $y$  elementi  $X$  to'plamning  $\leq$  qisman tartiblash munosabatiga nisbatan eng kichik elementi deb ataladi. Agar shunday element mavjud bo'lsa, u holda u yagonadir. Agar  $X$  to'plamning hech qaysi  $x$  elementi uchun  $x < y$  munosabat bajarilmasa, u holda uning  $y$  elementi  $X$  to'plamning  $\leq$  qisman tartiblash munosabatiga nisbatan minimal elementi deb ataladi. Ravshanki, berilgan to'plamda minimal element yagona bo'lmasligi ham mumkin.

Agar har qanday  $x \in X$  uchun  $x \leq y$  bo'lsa, u holda  $X$  to'plamning  $y$  elementi shu to'plamning  $\leq$  munosabatiga nisbatan eng katta elementi deb aytildi. Agar shunday element mavjud bo'lsa, u yagonadir.  $X$  to'plamning hech qaysi  $x$  elementi uchun  $x > y$  munosabat bajarilmasa, u holda  $X$  to'plamning  $y$  elementi shu to'plamning  $\leq$  munosabatiga nisbatan maksimal elementi deb ataladi.

Agar  $X$  to‘plamning bo‘sh bo‘lmanan ixtiyoriy qism to‘plami eng kichik elementga ega bo‘lsa, u holda  $\langle X, \leq \rangle$  qisman tartiblangan to‘plam to‘liq tartiblangan to‘plam deb ataladi. Odatdagি tartibga ega  $\{0, 1, 2, \dots\}$  (manfiymas butun sonlar) to‘plami to‘liq tartiblangan to‘plamga misol bo‘la oladi.

$\langle X, \leq \rangle$  qisman tartiblangan va  $A \subseteq X$  bo‘lsin. Agar istalgan  $a \in A$  uchun  $a \leq x$  bajarilsa, u holda  $X$  to‘plamning  $x$  elementi  $A$  to‘plamning yuqori chegarasi deb ataladi. Xuddi shu kabi, agar istalgan  $a \in A$  uchun  $x \leq a$  bajarilsa, u holda  $X$  to‘plamning  $x$  elementi  $A$  to‘plamning quyisi chegarasi deb ataladi.

Agar  $M$  tartiblangan to‘plam bo‘lsa, u holda uning  $M^1$  qism to‘plami ham tartiblangan bo‘ladi. Agar bu tartiblangan to‘plam chiziqli bo‘lsa, u holda  $M^1$  qism to‘plam  $M$  to‘plamning zanjiri deyiladi.  $l = |M^1| - 1$  ifoda zanjirning uzunligi deb ataladi, bu yerda  $|M^1| - 1$  chiziqli tartiblangan  $M^1$  qism to‘plamning quvvati.  $l$  uzunlikdagi har bir zanjir  $1, 2, \dots, l+1$  butun sonli zanjirga izomorfdir.

$M$  to‘plamning eng katta elementini  $m_i$  bilan va eng kichik elementini  $m_0$  bilan belgilaymiz.

$M$  tartiblangan to‘plam  $m_i$  elementining balandligi  $d(m_i)$  deb  $m_0 < m_1 < m_2 < \dots < m_i$  ( $M$  to‘plamning) zanjirlar uzunligining maksimumiga ( $l_{\max}$ ) aytildi.  $M$  tartiblangan to‘plam uzunligi  $d(M)$  deb  $M$  to‘plamdagи zanjirlar uzunligining maksimumiga aytildi, ya’ni tartiblangan  $M$  to‘plamning uzunligi  $d(M)$  uning elementlari balandligi  $d(m_i)$  ning maksimumiga teng:  $d(M) = \max d_i(m_i), m_i \in M$ .

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Tenglamasi  $y = 2x + 1$  ko‘rinishda bo‘lgan to‘g‘ri chiziqni  $\{<x, y> \in R \times R / y = 2x + 1\}$  va  $y < x$  munosabatini  $\{<x, y> \in R \times R / y < x\}$  shakllarda yozish mumkinligini tushuntiring.
2.  $\{<2, 4>, <5, 6>, <7, 6>, <8, 8>\}$  tartiblangan juftliklar to‘plami binar munosabati bo‘lishi yoki bo‘lmasligini tekshiring.
3.  $\{<1, 2>, <2, 2>, <3, 4>\}$  funksiyaning aniqlanish va qiymatlar sohasini toping.
4.  $\{<3, 4>, <3, 5>, <4, 6>\}$  munosabat funksiya bo‘lishi yoki bo‘lmasligini tekshiring.
5.  $\{<x, x^2 + x + 1> / x \in R\}$  funksiya bo‘lishini isbotlang.
6.  $\{<x^2, x> / x \in R\}$  funksiya bo‘la olmasligini isbotlang.
7. Bul algebrasining Kantor algebrasiga izomorf ekanligini isbotlang.

## *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Munosabatlar tushunchasi nimani ifodalaydi?
2. Binar munosabat deb nimaga aytildi?
3. Ekvivalentlik munosabati nima?
4. Qanday munosabatlar refleksiv, simmetrik va tranzitiv munosabatlar deb ataladi?
5. Funksiya tushunchasini bilasizmi?
6. Funksiyalar superpozitsiyasi deganda nimani tushunasiz?
7. Tartiblash munosabatini qanday tushunasiz?

### **1.7. Fazzi munosabatlar**

*To‘plam. Element. Dekart ko‘paytmasi. Munosabat. Fazzi to‘plam. Fazzi munosabat. Fazzi munosabatning qismi, to‘ldiruvchisi. Fazzi munosabatlarning birlashmasi, kesishmasi, algebraik ko‘paytmasi, algebraik yig‘indisi, kompozitsiyasi.*

**1.7.1. Fazzi munosabat tushunchasi.** I bobning 5- paragrafida fazzi to‘plam tushunchasi o‘rganilgan edi. Endi fazzi munosabat tushunchasini kiritamiz. Berilgan  $X_1, X_2, \dots, X_n$  universal to‘plamlarning Dekart ko‘paytmasi  $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$  bo‘lsin.

**1- ta’rif.**  $X$  Dekart ko‘paytmasining fazzi qism to‘plami  $X_1, X_2, \dots, X_n$  to‘plamlarda aniqlangan  $n$ -ar fazzi munosabat deb ataladi.

Ko‘pincha “ $n$ -ar fazzi munosabat” iborasidagi “ $n$ -ar” tushirib qoldiriladi. Fazzi munosabatlarni belgilashda turli usullardan foydalaniladi. Fazzi to‘plam tushunchasi ta’rifiga ko‘ra  $R : (X_1, X_2, \dots, X_n) \rightarrow [0,1]$  fazzi munosabatni aniqlovchi fazzi to‘plamning  $\mu_R(x_1, x_2, \dots, x_n)$  a’zolik funksiyasi qiymati  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ( $x_i \in X_i, i=1, n$ ) elementlar orasidagi  $n$ -ar  $R$  fazzi munosabatning bajarilish darajasini ifodalaydi.

$n = 2$  bo‘lgan holda  $X$  va  $Y$  to‘plamlarda aniqlangan  $R : X \times Y \rightarrow [0,1]$  fazzi munosabat  $X \times Y$  Dekart ko‘paytmasining har bir  $(x, y)$  elementiga  $\mu_R(x, y) \in [0,1]$  kattalikni mos qo‘yadi.  $X = Y$  bo‘lganda  $R : X \times X \rightarrow [0,1]$  fazzi munosabat  $X$  to‘plamda aniqlangan deb yuritiladi.

**1- misol.** 1.  $X = \{x_1, x_2, x_3\}$  va  $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$  to‘plamlarda aniqlangan  $XMY$  fazzi munosabat (aniqrog‘i, uni aniqlovch fazzi to‘plam a’zolik funksiyasi), masalan, 1-jadvaldagidek berilishi mumkin.

2.  $X = \{0,1,2,3\}$  to‘plamda aniqlangan “ $x \approx y$ ” (“ $x$  taqriban  $y$  ga teng”) fazzi munosabatni, masalan, qiymatlari quyidagi matritsada berilgan  $\mu_{x \approx y}(x, y)$  a’zolik funksiyasi vositasida ifodalash mumkin.

$XMY$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$
$x_1$	1	0,5	0,1	0,3
$x_2$	0	0,8	1	0,7
$x_3$	0	0	0,6	1

0 1 2 3  $\leftarrow y \downarrow x$

$$\mu_{x \approx y}(x, y) = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 0,2 & 0,1 \\ 0,5 & 1 & 0,6 & 0,3 \\ 0,2 & 0,6 & 1 & 0,8 \\ 0,1 & 0,3 & 0,8 & 1 \end{pmatrix} \begin{array}{l} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array}$$

3. Agar universal to'plam  $X = [0, 3]$  ko'rinishda berilgan bo'lsa, u holda " $x \approx y$ " fazzi munosabat uchun a'zolik funksiyasi sifatida, masalan,  $\mu_{x \approx y}(x, y) = e^{-0,2(x-y)^2}$  funksiya olinishi mumkin. ■

A'zolik funksiyasi  $\mu_R(x, y)$  bo'lgan  $R$  fazzi munosabat berilgan bo'lsa, a'zolik funksiyasi quyidagicha aniqlangan munosabat **fazzi munosabatga yaqin oddiy munosabat** (uni  $R$  deb belgilaymiz) sifatida qaralishi mumkin:

$$\mu_R(x, y) = \begin{cases} 0, \mu_R(x, y) < 0,5 \text{ bo'lganda}, \\ 1, \mu_R(x, y) > 0,5 \text{ bo'lganda}, \\ 0 \text{ yoki } 1, \mu_R(x, y) = 0,5 \text{ bo'lganda}. \end{cases}$$

Ko'pchilik hollarda  $\mu_R(x, y) = 0,5$  bo'lganda  $\mu_R(x, y) = 0$  deb olinadi.

$X$  va  $Y$  to'plamlarda aniqlangan hamda  $\mu_R(x, y)$  a'zolik funksiyasi bilan ifodalanuvchi  $XRY$  fazzi munosabat berilgan bo'lsin.

2-ta'rif.  $X \times Y$  Dekart ko'paytmasining  $\mu_R(x, y) > 0$  shartni qanoatlantiruvchi barcha  $(x, y)$  elementlaridan tashkil topgan  $S(R)$  to'plam  $XRY$  fazzi munosabatning tashuvchisi deb ataladi.

3-ta'rif. A'zolik funksiyasi  $1 - \mu_R(x, y)$  bo'lgan  $\bar{R}$  fazzi munosabat  $R$  fazzi munosabatning to'ldiruvchisi deb ataladi.

2-misol.  $[0, 5]$  to'plamda aniqlangan va

$$\mu_{x \approx y}(x, y) = \begin{cases} e^{-5(x-y)^2}, |x - y| \leq 2 \text{ bo'lganda}, \\ 0, \text{ aks holda}, \end{cases}$$

a'zolik funksiyasi bilan ifodalanuvchi " $x \approx y$ " (" $x$  taqriban  $y$  ga teng") fazzi munosabatni  $M$  bilan belgilaymiz. U holda  $M$  fazzi munosabat-

ning tashuvchisi  $S(M) = \{(x, y) : 0 \leq x \leq 5, 0 \leq y \leq 5, |x - y| \leq 2\}$  to‘plam bo‘ladi.  $M$  fazzi munosabatning to‘ldiruvchisi  $\bar{M}$  fazzi munosabat “ $x$  taqriban  $y$  ga teng emas” deb ifodalanishi mumkin. 3- ta’rifga ko‘ra  $\bar{M}$  fazzi munosabatning a’zolik funksiyasi

$$\mu_{\bar{M}}(x, y) = \begin{cases} 1 - e^{-5(x-y)^2}, & |x - y| \leq 2 \text{ bo‘lganda,} \\ 1, & \text{aks holda,} \end{cases}$$

va 2- ta’rifga ko‘ra  $S(\bar{M}) = \{(x, y) : 0 \leq x \leq 5, 0 \leq y \leq 5, x \neq y\}$  bo‘ladi. ■

**4- ta’rif.** Agar  $X \times Y$  Dekart ko‘paytmasining barcha  $(x, y)$  elementlari uchun  $\mu_{R_1}(x, y) = \mu_{R_2}(x, y)$  tenglik bajarilsa, u holda  $XR_1Y$  va  $XR_2Y$  fazzi munosabatlar o‘zaro ekvivalent deb ataladi.

Berilgan  $R_1$  va  $R_2$  fazzi munosabatning o‘zaro ekvivalentligi  $R_1 = R_2$  (ba‘zan  $R_1 \sim R_2$ ) shaklda belgilanadi va “ekvivalent” iborasi o‘rnida “teng” iborasi ham qo‘llanilishi mumkin.

**5- ta’rif.** Agar  $X \times Y$  Dekart ko‘paytmasining barcha  $(x, y)$  elementlari uchun  $\mu_{R_1}(x, y) \leq \mu_{R_2}(x, y)$  tengsizlik bajarilsa, u holda  $XR_1Y$  fazzi munosabat  $XR_2Y$  fazzi munosabatning qismi deb ataladi.

$R_1$  fazzi munosabat  $R_2$  fazzi munosabatning qismi bo‘lishi  $R_1 \subseteq R_2$  ko‘rinishda yoziladi va “ $R_1$  fazzi munosabat  $R_2$  fazzi munosabatda yotadi” yoki “ $R_2$  (fazzi munosabat)  $R_1$  ni (fazzi munosabatni) o‘z ichiga oladi (qamraydi)” deb o‘qiladi.

3- misol.  $[0, \infty)$  to‘plamda aniqlangan hamda mos ravishda

$$\mu_{R_1}(x, y) = \begin{cases} 0, & x > y \text{ bo‘lganda,} \\ 1 - e^{-k_1(x-y)^2}, & y \geq x \text{ bo‘lganda,} \end{cases}$$

$$\mu_{R_2}(x, y) = \begin{cases} 0, & x > y \text{ bo‘lganda,} \\ 1 - e^{-k_2(x-y)^2}, & y \geq x \text{ bo‘lganda,} \end{cases}$$

a’zolik funksiyalari bilan ifodalanuvchi  $y \gg x$  (“ $y$  son  $x$  sondan juda katta”) tipidagi ikkita  $R_1$  va  $R_2$  fazzi munosabatlar berilgan bo‘lsin. Ravshanki, agar  $k_2 \geq k_1$  bo‘lsa, u holda  $R_1$  fazzi munosabat  $R_2$  fazzi munosabatning qismi bo‘ladi. ■

**1.7.2. Fazzi munosabatlar ustida amallar.** Fazzi munosabatlar ustida turli amallar bajarish mumkin. Bu yerda bunday amallardan ba’zilari bilan tanishamiz.

$X$  va  $Y$  to‘plamlarda aniqlangan, mos ravishda  $\mu_{R_1}(x, y)$  va  $\mu_{R_2}(x, y)$  a’zolik funksiyalari bilan ifodalanuvchi ikkita  $R_1$  va  $R_2$  fazzi munosabatlar berilgan bo‘lsin.

**6- ta'rif.** A'zolik funksiyasi  $\max\{\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(x, y)\}$  bo'lgan  $R_1 \cup R_2$  fazzi munosabat  $R_1$  va  $R_2$  fazzi munosabatlarning birlashmasi deb ataladi.

**7- ta'rif.** A'zolik funksiyasi  $\min\{\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(x, y)\}$  bo'lgan  $R_1 \cap R_2$  fazzi munosabat  $R_1$  va  $R_2$  fazzi munosabatlarning kesishmasi deb ataladi.

**4- misol.**  $X = \{x_1, x_2\}$  va  $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$  to'plamlarda aniqlangan  $XM_1Y$  va  $XM_2Y$  fazzi munosabatlari  $\mu_{M_1}(x, y)$  va  $\mu_{M_2}(x, y)$  a'zolik funksiyalarini mos ravishda 1- va 2- jadvallarda berilgan.

1-jadval

$\mu_B(x, y)$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$x_1$	0,2	0,1	0,8
$x_2$	1	0,7	0,2

2-jadval

$\mu_K(x, y)$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$x_1$	0,7	0,9	0,8
$x_2$	0,3	0,6	0,5

Berilgan fazzi munosabatlari  $B = M_1 \cup M_2$  birlashmasi va  $K = M_1 \cap M_2$  kesishmasining  $\mu_B(x, y)$  va  $\mu_K(x, y)$  a'zolik funksiyalarini mos ravishda 3- va 4- jadvallardagidek ifodalash mumkin. ■

3-jadval

$\mu_B(x, y)$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$x_1$	0,7	0,9	0,8
$x_2$	1	0,7	0,5

4-jadval

$\mu_K(x, y)$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$x_1$	0,2	0,1	0,8
$x_2$	0,3	0,6	0,2

**8- ta'rif.** A'zolik funksiyasi  $\mu_{R_1}(x, y)\mu_{R_2}(x, y)$  bo'lgan  $R_1 \cdot R_2$  fazzi munosabat  $R_1$  va  $R_2$  fazzi munosabatlarning algebraik ko'paytmasi deb ataladi.

**9- ta'rif.** A'zolik funksiyasi  $\mu_{R_1}(x, y) + \mu_{R_2}(x, y) - \mu_{R_1}(x, y)\mu_{R_2}(x, y)$  bo'lgan  $R_1 \hat{+} R_2$  fazzi munosabat  $R_1$  va  $R_2$  fazzi munosabatlarning algebraik yig'indisi deb ataladi.

**5- misol.** 4- misolda berilgan  $M_1$  va  $M_2$  fazzi munosabatlarning algebraik ko'paytmasi  $A = M_1 \cdot M_2$  va algebraik yig'indisi  $C = M_1 \hat{+} M_2$  bo'lgan fazzi munosabatlari  $\mu_A(x, y)$  va  $\mu_C(x, y)$  a'zolik funksiyalarini mos ravishda 5- va 6- jadvallarda berilgan. ■

5-jadval

$\mu_K(x, y)$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$x_1$	0,14	0,09	0,64
$x_2$	0,3	0,42	0,1

6-jadval

$\mu_C(x, y)$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$x_1$	0,76	0,91	0,96
$x_2$	1	0,88	0,6

Fazzi munosabatlar ustida yuqorida kiritilgan amallar distributivlik xossalariiga ega, ya'ni  $X$  va  $Y$  to'plamlarda aniqlangan ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  fazzi munosabatlar uchun quyidagilar o'rindidir.

$$1. A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C). \quad 2. A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C).$$

$$3. A \cdot (B \cup C) = (A \cdot B) \cup (A \cdot C). \quad 4. A \cdot (B \cap C) = (A \cdot B) \cap (A \cdot C).$$

$$5. A \hat{+} (B \cup C) = (A \hat{+} B) \cup (A \hat{+} C). \quad 6. A \hat{+} (B \cap C) = (A \hat{+} B) \cap (A \hat{+} C).$$

Bu xossalardan faqat 1-sini isbotlash bilan kifoyalanamiz.

1- xossaning isboti.  $X \times Y$  Dekart ko'paytmasining barcha elementlari uchun

$$\min \{\mu_A(x, y), \max \{\mu_B(x, y), \mu_C(x, y)\}\} = \\ = \max \{\min \{\mu_A(x, y), \mu_B(x, y)\}, \min \{\mu_A(x, y), \mu_C(x, y)\}\}$$

tenglik bajarilishini ko'rsatish kerak.  $(x, y) - X \times Y$  Dekart ko'paytmasining ixtiyoriy elementi hamda  $a = \mu_A(x, y)$ ,  $b = \mu_B(x, y)$  va  $c = \mu_C(x, y)$  bo'lzin. Ushbu bobning 5- paragrafidagi fazzi to'plamlar uchun distributivlik xossasini ifodalovchi  $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$  tenglikni isbot qilishdagidek bu yerda ham mumkin bo'lgan 15 holdan biri ro'y berishi mumkin. Mumkin bo'lgan barcha 15 holda ham isbotlanishi kerak bo'lgan tenglik to'g'ri. ■

Qolgan xossalarning isboti o'quvchiga havola qilinadi.

**10- ta'rif.**  $X$  va  $Z$  to'plamlarda aniqlangan, a'zolik funksiyasi  $\max \min \{\mu_{R_1}(x, y), \mu_{R_2}(y, z)\}$  bo'lgan  $R_1 \circ R_2$  fazzi munosabat  $X$  va  $Y$  to'plamlarda aniqlangan  $R_1$  hamda  $X$  va  $Y$  to'plamlarda aniqlangan  $R_2$  fazzi munosabatlarning kompozitsiyasi deb ataladi.

**5-misol.**  $X = \{x_1, x_2\}$ ,  $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$  va  $Z = \{z_1, z_2, z_3, z_4\}$  to'plamlar berilgan bo'lzin. A'zolik funksiyalari mos ravishda 7-, 8-jadvallarda ifodalangan  $X$  va  $Y$  to'plamlarda aniqlangan  $XF_1Y$  hamda  $Y$  va  $Z$  to'plamlarda aniqlangan  $XF_2Z$  fazzi munosabatlarning  $K = F_1 \circ F_2$  kompozitsiyasini ( $X$  va  $Z$  to'plamlarda aniqlangan  $XKZ$  fazzi munosabatni) topamiz.

7-jadval

$\mu_{F_1}(x, y)$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$x_1$	0,1	0,7	0,8
$x_2$	0,5	0	0,2

8-jadval

$\mu_{F_2}(x, y)$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$
$y_1$	0	0,5	0,1	0,8
$y_2$	0,3	0,2	0,6	0,5
$y_3$	1	0	0,5	0,1

- $\mu_K(x_1, z_1) = \max\{\min\{\mu_{F_1}(x_1, y_1), \mu_{F_2}(y_1, z_1)\}, \min\{\mu_{F_1}(x_1, y_2), \mu_{F_2}(y_2, z_1)\}\} = \max\{\min\{0, 1; 0\}, \min\{0, 7; 0, 3\}, \min\{0, 8; 1\}\} = \max\{0; 0, 3; 0, 8\} = 0, 8;$
- $\mu_K(x_1, z_2) = \max\{\min\{0, 1; 0, 5\}, \min\{0, 7; 0, 2\}, \min\{0, 8; 0\}\} = \max\{0, 1; 0, 2; 0\} = 0, 2;$
- $\mu_K(x_1, z_3) = 0, 6; 4)$   $\mu_K(x_1, z_4) = 0, 5; 5)$   $\mu_K(x_2, z_1) = 0, 2;$
- $\mu_K(x_2, z_2) = 0, 5; 7)$   $\mu_K(x_2, z_3) = 0, 2; 8)$   $\mu_K(x_2, z_4) = 0, 5;$

Bu qiymatlarni 9- jadvalga joylashtiramiz. ■

Kompozitsiya amalining xossalari sifatida quyidagilarni keltiramiz.

Ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  fazzi munosabatlar uchun quyidagilar o'rinnlidir.

9-jadval

$\mu_K(x, y)$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$
$x_1$	0,8	0,2	0,6	0,5
$x_2$	0,2	0,5	0,2	0,5

- Assotsiativlik:  $(A \circ B) \circ C = A \circ (B \circ C)$ .
- Birlashmaga nisbatan distributivlik:  $A \circ (B \cup C) = (A \circ B) \cup (A \circ C)$ .
- Agar  $A \subseteq B$  bo'lsa, u holda  $R \circ A \subseteq R \circ B$  bo'ladi.

Ta'kidlaymizki, kompozitsiya amali uchun kesishmaga nisbatan distributivlik xossasi o'rinnli emas, ya'ni, umuman olganda,  $A \circ (B \cap C)$  va  $(A \circ B) \cap (A \circ C)$  fazzi munosabatlar o'zaro ekvivalent emas.

10- ta'rifdagi a'zolik funksiya ko'rinishiga asoslanib, uni (max,min)-kompozitsiya deb ham atashadi. Agar 10- ta'rifdagi a'zolik funksiyasi boshqacha, masalan,  $\max\{\mu_{R_1}(x, y)\mu_{R_2}(x, y)\}$  ko'rinishda ifodalansa, u holda (max,\*)-kompozitsiya tushunchasi hosil bo'ladi.

Fazzi to'plam va fazzi munosabat bilan bog'liq matematik nazariya matematikaga bir qator tushunchalarning kirib kelishiga asos bo'lib xizmat qildi. Fazzi xulosalar, fazzi qiymatlar va ular ustida amallar, yumshoq hisoblashlar (soft computing), lingvistik o'zgaruvchilar, fazzi mantiq va hokasolar shunday tushunchalar jumlasidandir.

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

- Fazzi munosabatlar ustida amallarning distributivligini ifodalovchi 2-6- xossalarni isbotlang.
- Fazzi munosabatlar uchun de Morgan qonunlarini tekshirib ko'ring.

3. Ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  fazzi munosabatlar uchun  $A \cdot (B \hat{+} C) = (A \cdot B) \hat{+} (A \cdot C)$  o'rinli bo'lish shartini toping.
4. Ixtiyoriy  $A$ ,  $B$  va  $C$  fazzi munosabatlar uchun  $(A \hat{+} B) \hat{+} C = A \hat{+} (B \hat{+} C)$  o'rinli bo'lishini isbotlang.
5. Kompozitsiya amalining xossalari ni isbotlang.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1.  $r$ -ar fazzi munosabat nima?
2. Fazzi munosabatning bajarilish darajasi deganda nimani tushunasiz?
3. Fazzi munosabatga yaqin oddiy munosabat qanday aniqlanadi?
4. Fazzi munosabatning tashuvchisi qanday to'plam?
5. Fazzi munosabatning to'ldiruvchisi nima?
6. Fazzi munosabatlarning birlashmasi va kesishmasi qanday aniqlanadi?
7. Fazzi munosabatlar algebraik ko'paytmasi, yig'indisi uchun a'zolik funksiyalari ko'rinishini bilasizmi?
8. Fazzi munosabatlar ustida bajariladigan amallarning distributivlik bilan bog'liq qanday xossalari bor?
9. Fazzi munosabatlar kompozitsiyasini topish uchun a'zolik funksiyalari qiymatlari ustida qanday amallar bajariladi?
10. Fazzi munosabatlar kompozitsiyasi uchun kesishmaga nisbatan distributivlik xossasi o'rinli emasligining sababi nimada

## *II BOB* **KOMBINATORIKA ELEMENTLARI**

Ushbu bobda kombinatorikada ko'p qo'llaniladigan usul va qoidalar, kombinatsiyalar, Paskal uchburchagi, Nyuton binomi, binomial koefitsiyentlarning xossalari, ko'phad formulasi, Fibonachchi sonlari va ularning sodda xossalari, bo'laklashlar va ularning ba'zi xususiyatlari, Ferrers diagrammasi, hosil qiluvchi funksiyalarning xossalari va ularning kombinatorikada qo'llanilishi bayon qilinadi.

### **2.1. Kombinatorika haqida umumiy tushunchalar**

*Kombinatorika. To'plam. Element. Tartiblash. Kombinatsiya<sup>1</sup>. Kombinatorik tuzilma. Birlashma. Kesishma. Kortej. Figurali sonlar. Matematik induksiya usuli. Qo'shish va ko'paytirish qoidalari. Kiritish va chiqarish qodasi. Umumlashgan qo'shish, ko'paytirish hamda kiritish va chiqarish qoidalari. Bulean.*

**2.1.1. Kombinatorika predmeti va paydo bo'lish tarixi.** Matematikaning kombinatorik tahlil, kombinatorik matematika, birlashmalar nazariyasi, qisqacha, **kombinatorika** deb ataluvchi bo'limida chekli yoki muayyan ma'noda cheklilik shartini qanoatlantiruvchi to'plamni (bu to'plamning elementlari qanday bo'lishining ahamiyati yo'q: harflar, sonlar, hodisalar, qandaydir predmetlar va boshqalar) qismlarga ajratish, ularni o'rinalash va o'zaro joylash ya'ni, **kombinatsiyalar**, **kombinatorik tuzilmalar** bilan bog'liq masalalar o'rganiladi. Hozirgi davrda kombinatorikaga oid ma'lumotlar inson faoliyatining turli sohalarida qo'llanmoqda. Jumladan, matematika, kimyo, fizika, biologiya, lingvistika, axborot texnologiyalari va boshqa sohalar bilan ish ko'rvuchi mutaxassislar kombinatorikaning xilma-xil masalalariga duch keladilar.

To'plamlar nazariyasi iboralari bilan aytganda, kombinatorikada kortejlar va to'plamlar, ularning birlashmalarini va kesishmalarini hamda kortejlar va qism to'plamlarni turli usullar bilan tartiblash masalalari qaraladi. To'plam yoki kortej elementlarining berilgan xossaga ega konfiguratsiyasi bor yoki yo'qligini tekshirish, bor bo'lsa, ularni tuzish va sonini topish usullarini o'rganish hamda bu usullarni biror parametr

<sup>1</sup> Bu so'z lotinchcha "combinatio" so'zidan yasalgan bo'lib, birikma, birlashma, tuzilma, tutashma ma'nolarini anglatadi.



Blez Paskal

bo'yicha takomillashtirish kombinatorikaning asosiy masalalari hisoblanadi.

Kombinatorikaning ba'zi elementlari eramizdan oldingi II asrda hindistonliklarga ma'lum edi. Ular hozirgi vaqtida gruppashlar deb ataluvchi kombinatorik tushunchadan foydalanishgan. Eramizning XII asrida Bxaskara Acharya<sup>1</sup> o'zining ilmiy tadqiqotlarida gruppash va o'rinn almashtirishlarni qo'llagan. Tarixiy ma'lumotlarga ko'ra, hindistonlik olimlar kombinatorika elementlaridan, jumladan, birlashmalardan foydalaniib, she'riy asarlar tarkibiy

tuzilishining mukammalligini tahlil qilishga uringanlar. O'rta Osiyo va G'arbiy Yevropada yashab ijod qilgan olimlarning kombinatorikaga oid ishlari haqida ushbu bobning 3- paragrafida ma'lumot keltirilgan.

Umuman olganda, kombinatorikaning dastlabki rivoji qimor o'yinlarini tahlil qilish bilan bog'liq. Ba'zi atoqli matematiklar, masalan, B.Paskal<sup>2</sup>, Yakob Bernulli<sup>3</sup>, L. Eyler<sup>4</sup>, P. L. Chebishev<sup>5</sup> turli o'yinlarda (tanga tashlash, soqqa tashlash, qarta o'yinlari va shu kabilarda) ilmiy jihatdan asoslangan qaror qabul qilishda kombinatorikani qo'llashgan.

XVII asrda kombinatorika matematikaning alohida bir ilmiy yo'naliishi sifatida shakllana boshladi. B. Paskal o'zining "Arifmetik uchburchak haqida traktat" va "Sonli tartiblar haqida traktat" (1665- y.) nomli asarlarida hozirgi vaqtida binomial koeffitsiyentlar deb ataluvchi sonlar haqidagi ma'lumotlarni keltirgan. P.Ferma<sup>6</sup> esa figurali sonlar bilan birlashmalar nazariyasi orasida bog'lanish borligini bilgan.

Figurali sonlar quyidagicha aniqlanadi. Birinchi tartibli figurali sonlar: 1, 2, 3, 4, 5, ... (ya'ni, natural sonlar); ikkinchi tartibli figurali sonlar: 1-si 1ga teng, 2-si dastlabki ikkita natural sonlar yig'indisi (3), 3-si dastlabki uchta natural



Leonard Eyler

<sup>1</sup> Bxaskara Acharya (1114-1178- yildan keyin) – hindistonlik matematik va astronom.

<sup>2</sup> Paskal (Pascal Bliez, 1623-1662) – fransuz faylasufi, yozuvchisi, matematigi va fizigi.

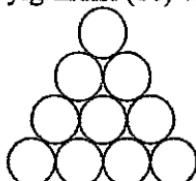
<sup>3</sup> Bernulli Yakob (1654-1705) – Shveysariya matematigi.

<sup>4</sup> Eyler (Euler Leonard, 1707-1783) – mashhur matematik, mexanik va fizik.

<sup>5</sup> Chebishev (Чебышев Пафнутий Львович, 1821-1894) – rus matematigi va mexanigi.

<sup>6</sup> Ferma (Fermat Pyer, 1601-1665) – fransuz matematigi va huquqshunosi.

sonlar yig'indisi (6) va hokazo (1, 3, 6, 10, 15, ...); uchinchi tartibli figurali sonlar: 1-si 1ga teng, 2-si birinchi ikkita ikkinchi tartibli figurali sonlarlar yig'indisi (4), 3-si birinchi uchta ikkinchi tartibli figurali sonlar yig'indisi (10) va hokazo (1, 4, 10, 20, 35, ...).



*I-shakl*

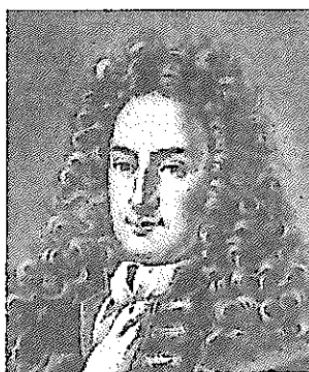
**1-misol.** Tekislikda radiuslari o'zaro teng bo'lgan aylanalar bir-biriga uringan holda yuqoridan 1-qatorda bitta, 2-qatorda ikkita, 3-qatorda uchta va hokazo, joylashtirilgan bo'lsin. Masalan, aylanalar bunday joylashtuvining dastlabki to'rt qatori 1-shaklda tasvirlangan. Bu yerda qatorlardagi aylanalar sonlari ketma-ketligi birinchi tartibli figurali sonlarni tashkil qiladi. Bu

tuzilmadan foydalanib ikkinchi tartibli figurali sonlarni quyidagicha hosil qilish mumkin. Dastlab 1-qatordagi aylanalar soni (1), keyin dastlabki ikkita qatordagi aylanalar soni (3), undan keyin dastlabki uchta qatordagi aylanalar soni (6), va hokazo. ■

"Kombinatorika" iborasi G. Leybnisning<sup>1</sup> "Kombinatorik san'at haqidagi mulohazalar" nomli asarida birinchi bor 1665-yilda keltirilgan. Bu asarda birlashmalar nazariyasi ilmiy jihatdan ilk bor asoslangan. O'rinalashtirishlarni o'rganish bilan birinchi bo'lib Yakob Bernulli shug'ulangan va bu haqdagi ma'lumotlarni 1713-yilda bosilib chiqqan "Ars conjectandi" (Bashorat qilish san'ati) nomli kitobining ikkinchi qismida bayon qilgan. Hozirgi vaqtida kombinatorikada qo'llanilayotgan belgilashlar XIX asrga kelib shakllandı.

Kombinatsiya – bu kombinatorikaning asosiy tushunchasidir. Bu tushuncha yordamida ixtiyoriy to'plamning qandaydir sondagi elementlaridan tashkil topgan tuzilmalar ifodalanadi. Kombinatorikada bunday tuzilmalarning o'rinnalmashtirishlar, o'rinalashtirishlar va gruppalashlar deb ataluvchi asosiy ko'rinishlari o'rganiladi.

**2.1.2. Kombinatorikada ko'p qo'llaniladigan usul va qoidalar.** Kombinatorika va graflar nazariyasida tasdiqlarni isbotlashning samarali



*Gottfried Leybnis*

<sup>1</sup> Leybnis (Leibniz Gotfrid Vilgelm, 1646-1716) –olmon faylasufi, matematigi, fizigi, kashfiyotchisi, huquqshunosi, tarixchisi va tilchisi.

usullaridan biri bo'lgan matematik induksiya usuli<sup>1</sup> ko'p qo'llaniladi. Bu usulning ketma-ket bajariladigan ikkita qismi bo'lib, ular quyidagi umumiy g'oyaga asoslanadi. Faraz qilaylik, isbotlanishi kerak bo'lgan tasdiq birorta xususiy  $n = n_0$  qiymat (masalan,  $n_0 = 1$ ) uchun to'g'ri bo'lsin (usuuning bu qismi baza yoki asos deb ataladi). Agar bu tasdiqning istalgan  $n = k > n_0$  uchun to'g'riliqidan uning  $n = k + 1$  uchun to'g'riliqi kelib chiqsa, u holda tasdiq istalgan natural  $n \geq n_0$  son uchun to'g'ri bo'ladi (induksion o'tish yoki induktiv o'tish).

$$2-\text{misol.} \text{ Ixtiyoriy } n \text{ natural son uchun } 1^2 + 2^2 + \dots + n^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

tenglikning o'rini bo'lishini matematik induksiya usuli yordamida isbotlaymiz.

Baza.  $n = 1$  bo'lsin, u holda yuqoridagi tenglik to'g'ri ekanligi ravshan:  $1^2 = \frac{1 \cdot (1+1) \cdot (2 \cdot 1 + 1)}{6}$ .

Induksion o'tish: isbotlanish kerak bo'lgan tenglik  $n = k > 1$  uchun to'g'ri, ya'ni  $1^2 + 2^2 + \dots + k^2 = \frac{k(k+1)(2k+1)}{6}$  tenglik o'rini bo'lsin. Bu tenglikning chap va o'ng tomonlariga  $(k+1)^2$  ifodani qo'shib, uni

$$1^2 + 2^2 + \dots + k^2 + (k+1)^2 = \frac{k(k+1)(2k+1)}{6} + (k+1)^2$$

ko'rinishda yozamiz. Oxirgi tenglikning o'ng tomonida quyidagicha o'zgartirishlarni bajaramiz:

$$\begin{aligned} \frac{k(k+1)(2k+1)}{6} + (k+1)^2 &= (k+1) \left[ \frac{k(2k+1)}{6} + (k+1) \right] = \\ &= \frac{(k+1)[2k(k+2) + 3(k+2)]}{6} = \frac{(k+1)[(k+1)+1][2(k+1)+1]}{6}. \end{aligned}$$

Demak,

$$1^2 + 2^2 + \dots + k^2 + (k+1)^2 = \frac{(k+1)[(k+1)+1][2(k+1)+1]}{6}.$$

Oxirgi munosabat isbotlanishi kerak bo'lgan tenglikning  $n = k + 1$  bo'lgan holidir. ■

<sup>1</sup> VI bobga qarang.

Shuni ta'kidlash kerakki, biror tasdiqni isbotlash uchun matematik induksiya usuli qo'llanilganda, bu usulning ikkala qismini ham tekshirib ko'rish muhimdir, ya'ni baza va induksion o'tish albatta tekshirilishi shart. Ulardan biri tekshirilmasa noto'g'ri natijalar hosil bo'lishi ham mumkin. Bundan tashqari, baza birorta xususiy qiymatdan boshqa ko'p, hattoki, juda ko'p xususiy hollar uchun tekshirilib, ijobjiy natija olinganda ham, bu hollarni umumlashtiruvchi natijaviy tasdiq noto'g'ri bo'lib chiqishi mumkin. Bu mulohazalarning o'rinni ekanligini quyida keltirilgan misollar ko'rsatadi.

**3- misol.** “Ixtiyoriy  $n$  natural son uchun  $2n-1$  son 2ga qoldiqsiz bo'linadi” degan tasdiqni tekshirishda matematik induksiya usulining baza qismi talabini bajarmasdan faqat induksion o'tishni tekshiramiz.

Bu tasdiq  $n = k > 1$  uchun to'g'ri bo'lsin, ja'ni  $2k-1$  son 2ga qoldiqsiz bo'linsin deb faraz qilamiz. U holda  $(2k-1)+2$  son ham, qo'shiluvchilarining har biri 2ga qoldiqsiz bo'linganligi sababli, 2ga qoldiqsiz bo'linadi. Shuning uchun  $(2k-1)+2 = 2(k+1)-1$  tenglik asosida  $2(k+1)-1$  son 2ga qoldiqsiz bo'linadi degan xulosa kelib chiqadi. Demak, yuqoridaq tasdiq  $n = k > 1$  uchun to'g'ri, ya'ni induksion o'tish bajarildi, deb hisoblash mumkin.

Shunday qilib, matematik induksiya usulining baza qismini tekshirmsandan “ixtiyoriy natural  $n$  son uchun  $2n-1$  son 2ga qoldiqsiz bo'linadi” degan xulosa qilish noto'g'ridir, chunki ixtiyoriy  $n$  natural son uchun  $2n-1$  sonni 2ga bo'lganda 1 qoldiq qoladi. ■

**4- misol.** “Ixtiyoriy  $n$  natural son uchun  $n^2+n+17$  ifodaning qiymati tub sondir” degan tasdiqni tekshirish maqsadida matematik induksiya usulining faqat baza qismi talabini dastlabki 15ta natural sonlar uchun bajaramiz.

$n=1$  bo'lganda  $n^2+n+17=1^2+1+17=19$  tub son hosil bo'ladi.  
 $n=\underline{2, 15}$  bo'lganda ham  $n^2+n+17$  ifodaning qiymati sifatida 23, 29, 37, 47, 59, 73, 89, 107, 127, 149, 173, 199, 227 va 257 tub sonlarni hosil qilamiz.

Induksion o'tishni tekshirmsandan “ixtiyoriy natural  $n$  son uchun  $n^2+n+17$  ifodaning qiymati tub sondir” degan xulosa qilish noto'g'ridir, chunki, masalan, agar  $n=16$  bo'lsa, u holda bu ifodaning qiymati murakkab sondir:  $n^2+n+17=16^2+16+17=289=17\cdot17$ . ■

**5- misol.** Biror  $n$  natural son uchun  $991n^2 + 1$  son butun sonning kvadrati bo‘ladimi? Bu savolga javob berish uchun,  $n$  ning dastlabki o‘n, yuz, ming, million, milliard, hattoki, trillionta qiymatlari uchun  $991n^2 + 1$  ifoda tekshirilganda, uning qiymatlaridan birortasi ham butun son kvadrati bo‘lmashligi qayd etilgan. Shunday bo‘lishiga qaramasdan bu tasdiq asosida, induksion o‘tishni bajarmasdan, “ixtiyoriy natural  $n$  son uchun  $991n^2 + 1$  ifodaning qiymati butun sonning kvadrati bo‘lmaydi” degan xulosa qilish mumkin emas.  $991n^2 + 1$  ifodaning qiymati butun sonning kvadrati bo‘ladigan  $n$  natural sonning borligi va bunday sonning eng kichigini o‘qli sanoq sistemasida yozganda 29 ta (!) raqam bilan ifodalaniishi komputer yordamida aniqlangan (qarang: Дорофеев Г. В., Потапов М. К., Розов Н. Х. Пособие по математики для поступающих в вузы. М.: Наука, 1976. – 640 с.). ■

Matematik induksiya usulining tatbiqiga yana bir misol sifatida quyidagi teoremani isbotlaymiz.

**1- teorema.** *Ixtiyoriy chekli  $A$  to‘plam uchun  $|2^A| = 2^{|A|}$  tenglik o‘rinlidir.*

**Isboti.** Matematik induksiya usulini berilgan to‘plamning quvvati bo‘yicha qo‘llaymiz.

Baza. Dastlab  $A$  to‘plamning elementlari soni nolga teng, ya’ni  $|A|=0$  bo‘lganda teoremaning tasdig‘i bajarilishini ko‘rsatamiz.  $A_0 = \emptyset$  bo‘lsin. U holda  $A = A_0$  uchun  $|A|=0$ ,  $2^A = 2^0 = \{\emptyset\}$  va  $|2^0| = |\{\emptyset\}| = 1 = 2^0 = 2^{|0|}$  bo‘ladi. Demak, teoremaning tasdig‘i  $|A|=0$  bo‘lgan hol uchun to‘g‘ridir.

Induksion o‘tish. Chekli  $k$  elementli ixtiyoriy  $A_k$  to‘plam uchun teoremaning tasdig‘i to‘g‘ri bo‘lsin, ya’ni  $A = A_k$  bo‘lganda  $|2^A| = 2^{|A|}$  tenglik bajarilsin.  $k+1$  elementli  $A_{k+1}$  to‘plamni qaraymiz. Ravshanki,  $A = A_{k+1}$  uchun  $|A|=k+1$  bo‘ladi. Qaralayotgan  $A$  to‘plamning ixtiyoriy  $\alpha$  elementi uchun  $2^A$  bulean to‘plamni o‘zaro kesishmaydigan ikkita  $B_a^- = \{X | X \subset 2^A, \alpha \notin X\}$  va  $B_a^+ = \{X | X \subset 2^A, \alpha \in X\}$  to‘plamlar birlashmasi yozish mumkin. Demak,  $|2^A| = |B_a^-| + |B_a^+|$ .

Tuzilishiga ko‘ra,  $B_a^-$  to‘plam  $k$  elementli to‘plamning buleanidan iborat. Shuning uchun, induksion o‘tish faraziga ko‘ra  $|B_a^-| = 2^k$  bo‘ladi.

$B_a^+$  to‘plam esa  $B_a^-$  to‘plamning har bir element-to‘plamiga  $a$  elementni kiritish yordamida hosil qilingan. Bundan  $|B_a^+| = |B_a^-| = 2^k$  kelib chiqadi. Demak,  $|A| = k + 1$  bo‘lgan hol uchun

$$|2^A| = |B_a^-| + |B_a^+| = 2^k + 2^k = 2 \cdot 2^k = 2^{k+1} = 2^{|A|}. \blacksquare$$

Ushbu bobning 3- paragrafida 1- teoremaning kombinatorik tushunchalarga asoslangan boshqa isboti keltiriladi.

Berilgan chekli  $A$  to‘plamning buleani uning barcha qism to‘plamlaridan tuzilgan to‘plam bo‘lgani sababli 1- teoremada isbotlangan  $|2^A| = 2^{|A|}$  tenglik  $A$  to‘plamning buleanini  $2^A$  ko‘rinishda belgilashga asos bo‘la oladi.

Kombinatorikada sodda, o‘z-o‘zidan ravshan bo‘lgan, ammo muhim qoidalari bor. Bunday qoidalari sifatida qo‘sish, ko‘paytirish hamda kiritish va chiqarish qoidalari deb ataluvchi qoidalarni ko‘rsatish mumkin.

$m$  ta elementli  $A$  to‘plam va  $n$  ta elementli  $B$  to‘plamlar berilgan bo‘lib, ular kesishmasin. Qo‘sish qoidasiga ko‘ra,  $A$  yoki  $B$  to‘plamga tegishli bo‘ladigan birorta elementni tanlash imkoniyatlari soni ( $m+n$ )ga tengdir. “Yoki” qoidasi deb ham ataluvchi bu qoida mazmunini quyidagi teorema (isboti o‘quvchiga havola qilinadi) ham ifodalaydi.

**2- teorema.** Agar ixtiyoriy chekli  $A$  va  $B$  to‘plamlar uchun  $A \cap B = \emptyset$  bo‘lsa, u holda  $|A \cup B| = |A| + |B|$  bo‘ladi.

Demak, qo‘sish qoidasiga ko‘ra, kesishmaydigan ikkita to‘plam birlashmasining quvvati shu to‘plamlar quvvatlarining yig‘indisiga tengdir.

Ko‘paytirish qoidasiga asosan,  $m$  ta elementli  $A$  va  $n$  ta elementli  $B$  to‘plamlarning elementlaridan tuzish mumkin bo‘lgan barcha  $\langle a, b \rangle$  ( $a \in A$ ,  $b \in B$ ) kortejlar (juftliklar) soni  $mn$  ga teng. Bu qoida “va” qoidasi deb ham ataladi. Uni quyidagi teorema ko‘rinishida ifodalash ham mumkin.

**3- teorema.** Ixtiyoriy chekli  $A$  va  $B$  to‘plamlar uchun  $|A \times B| = |A| \cdot |B|$  tenglik o‘rinlidir.

**Isboti** o‘quvchiga havola qilinadi. ■

Demak, ko‘paytirish qoidasiga ko‘ra, ixtiyoriy ikkita chekli to‘plam Dekart ko‘paytmasining quvvati shu to‘plamlar quvvatlarining ko‘paytmasiga tengdir.

Umumiy holda, agar chekli  $A$  va  $B$  to‘plamlar hech bo‘lmaganda bitta umumiy elementga ega bo‘lsa, u holda  $|A| + |B|$  yigindining

qiymatini aniqlashda  $A \cup B$  to‘plamning ba’zi elementlarini, aniqrog‘i,  $A \cap B$  to‘plamning elementlarini ikki marta hisobga olishga to‘g‘ri keladi. Bu mulohaza asosida quyidagi tasdiqqa kelamiz.

**4- teorema.** *Ixtiyoriy chekli  $A$  va  $B$  to‘plamlar uchun  $|A \cup B| = |A| + |B| - |A \cap B|$  tenglik o‘rinlidir.*

**Isboti.** Osonlik bilan ko‘rish mumkinki:

$$a) A \cup B = A \cup (B \setminus A) \text{ va } A \cap (B \setminus A) = \emptyset;$$

$$b) B = (A \cap B) \cup (B \setminus A) \text{ va } (A \cap B) \cap (B \setminus A) = \emptyset.$$

Bu munosabatlarga 2- teoremani qo‘llasak, mos ravishda  $|A \cup B| = |A| + |B \setminus A|$  va  $|B| = |A \cap B| + |B \setminus A|$  tengliklarni hosil qilamiz. Bu tengliklardan isbotlanishi kerak bo‘lgan tenglikni hosil qilish qiyin emas. ■

4- teoremaning tasdig‘ini umumiyl holda ikkita chekli to‘plamlar birlashmasining quvvatini hisoblash qoidasi deyish mumkin. Bu qoidanining ma’nosidan kelib chiqqan holda, uni kiritish va chiqarish qoidasi deb atash qabul qilingan.

Ravshanki, 4- teoremada keltirilgan tenglikdan foydalanib  $|A|$ ,  $|B|$ ,  $|A \cup B|$  va  $|A \cap B|$  miqdorlarning ixtiyoriy uchtasi ma‘lum bo‘lganda to‘rtinchisini hisoblash formulasini hosil qilish mumkin.

Yuqorida bayon qilingan ikkita to‘plam uchun qo‘sish, ko‘paytirish hamda kiritish va chiqarish qoidalarini chekli sondagi istalgan chekli to‘plamlar uchun umumlashtirish mumkin.

Avvalo, kiritish va chiqarish qoidasining umumlasmasi sifatida quyidagi teoremani keltiramiz.

**5- teorema (umumlashgan kiritish va chiqarish qoidasi).** *Ixtiyoriy chekli  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  to‘plamlar uchun*

$$\begin{aligned} |A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_n| &= |A_1| + |A_2| + |A_3| + \dots + |A_n| - \\ &- |A_1 \cap A_2| - |A_1 \cap A_3| - \dots - |A_{n-1} \cap A_n| + |A_1 \cap A_2 \cap A_3| + |A_1 \cap A_2 \cap A_4| + \\ &+ \dots + |A_{n-2} \cap A_{n-1} \cap A_n| - \dots + (-1)^{n-1} |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n| \end{aligned}$$

*munosabat o‘rinlidir.*

**Isboti.** Teoremani isbotlash uchun matematik induksiya usulini qo‘llaymiz.  $k = 1$  bo‘lgan hol uchun teoremaning tasdig‘i trivialdir.

Induksiya usulining bazasi sifatida  $k = 2$  bo‘lgan holni qaraymiz. Bu holda teoremaning tasdig‘i 3- teoremagaga asosan to‘g‘ri.

Induksion o'tish: teoremaning tasdig'i  $n = k$  uchun to'g'ri, ya'ni

$$\begin{aligned} |A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_k| &= |A_1| + |A_2| + \dots + |A_k| - |A_1 \cap A_2| - |A_1 \cap A_3| - \\ &\quad - \dots - |A_{k-1} \cap A_k| + + |A_1 \cap A_2 \cap A_3| + |A_1 \cap A_2 \cap A_4| + \\ &\quad + \dots + |A_{k-2} \cap A_{k-1} \cap A_k| - \dots + (-1)^{k-1} |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k| \end{aligned}$$

tenglik o'rinali bo'lsin. Tasdiqning  $n = k + 1$  bo'lgan holda to'g'ri ekanligini ko'rsatamiz. Avvalo,  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_k, A_{k+1}$  to'plamlarning  $A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_k \cup A_{k+1}$  birlashmasini  $(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_k) \cup A_{k+1}$  ko'rinishda ifodalaymiz. So'ngra 3-teoremani va kesishmaga nisbatan umumlashgan distributivlik qonunini qo'llab hamda teorema tasdig'ining  $n = k$  uchun to'g'riligini hisobga olib, quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} &|(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_k) \cup A_{k+1}| = |A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_k| + \\ &\quad + |A_{k+1}| - |(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_k) \cap A_{k+1}| = \\ &= |A_1| + |A_2| + \dots + |A_k| - |A_1 \cap A_2| - |A_1 \cap A_3| - \dots - |A_{k-1} \cap A_k| + \\ &\quad + |A_1 \cap A_2 \cap A_3| + |A_1 \cap A_2 \cap A_4| + \dots + |A_{k-2} \cap A_{k-1} \cap A_k| - \\ &\quad - \dots + (-1)^{k-1} |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k| + |A_{k+1}| - \\ &\quad - |(A_1 \cap A_{k+1}) \cup (A_2 \cap A_{k+1}) \cup (A_3 \cap A_{k+1}) \cup \dots \cup (A_k \cap A_{k+1})|. \end{aligned}$$

Bu ifodadagi oxirgi ayriluvchi  $A_i \cap A_{k+1}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) ko'rinishdagi  $k$  ta to'plamlar birlashmasining quvvatini ifodalaydi. Shuning uchun, induksiya faraziga ko'ra, bu ayriluvchini quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} &|(A_1 \cap A_{k+1}) \cup (A_2 \cap A_{k+1}) \cup (A_3 \cap A_{k+1}) \cup \dots \cup (A_k \cap A_{k+1})| = \\ &\quad |A_1 \cap A_{k+1}| + |A_2 \cap A_{k+1}| + |A_3 \cap A_{k+1}| + \dots + |A_k \cap A_{k+1}| - \\ &\quad - |(A_1 \cap A_{k+1}) \cap (A_2 \cap A_{k+1})| - |(A_1 \cap A_{k+1}) \cap (A_3 \cap A_{k+1})| - \\ &\quad - \dots - |(A_{k-1} \cap A_{k+1}) \cap (A_k \cap A_{k+1})| + |(A_1 \cap A_{k+1}) \cap (A_2 \cap A_{k+1}) \cap (A_3 \cap A_{k+1})| + \\ &\quad + |(A_1 \cap A_{k+1}) \cap (A_2 \cap A_{k+1}) \cap (A_4 \cap A_{k+1})| + \dots + \\ &\quad + |(A_{k-2} \cap A_{k+1}) \cap (A_{k-1} \cap A_{k+1}) \cap (A_k \cap A_{k+1})| - \\ &\quad - \dots + (-1)^{k-1} |(A_1 \cap A_{k+1}) \cap (A_2 \cap A_{k+1}) \cap \dots \cap (A_k \cap A_{k+1})| = \\ &= |A_1 \cap A_{k+1}| + |A_2 \cap A_{k+1}| + |A_3 \cap A_{k+1}| + \dots + |A_k \cap A_{k+1}| - \end{aligned}$$

$$-|A_1 \cap A_2 \cap A_{k+1}| - |A_1 \cap A_3 \cap A_{k+1}| - \dots - |A_1 \cap A_k \cap A_{k+1}| + \\ + |A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_{k+1}| + |A_1 \cap A_2 \cap A_4 \cap A_{k+1}| + \dots + \\ + |A_1 \cap A_2 \cap A_k \cap A_{k+1}| + \dots + (-1)^{k-1} |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k \cap A_{k+1}|.$$

Bu ifodani o'z o'rniga qo'yib

$$|A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_k \cup A_{k+1}| = |A_1| + |A_2| + |A_3| + \dots + |A_k| + |A_{k+1}| - \\ - |A_1 \cap A_2| - |A_1 \cap A_3| - \dots - |A_k \cap A_{k+1}| + \\ + |A_1 \cap A_2 \cap A_3| + |A_1 \cap A_2 \cap A_4| + \dots + |A_{k-1} \cap A_k \cap A_{k+1}| - \\ - \dots + (-1)^k |A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_k \cap A_{k+1}|$$

tenglikni hosil qilamiz. ■

**6- teorema** (umumlashgan qo'shish qoidasi). Juft-jufti bilan kesishmaydigan ixtiyoriy chekli  $A_1, A_2, \dots, A_n$  to'plamlar uchun

$$|A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n| = |A_1| + |A_2| + \dots + |A_n|$$

tenglik o'rinnlidir.

**Isboti.** Teorema shartiga ko'ra barcha  $i, j = \overline{1, n}$ ,  $i \neq j$ , indekslar uchun  $A_i \cap A_j = \emptyset$  bo'lgani sababli 5- teorema asosida kerakli tenglikni hosil qilamiz. ■

**7- teorema.** Ixtiyoriy chekli  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  to'plamlar uchun

$$|A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap \dots \cap A_n| = |A_1| + |A_2| + |A_3| + \dots + |A_n| - \\ - |A_1 \cup A_2| - |A_1 \cup A_3| - \dots - |A_{n-1} \cup A_n| + \\ + |A_1 \cup A_2 \cup A_3| + |A_1 \cup A_2 \cup A_4| + \dots + |A_{n-2} \cup A_{n-1} \cup A_n| - \\ - \dots + (-1)^{n-1} |A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n|$$

munosabat o'rinnlidir.

**Isboti** o'quvchiga havola qilinadi. ■

**8- teorema** (umumlashgan ko'paytirish qoidasi). Elementlari soni mos ravishda  $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$  bo'lgan  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_k$  to'plamlardan faqat bittadan element olib tuzilgan k uzunlikka ega kortejlar soni  $n_1 n_2 n_3 \dots n_k$  ga tengdir.

**Isboti.** Teoremani isbotlash uchun matematik induksiya usulini qo'llaymiz.  $k = 1$  bo'lgan hol uchun teoremaning tasdig'i trivialdir.

Induksiya usulining bazasi sifatida  $k = 2$  bo'lgan holni qaraymiz. Bu holda teoremaning tasdig'i yuqorida keltirilgan ikkita to'plam uchun ko'paytirish qoidasidan kelib chiqadi.

Induksion o'tish: teoremaning tasdig'i  $k = s$  ( $s = \overline{1, k-1}$ ) uchun to'g'ri bo'lsin, ya'ni,  $A_1, A_2, \dots, A_s$  to'plamlardan faqat bittadan element olib tuzilgan  $s$  uzunlikdagi kortejlar soni  $n_1 n_2 \dots n_s$  bo'lsin deb faraz qilamiz. Teorema tasdig'ining  $k = s+1$  uchun ham to'g'ri ekanligini ko'rsatamiz.

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_{s+1}$  to'plamlardan faqat bittadan element olib uzunligi  $(s+1)$ ga teng bo'lgan kortejlar sonini aniqlash uchun turlicha usullardan foydalanish mumkin. Bu yerda quyidagi usul bilan kerakli natijani olsa bo'ladi. Dastlab uzunligi birga teng bo'lgan kortejlarni tuzamiz. Uzunligi birga teng bo'lgan kortejlar berilgan to'plamlarning ixtiyoriy biridan faqat bitta elementni tanlash yordamida tuzilishi ravshan. Tabiiyki, agar uzunligi birga teng kortejlar  $A_1 = \{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n_1}\}$  to'plamning elementlaridan tuzilsa, bunday kortejlar soni  $n_1$  ga tengdir.

Uzunligi birga teng kortejlardan ixtiyoriy birini, masalan,  $a_{11}$  ni olib, uning o'ng tomoniga  $A_1$  to'plamdan boshqa biror to'plamning, masalan,  $A_2 = \{a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2n_2}\}$  to'plamning elementlaridan birini joylashtirib, birinchi koordinatasini  $a_{11}$  bo'lgan uzunligi ikkiga teng  $n_2$  ta kortejlar hosil qilamiz. Uzunligi birga teng kortej sifatida  $n_1$  ta kortejlardan ixtiyoriy birini olish mumkinligini hisobga olib, hammasi bo'lib uzunligi ikkiga teng  $n_1 n_2$  ta kortejlarga ega bo'lamiz.

Uzunligi ikkiga teng kortejlarning har biriga o'ng tomonidan  $A_1$  va  $A_2$  to'plamlardan boshqa biror to'plamning, masalan,  $A_3 = \{a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3n_3}\}$  to'plamning  $n_3$  ta elementlaridan birini joylashtirib, uzunligi uchga teng  $n_3$  ta kortejlar hosil qilamiz. Bu yerda uzunligi ikkiga teng kortej sifatida  $n_1 n_2$  ta kortejlardan ixtiyoriy birini olish mumkinligini e'tiborga olib, uzunligi uchga teng  $n_1 n_2 n_3$  ta kortejlarni hosil qilamiz.

Kortejlar hosil qilish jarayonini yuqoridagiga o'xshash mulohazalar bilan davom ettirib, bu kortejlarning har biriga o'ng tomonidan  $A_1, A_2, \dots, A_s$  to'plamlardan boshqa  $A_{s+1} = \{a_{(s+1)1}, a_{(s+1)2}, \dots, a_{(s+1)n_{s+1}}\}$  to'plamning  $n_{s+1}$  ta elementlaridan birini joylashtirib, uzunligi  $(s+1)$  ga teng bo'lgan  $n_{s+1}$  ta kortejlar hosil qilamiz. Bu yerda ham uzunligi  $s$  ga teng kortej sifatida  $n_1 n_2 \dots n_s$  ta kortejlardan ixtiyoriy birini olish mumkinligini

e'tiborga olamiz. Shunday qilib,  $n_1 n_2 \dots n_s$  marta  $n_{s+1}$  ta kortej hosil bo'ldi. Demak, uzunligi  $(s+1)$  ga teng bo'lgan kortejlar  $n_1 n_2 \dots n_s n_{s+1}$  tadir. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Uchnchi tartibli figurali sonlar qatnashgan amaliy misol keltiring.
2. 1, 3, 6 va 8 raqamlaridan foydalanib o'nli sanoq tizimida bir, ikki, uch, to'rt xonali barcha sonlarni yozing.
3. Matematik induksiya usuli yordamida arifmetik va geometrik progressiyalarning umumiy hadlari hamda dastlabki  $n$  ta hadlari yig'indisini topish formulalarini isbotlang.
4. Matematik induksiya usulini qo'llab quyidagi formulalarni isbotlang:

$$\text{a) } 1 - \frac{1}{2} + \frac{1}{3} - \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{2n-1} - \frac{1}{2n} = \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n+2} + \dots + \frac{1}{2n},$$

$$\text{b) } \sin x + \sin(x+h) + \dots + \sin(x+nh) = \frac{\sin\left(x + \frac{nh}{2}\right) \sin\left(\frac{(n+1)h}{2}\right)}{\sin\left(\frac{h}{2}\right)}, \quad \text{bu}$$

yerda  $h \neq 2\pi k$ ,  $k \in \mathbb{Z}$ .

5. Matematik induksiya usulidan foydalanib, quyidagi tasdiqlarni isbotlang:

- a) Ixtiyoriy  $n \in N$  uchun  $11^{n+2} + 12^{2n+1}$  son 133ga qoldiqsiz bo'linadi;
- b)  $11a^2 - 14a + 3 \geq 0$  ( $a$  – butun son) tengsizlik o'rinnlidir;

$$\text{d) } 1 + \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{n}} > 2(\sqrt{n+1} - 1) \quad \text{tengsizlik o'rinnlidir, bu}$$

yerda  $n \in N$  va  $n \geq 2$ .

6.  $2^n > n^2$  tengsizlik o'rinnli bo'ladigan barcha natural  $n$  sonlarni toping.

7. Ixtiyoriy  $n$  natural son va chekli  $A$  to'plam uchun  $|A''| = |A|^n$  tenglikning o'rinnli bo'lishini matematik induksiya usuli yordamida isbotlang.

8. Yetti so'mdan ortiq butun son bilan ifodalanuvchi pul to'lovini faqat 3 so'mlik va 5 so'mliklar bilan amalga oshirish mumkinligini isbotlang.

9. "Kombinatorika" so'zidan bitta unli yoki undosh harf tanlash imkoniyatlari sonini aniqlang.

10. 13 nafar qiz va 12 nafar o'g'il boladan tashkil topgan talabalar guruhidan bir nafar talaba tanlash imkoniyatlari sonini aniqlang.

11. "Kombinatorika" so'zidan bitta unli va bitta undosh harf tanlash imkoniyatlari sonini aniqlang.

12. Qiroatxonada har biri ikki o'rinni stollar to'rt qatorga sakkiztadan joylashtirilgan. Haftaning yakshanba kunidan tashqari har kuni qiroatxona o'quvchilarga sakkiz soat xizmat ko'rsatadi. Qiroatxonaning bir haftada o'quvchilarga mumkin bo'lgan eng ko'p xizmat ko'rsatish vaqtini (o'rinni soat birligida) toping.

13. Agar  $A$  va  $B$  shaharlarni to'rtta yo'l,  $B$  va  $C$  shaharlarni esa uchta yo'l bog'lasa, u holda  $A$  shahardan  $B$  shahar orqali  $C$  shaharga borish imkoniyatlari sonini aniqlang.

14. Shaxmat taxtasiga oq va qora shohlarni bir-biriga hujum qilmaydigan holda joylashtirish imkoniyatlari sonini toping.

15. Shaxmat taxtasiga oq va qora ruxlarni bir-biriga hujum qilmaydigan holda joylashtirish imkoniyatlari sonini toping.

16. Yakkamualliflikda yozilgan Axmedovning  $n_A$  ta, Botirovning  $n_B$  ta va Davronovning  $n_D$  ta kitoblardan:

a) bitta kitobni, b) turli mualliflarning ikkita kitobini,

d) turli mualliflarning uchta kitobini

tanlash imkoniyatlari sonini aniqlang.

17. Agar tarkibida  $n$  ta savoli bo'lgan so'rvonamaning har bir savoliga

a) "ha" yoki "yo'q", b) "ha", "yo'q", "bilmayman" degan javobni yozish mumkin bo'lsa, u holda so'rvonamaning savollariga berish mumkin bo'lgan barcha javoblar imkoniyatlari sonini aniqlang.

18. Universitetning "Matematik modellashtirish" kafedrasida 12 nafar professor-o'qituvchilar bo'lib, ularning har biri o'zbek va rus tillaridan tashqari yana hech bo'lmasa bitta chet tilini biladi. Professor-o'qituvchilarning 10 nafari tojik, 7 nafari ingliz, 6 nafari esa olmon tilini biladi. Agar professor-o'qituvchilarning 5 nafari tojik va ingliz, 4 nafari tojik va olmon hamda 3 nafari ingliz va olmon tillarini bilsa, u holda o'zbek va rus tillaridan tashqari: a) uchala chet tilini, b) ikkita chet tilini, d) faqat ingliz tilini biladigan professor-o'qituvchilar sonini aniqlang.

19. Quyidagi formulani isbotlang:

$$\max(a_1, \dots, a_n) = a_1 + \dots + a_n - \min(a_1, a_2) - \dots - \min(a_{n-1}, a_n) + \\ + \min(a_1, a_2, a_3) + \dots + \min(a_{n-2}, a_{n-1}, a_n) - \dots + (-1)^{n-1} \min(a_1, \dots, a_n).$$

## *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Kombinatorika predmeti nima?
2. Kombinatorika sohasida ilmiy tadqiqotlar olib borgan qaysi olimlarni bilasiz?
3. Kombinatorika matematikaning alohida ilmiy yo'nalishi sifatida qachon shakllandi?
4. Figurali sonlar deganda nimani tushunasiz?
5. "Kombinatorika" iborasi kim tomonidan, qachon kiritilgan?
6. Matematik induksiya usulidan foydalaniib tasdiq qanday isbotlanadi?
7. Qo'shish va ko'paytirish qoidalari qanday ifodalanadi?
8. Umumlashgan qo'shish va ko'paytirish qoidalarini bilasizmi?

### **2.2. Asosiy kombinatsiyalar**

*To'plam. Element. Kombinatsiya. O'r'in almashtirish. Betakror o'r'in almashtirish. O'r'in almashtirishlar soni. O'r'inlashtirish. O'r'inlashtirishlar soni. Gruppalash. Gruppalashlar soni. Ko'paytirish qoidasi. Matematik induksiya usuli. Faktorial.*

**2.2.1. O'r'in almashtirishlar.** Elementlari  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  bo'lgan to'plamni qaraymiz. Bu to'plam elementlarini har xil tartibda joylashtirib (yozib), tuzilmalar (kombinatsiyalar) hosil qilish mumkin, masalan,

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n ; a_2, a_1, a_3, \dots, a_n ; a_2, a_3, a_1, \dots, a_n .$$

Bu tuzilmalarning har birida berilgan to'plamning barcha elementlari ishtirok etgan holda ular bir-biridan faqat elementlarining joylashish o'rnlari bilan farq qiladilar.

**1- ta'rif.** *Shu usul yordamida hosil qilingan kombinatsiyalarning har biri berilgan  $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$  to'plam elementlarining o'r'in almashtirishi deb ataladi.*

Aslida "o'r'in almashtirish" iborasi to'plam elementlarining o'rnlarini o'zgartirish harakatini anglatsada, bu yerda uni shu harakat natijasida hosil bo'lgan tuzilma sifatida qo'llaymiz. Bu iboradan uning asl ma'nosida ham foydalananamiz.

O'r'in almashtirishni ifodalashda uning elementlarini ajratuvchi belgi sifatida yuqorida “,” (vergul) belgisidan foydalаниди. Ammo bu muhim emas, bu yerda boshqa belgidan ham foydalinish, hattoki, yozuvning ixchamligi maqsadida, elementlar orasidagi ajratuvchi belgilarni tushirib qoldirish ham mumkin. Bu eslatma bundan keyin bayon etiladigan boshqa kombinatorik tuzilmalar uchun ham o'rinnidir.

To'plam tushunchasiga asoslanib, bu yerda qaralayotgan o'rin almashtirishlar tarkibida elementlarning takrorlanmasligini eslatib o'tamiz. Shu sababli bunday o'rin almashtirishlarni **betakror** (*takrorli emas*) o'rin almashtirishlar deb ham atash mumkin. Ushbu bobning 4- paragrafida takrorli o'rin almashtirishlar ko'riladi.

Berilgan  $n$  ta elementli to'plam uchun barcha o'rin almashtirishlar sonini  $P_n$  bilan belgilash qabul qilingan<sup>1</sup>.

Bitta elementli  $\{a\}$  to'plam uchun faqat bitta  $a$  ko'rinishdagi o'rin almashtirish borligi ravshandir:  $P_1 = 1$ .

Ikkita elementli  $\{a, b\}$  to'plam elementlaridan o'rin almashtirishlarni bitta elementli  $\{a\}$  to'plam uchun  $a$  o'rin almashtirishidan foydalanib quyidagicha tashkil qilamiz:  $b$  element  $a$  elementdan keyin yozilsa,  $ab$  o'rin almashtirishga, oldin yozilsa esa  $ba$  o'rin almashtirishga ega bo'lamiz. Demak, ko'paytirish qoidasiga (ushbu bobning 1- paragrafiga qarang) binoan ikkita o'rin almashtirish bor:  $P_2 = 2 = 1 \cdot 2$ .

Uchta elementli  $\{a, b, c\}$  to'plam uchun o'rin almashtirishlar tashkil qilishda ikkita elementli  $\{a, b\}$  to'plam uchun tuzilgan  $ab$  va  $ba$  o'rin almashtirishlardan foydalanish mumkin. Berilgan to'plamning  $c$  elementini  $ab$  va  $ba$  o'rin almashtirishning har biriga uch xil usul bilan joylashtirish mumkin: ularning elementlaridan keyin, elementlarining orasiga va elementlaridan oldin. Ko'paytirish qoidasini qo'llasak, uchta elementli  $\{a, b, c\}$  to'plam uchun oltita ( $P_3 = 6 = 1 \cdot 2 \cdot 3$ ) har xil o'rin almashtirishlar hosil bo'lishini aniqlaymiz. Ular quyidagilardir:

$$abc, acb, cab, bac, bca, cba.$$

To'rtta elementli  $\{a, b, c, d\}$  to'plamni qarab, uchta elementli  $\{a, b, c\}$  to'plam uchun tuzilgan oltita o'rin almashtirishlarning har biriga  $d$  elementni to'rt xil usul bilan joylashtirish imkoniyati borligini e'tiborga olsak, ko'paytirish qoidasiga ko'ra,  $P_4 = 24 = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4$  bo'lishini topamiz. Bu yerda barcha o'rin almashtirishlar quyidagilardir:

$$\begin{aligned} &abcd, abdc, adbc, dabc, \\ &acbd, acdb, adcb, dacb, \\ &cabd, cadb, cdab, dcab, \\ &bacd, badc, bdac, dbac, \\ &bcad, bcda, bdca, dbca, \\ &cbad, cbda, cdba, dcba. \end{aligned}$$

<sup>1</sup> Fransuzcha "permutation" so'zi o'rin almashtirish ma'nosini anglatadi.

Shu tarzda davom etib " $n$  ta elementli to'plam uchun barcha o'rinn almashtirishlar soni birdan  $n$  gacha bo'lgan barcha natural sonlarning ko'paytmasiga teng" deb faraz qilish mumkin:  $P_n = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot (n-1) \cdot n$ . Bu farazning to'g'riligi quyidagi 1- teoremda isbot qilinadi.

Dastlabki  $n$  ta natural sonlar ko'paytmasini  $n!$  ko'rinishida<sup>1</sup> belgilash qabul qilingan, ya'ni  $1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n = n!$ .  $n!$  belgisidan bunday ma'noda birinchi bo'lib K. Kramp<sup>2</sup> 1808- yilda nashr etilgan algebra bo'yicha qo'llanmada foydalangan.

$1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$  ifodada  $n=1$  bo'lganda faqat 1 soni ishtirok etadi, shuning uchun, ta'rif sifatida  $1!=1$  deb hisoblash qabul qilingan. Bundan tashqari,  $n=0$  bo'lganda esa  $n!$  ifoda umuman ma'nosini yo'qotadi. Lekin, ta'rif sifatida  $0!=1$  deb qabul qilinadi.

**1- teorema.** *Elementlari soni  $n$  ta bo'lgan to'plam uchun o'rinn almashtirishlar soni  $n!$  ga teng, ya'ni  $P_n = n!$ .*

**Isboti.** Teoremani isbotlash uchun matematik induksiya usulidan foydalanamiz. Asos to'g'riligini, ya'ni teoremaning tasdig'i  $n=1$  uchun to'g'riligini yuqorida ko'rdik. Induksion o'tish uchun teoremaning tasdig'i biror natural  $n=k$  uchun to'g'ri bo'lsin deb faraz qilamiz, ya'ni  $P_k = k!$  bo'lsin. Ravshanki,  $(k+1)$  ta elementli to'plamni  $k$  ta elementli to'plamga yangi  $(k+1)$ - elementni kiritish yordamida hosil qilish mumkin. Bu  $(k+1)$ - elementni  $k$  elementli to'plam uchun barcha  $k!$  ta o'rinn almashtirishlarning har biriga quyidagicha  $(k+1)$  xil usul bilan kiritish mumkin:

1- elementdan oldin,

1- va 2- elementlar orasiga,

2- va 3- elementlar orasiga,

.....

$(k-1)$ - va  $k$  - elementlar orasiga,

$k$  - elementdan keyin.

Shunday qilib, ko'paytirish qoidasiga binoan,  $(k+1)$  ta elementli to'plam uchun jami  $k!(k+1) = (k+1)!$  ta o'rinn almashtirishlar hosil bo'ladi, ya'ni  $P_{k+1} = (k+1)!$ . ■

<sup>1</sup> Bu yozuv "en faktorial" deb o'qiladi; faktorial so'zi lotincha "factor" so'zidan olingan bo'lib, ko'paytuvchi ma'nosini anglatadi.

<sup>2</sup> Kristian Kramp (Christian, 1760-1826) – olmon matematigi. Asosiy ishlari kombinatorika, geometriya va algebraga bag'ishlangan.

**1- misol.** Besh nafar tomoshabinlarning beshta o'rinni egallash imkoniyatlari (variantlari) sonini toping.

Agar tomoshabinlarni  $a, b, c, d, e$  harflar bilan belgilasak, u holda  $T = \{a, b, c, d, e\}$  tomoshabinlar to'plamiga ega bo'lamiz. Tomoshabinlarni o'rirlarga joylashtirish imkoniyatlarining (variantlarining) har biriga tomoshabinlar  $T$  to'plami elementlarining qandaydir o'rin almashtirishi mos keladi.  $T$  to'plam beshta elementli bo'lgani uchun, 1- teorema ga asosan,  $P_5 = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 = 120$  bo'ladi. Demak, besh nafar tomoshabinning beshta o'rinni egallash imkoniyatlari soni 120ga teng. ■

**2- misol.** Shaxmat bo'yicha musobaqada har birining tarkibida to'rt nafar o'yinchi bo'lgan ikkita jamoa ishtirok etmoqda. Har bir jamoa rahbariga to'rtta shaxmat taxtasida o'yinlar o'tkazish uchun o'yinchilarni ixtiyoriy ravishda tartiblash imkoniyati berilgan. Musobaqa qatnashchilarining shaxmat taxtalarini egallash imkoniyatlari (variantlari) sonini toping.

Har bir komanda a'zolari uchun shaxmat taxtalarini egallash imkoniyatlarini  $P_n = n!$  formula yordamida hisoblash mumkin:  $P_4 = 4! = 24$ . Jamoalardagi o'yinchilarni ixtiyoriy ravishda tartiblash mumkin bo'lganligidan, ko'paytirish qoidasiga ko'ra, musobaqa qatnashchilarining shaxmat taxtalarini egallash imkoniyatlari (variantlari) soni  $24 \cdot 24 = 576$  bo'ladi. ■

**2.2.2. O'rinalashtirishlar.**  $n$  ta elementli  $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$  to'plam berilgan bo'lsin.

**2-ta'rif.**  $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$  to'plamning ixtiyoriy  $m$  ta elementidan hosil qilingan tartiblangan  $\{a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_m}\}$  tuzilmaga (kombinatsiyaga)  $n$  ta elementdan  $m$  tadan o'rinalashtirish deb ataladi.

Bu ta'rifdan ko'rinish turibdiki, elementlari soni bir xil bo'lgan ikkita har xil o'rinalashtirishlar bir-biridan elementlari bilan yoki bu elementlarning joylashish tartibi bilan farq qiladi. Bundan tashqari,  $n$  ta elementdan  $m$  tadan o'rinalashtirishlar uchun  $m \leq n$  bo'lishi ham ravshan. Bu yerda qaralayotgan o'rinalashtirishlar tarkibidagi elementlarning takrorlanmasligini eslatib o'tamiz. Shu sababli bunday o'rinalashtirishlarni betakror (takrorli emas) o'rinalashtirishlar deb ham atash mumkin. Ushbu bobning 4- paragrafida takrorli o'rinalashtirishlar ko'rildi.

Berilgan  $n$  ta elementdan  $m$  tadan o'rinalashtirishlar soni, odatda,  $A_n^m$  bilan belgilanadi<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Fransuzcha "arrangement" so'zi o'rinalashtirish ma'nosini beradi.

Ravshanki, berilgan  $n$  ta  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  elementlardan bittadan o'rinalashtirishlar  $n$  ta bo'ladi (bular:  $a_1; a_2;$  va hokazo,  $a_n$ ), ya'ni  $A_n^1 = n$ .

$n$  ta elementdan bittadan o'rinalashtirishlar yordamida  $n$  ta elementdan ikkitadan o'rinalashtirishlarni quyidagicha tuzish mumkin.  $n$  ta elementdan bittadan o'rinalashtirishlarning har biridagi elementdan keyin yoki oldin qolgan  $(n-1)$  ta elementlardan ixtiyoriy bittasini joylashtirsa bo'ladi. Natijada, ko'paytirish qoidasiga binoan, jami soni  $A_n^2 = n(n-1)$  ta bo'lgan  $n$  ta elementdan ikkitadan o'rinalashtirishlarni hosil qilamiz.

Shu kabi,  $n$  ta elementdan uchtadan o'rinalashtirishlarni hosil qilish uchun  $n$  ta elementdan ikkitadan o'rinalashtirishlarga murojaat qilish mumkin. Bu yerda  $n$  ta elementdan ikkitadan o'rinalashtirishlarning har biri uchun uni tashkil etuvchi ikkita elementlardan oldin, elementlar orasiga yoki elementlardan keyin qolgan  $(n-2)$  ta elementlardan ixtiyoriy bittasini joylashtirish imkoniyati bor. Ko'paytirish qoidasiga ko'ra natijada jami soni  $A_n^3 = n(n-1)(n-2)$  ta bo'lgan  $n$  ta elementdan uchtadan o'rinalashtirishlarni hosil qilamiz.

Shunga o'xhash mulohaza yuritib,  $n$  ta elementdan to'rtadan, beshtadan va hokazo o'rinalashtirishlar soni uchun mos ifodalarni aniqlash qiyin emas.

**2-teorema.**  $n$  ta elementdan  $m$  tadan o'rinalashtirishlar soni eng kattasi  $n$  ga teng bo'lgan  $m$  ta ketma-ket natural sonlarning ko'paytmasiga tengdir, ya'ni  $A_n^m = n(n-1)\dots(n-m+1)$ .

**I s b o t i.**  $n$  - ixtiyoriy natural son bo'lsin. Teoremani isbotlash uchun matematik induksiya usulini qo'llab, teorema tasdig'ining  $n$  dan oshmaydigan ixtiyoriy  $m$  natural son uchun to'g'riligini ko'rsatamiz (ya'ni induksiyani  $m$  bo'yicha bajaramiz).

Baza: yuqorida  $A_n^1 = n$  ekanligi aniqlangan edi, ya'ni teorema tasdig'i  $m=1$  uchun to'g'ridir.

Induksion o'tish:  $A_n^m = n(n-1)\dots(n-m+1)$  formula  $m=k < n$  uchun to'g'ri bo'lsin deb faraz qilamiz va uning  $m=k+1$  uchun ham to'g'ri ekanligini ko'rsatamiz.  $n$  ta elementdan  $(k+1)$  tadan o'rinalashtirishlarning ixtiyoriy bittasini quyidagicha hosil qilish mumkin. Bunday o'rinalashtirishning birinchi elementi sifatida berilgan  $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$  to'plamning istalgan elementini, masalan,  $a_1$  ni tuzilayotgan o'rinalashtirishga joylashtiramiz. Undan keyin umumiy soni  $A_{n-1}^k$  ga teng bo'lgan

$(n-1)$  ta elementdan  $k$  tadan o'rinalashtirishlarning ixtiyoriy biridagi barcha elementlarni joylashtiramiz. Birinchi elementi  $a_1$  dan iborat bo'lgan barcha  $n$  ta elementdan  $(k+1)$  tadan o'rinalashtirishlarning soni  $A_{n-1}^k$  ga tengdir. Bunday o'rinalashtirishlarning birinchi elementi sifatida  $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$  to'plamning ixtiyoriy elementini tanlash mumkinligini e'tiborga olsak, ko'paytirish qoidasiga binoan, berilgan  $n$  ta elementdan  $(k-1)$  tadan o'rinalashtirishlar soni quyidagicha aniqlanishi kelib chiqadi:

$$A_n^{k+1} = n A_{n-1}^k = n(n-1)(n-2)\dots((n-1)-k+1) = \\ = n(n-1)\dots(n-(k+1)+1).$$

Bu munosabat isbotlanayotgan formulaning  $m = k+1$  uchun to'g'riligini ko'rsatadi. ■

**3- misol.** Guruh 25 nafar talabadan tashkil topgan bo'lsin. Bu guruhda guruh sardori, guruh sardorining yordamchisi va kasaba uyushmasining guruh bo'yicha vakilini saylash zarur. Har bir talaba bu vazifalardan faqat bittasini bajaradi deb hisoblansa, saylov natijalari uchun qancha imkoniyat mavjud?

Bu yerda 25ta elementli talabalar to'plamining tartiblangan uchta elementli (guruh sardori, guruh sardorining yordamchisi va kasaba uyushmasining guruh bo'yicha vakili) qism to'plamlari sonini aniqlash zarur. Bu esa 25ta elementdan uchtadan o'rinalashtirishlar sonini topish demakdir. Qo'yilgan savolga javob topish maqsadida 2- teoremadagi isbotlangan formulani  $n = 25$  va  $m = 3$  bo'lgan holda qo'llab,  $A_{25}^3 = 25 \cdot 24 \cdot 23 = 13800$  ekanligini aniqlaymiz. Demak, guruhdagi saylov natijalari uchun 13800ta imkoniyat mavjud. ■

$$A_n^m = n(n-1)\dots(n-m+1) \text{ formulani } A_n^m = \frac{n!}{(n-m)!} \text{ ko'rinishda}$$

ham yozish mumkin. Haqiqatdan ham,

$$A_n^m = n(n-1)\dots(n-m+1) = \frac{n(n-1)\dots(n-m+1)(n-m)!}{(n-m)!} = \frac{n!}{(n-m)!}.$$

Yuqorida ta'kidlaganganidek,  $n$  ta elementdan  $m$  tadan o'rinalashtirishlar  $n$  elementli to'plamning bir-biridan tarkibi bilan ham, elementlarining joylashishi bilan ham farqlanadigan qism to'plamlaridan iboratdir. Agar bu o'rinalashtirishlarda  $n$  ta elementli to'plamning barcha elementlari qatnashsa (ya'ni  $m = n$  bo'lsa),  $n$  ta elementli to'plam uchun barcha o'rinn almashtirishlar hosil bo'lishi tabiiydir. Shu tufayli, o'rinn

almashtirishlarning oldin keltirilgan ta'rifiga ekvivalent quyidagi ta'rifni ham berish mumkin.

$n$  ta elementli to'plam uchun o'rin almashtirishlar deb  $n$  ta elementdan  $n$  tadan o'rinalashtirishlarga aytildi. Bunda har bir element faqat bir marta qatnashadi va ular bir-biridan faqat o'zaro joylashishlari bilan farq qiladilar.

O'rin almashtirishlarning bu ta'rifiga asoslanib  $n$  ta elementli to'plam uchun o'rin almashtirishlar soni formulasini o'rinalashtirishlar soni formulasi yordamida hosil qilish mumkin. Haqiqatdan ham,

$$P_n = A_n^n = n(n-1)\dots(n-(n-1)) = n(n-1)\dots 2 \cdot 1 = n!$$

yoki

$$P_n = A_n^n = \frac{n!}{(n-n)!} = \frac{n!}{0!} = \frac{n!}{1} = n!.$$

**2.2.3. Gruppalashlar.**  $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$  to'plam berilgan bo'lsin. Bu  $n$  elementli to'plamning elementlaridan  $m$  ta elemetga ega qism to'plamlarni shunday tashkil etamizki, ular bir-biridan elementlarining joylashish tartibi bilan emas, faqat tarkibi bilan farq qilsinlar.

**3- ta'rif.** *Bunday  $m$  ta elementli qism to'plamlarning har biriga  $n$  ta elementdan  $m$  tadan gruppalash deb ataladi.*

$n$  ta elementdan  $m$  tadan gruppalashlar sonini  $C_n^m$  bilan belgilaymiz<sup>1</sup>.

Gruppalashlar sonini  $\binom{m}{n}$  yoki  $\binom{n}{m}$  shaklda belgilashlar ham

uchraydi. Gruppalash ta'rifidan  $1 \leq m \leq n$  ekanligi va agar biror gruppalashda qandaydir usul bilan elementlar o'rinnari almashtirilsa, u (gruppalash sifatida) o'zgarmasligi kelib chiqadi. Bu yerda qaralayotgan gruppalash tarkibida elementlarning takrorlanmasligini eslatib o'tamiz. Shu sababli bunday gruppalashni **betakror** (takrorli emas) gruppalash deb ham atash mumkin. Ushbu bobning 4- paragrafida takrorli gruppalashlar o'rganiladi.

Bir ( $n=1$ ) elementli  $\{a\}$  to'plam uchun faqat bitta gruppalash mavjud, u ham bo'lsa bir ( $m=1$ ) elementlidir:  $a$ . Demak,  $C_1^1 = 1$ .

Ikki ( $n=2$ ) elementli  $\{a, b\}$  to'plam uchun bittadan ( $m=1$ ) gruppalashlar ikkita ( $a$  va  $b$ ), ikkitadan ( $m=2$ ) gruppalashlar esa faqat bitta ( $ab$ ). Demak,  $C_2^1 = 2$ ,  $C_2^2 = 1$ .

<sup>1</sup> Fransuzcha "combinasion" so'zi gruppalash ma'nosini beradi.

Uch ( $n = 3$ ) elementli  $\{a, b, c\}$  to'plam uchun gruppashlar: bittadan ( $m = 1$ ) –  $a, b$  va  $c$  (uchta); ikkitadan ( $m = 2$ ) –  $ab, ac, bc$  (uchta); uchtadan ( $m = 3$ ) –  $abc$  (faqat bitta). Demak,  $C_3^1 = 3$ ,  $C_3^2 = 3$ ,  $C_3^3 = 1$ .

To'rtta ( $n = 4$ ) elementdan tashkil topgan  $\{a, b, c, d\}$  to'plam elementlaridan tuzilgan gruppashlar: bittadan –  $a, b, c$  va  $d$  (to'rtta); ikkitadan –  $ab, ac, ad, bc, bd, cd$  (oltita); uchtadan –  $abc, abd, acd, bcd$  (to'rtta); to'rttadan  $abcd$  (faqat bitta). Demak,  $C_4^1 = 4$ ,  $C_4^2 = 6$ ,  $C_4^3 = 4$ ,  $C_4^4 = 1$ .

Yuqoridagi mulohazalar gruppashlar sonini hisoblash formulasi qanday bo'lishiga to'liq oydinlik kiritmasada, dastlabki tahlil uchun muhimdir. Masalan,  $n$  ta elementdan barcha elementlarni o'z ichiga oladigan faqat bitta gruppash tashkil etish mumkin, degan yoki  $n$  ta elementdan bittadan  $n$  ta gruppash bor degan xulosalar ustida o'ylab ko'rish mumkin.

$C_n^m$  sonni hisoblash uchun formula topish maqsadida quyidagicha mulohaza yuritamiz. Ravshanki, agar  $n$  ta elementdan  $m$  tadan barcha gruppashlarning har birida elementlarning o'rinnari imkoniyat boricha almashtirilsa, natijada  $n$  ta elementdan  $m$  tadan barcha o'rinalashtirishlar hosil bo'ladi. Bu yerda  $n$  ta elementdan  $m$  tadan tuzilgan  $C_n^m$  ta gruppashning har biridagi  $m$  ta elementdan  $P_m = m!$  ta o'rinalashtirishlar hosil qilish mumkin bo'lganligi tufayli, ko'paytirish qoidasiga asosan,  $P_m C_n^m = A_n^m$  tenglik to'g'ridir. Demak,

$$C_n^m = \frac{A_n^m}{P_m} = \frac{n(n-1)\dots(n-m+1)}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot m}$$

formula o'rindir. Shunday qilib, quyidagi teorema isbotlandi.

**3-teorema.**  $n$  ta elementdan  $m$  tadan gruppashlar soni eng kattasi  $n$  ga teng bo'lgan  $m$  ta ketma-ket natural sonlar ko'paytmasining dastlabki  $m$  ta natural sonlar ko'paytmasiga nisbati kabidir:

$$C_n^m = \frac{n(n-1)\dots(n-m+1)}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot m}.$$

**4-misol.** Qurilish tashkilotining duradgorlar bo'limida 15 nafar ishchi bor. Ko'p qavatli uyning eshiklarini ta'mirlash uchun 3 nafar duradgorni tanlash zarur. Agar bo'limdagi har bir duradgor bu topshiriqni bajarishga layoqatli bo'lsa, bunday tanlash imkoniyatlari (variantlari) qancha?

Bo'limdagi har bir duradgor ta'mirlash ishini bajarishga layoqatli bo'lgani uchun, bu masalani hal qilishda gruppashlar sonini toppish

formulasidan foydalanish mumkin. Bu yerda  $n=15$ ,  $m=3$  va  $C_{15}^3 = \frac{15 \cdot 14 \cdot 13}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 455$ . Demak, 15 nafar duradgorlar orasidan 3 nafarini tanlash imkoniyatlari soni 455 ekan. ■

Agar ta'rif sifatida  $C_n^0 = 1$  qabul qilinsa,  $n$  ta elementdan  $m$  tadan gruppashlar soni uchun yuqorida keltirilgan formula  $m=0$  bo'lgan holda ham to'g'ri bo'ladi:  $C_n^0 = \frac{n!}{0!n!} = 1$ . Tabiiyki,  $n$  ta elementdan barcha elementlarni o'z ichiga oladigan faqat bitta gruppash tashkil etish mumkin:  $C_n^n = \frac{n!}{n!0!} = 1$ .

Gruppashlar sonini hisoblash uchun

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}, \quad C_n^m = \frac{n(n-1)\dots(m+1)}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot (n-m)}$$

ko'rinishdagi formulalardan ham foydalanish mumkin. Bu formulalar quyidagi tengliklardan kelib chiqadi:

$$\begin{aligned} C_n^m &= \frac{A_n^m}{P_m} = \frac{\frac{n!}{(n-m)!}}{m!} = \frac{n!}{m!(n-m)!} = \frac{\frac{n!}{m!}}{(n-m)!} = \\ &= \frac{\frac{n!}{(n-(n-m))!}}{(n-m)!} = \frac{A_n^{n-m}}{P_{n-m}} = \frac{n(n-1)\dots(m+1)}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot (n-m)}. \end{aligned}$$

Ixtiyoriy natural  $n$  soni uchun gruppashlar soni bir qator xossalarga ega, masalan,  $C_n^m = C_n^{n-m}$  ( $m=0,1,2,\dots,n$ ),

$$C_n^m + C_n^{m+1} = C_{n+1}^{m+1} \quad (m=0,1,2,\dots,n-1).$$

Haqiqatdan ham,

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} = \frac{n!}{(n-m)!(n-(n-m))!} = C_n^{n-m},$$

$$\begin{aligned} C_n^m + C_n^{m+1} &= \frac{n!}{m!(n-m)!} + \frac{n!}{(m+1)!(n-m-1)!} = \\ &= \frac{n!}{m!(n-m-1)!} \left( \frac{1}{n-m} + \frac{1}{m+1} \right) = \end{aligned}$$

$$= \frac{n!(n+1)}{m!(m+1)(n-m-1)!(n-m)} = \frac{(n+1)!}{(m+1)!((n+1)-(m+1))!} = C_{n+1}^{m+1}.$$

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Shaxmat taxtasiga 8 ta ruxni bir-biriga hujum qilmaydigan qilib necha xil usul bilan joylashtirish mumkin?
2. Ma'noga ega bo'lmaganlarini ham e'tiborga olgan holda a, i, t, r harflaridan 4 harfli nechta so'z tuzish mumkin?
3. 9 nafar kishining rais, rais o'rinososari, kotib va ish yurituvchi vazifalariga tayinlanish imkoniyatlarini toping
4. Turli 5 rangdagi bo'yoqlardan 3 xil rangli bo'yoq tanlash imkoniyatlari sonini aniqlang.
5. Musobaqada 10 jamaa ishtirok etayotgan bo'lsa, ulardan uchta-sining oltin, kumush va bronza medallarini olish imkoniyatlari sonini aniqlang.
6. Kutubxonada 6 tilning har biridan boshqalariga bevosita tarjima qilish uchun yetarli lug'atlar mavjud. Tillar soni 10 ta bo'lganda kutubxonaga yana qancha lug'at kerak?
7. Do'konda 10 xil qo'g'irchoq sotilayotgan bo'lsin. 8 dona turli qo'g'irchoqni sotib olish imkoniyatlari sonini aniqlang.
8. Barcha raqamlari turlicha bo'lgan 7 raqamli telefon nomerlari sonini toping.
9. Har bir yigit faqat bitta qizni o'yingga taklif qilish sharti bilan 4 nafar yigit 6 nafar qizlarni taklif etayotgan bo'lsa, bunday takliflar sonini toping.
10. Bir kishida 7ta, boshqa kishida esa 9ta kitob bor. Bu kishilar bir-birlari bilan ikkitadan kitob almashishmoqchi. Kitob almashishlar sonini aniqlang.
11. 28 dona domino donalarini 4 o'yinchiga teng taqsimlash imkoniyatlari sonini toping.
12. Temir yo'l vagoni kuplesida bir-biriga qarama-qarshi o'tirishga mo'ljallangan va har birida 5 tadan o'rinnari bo'lgan 2ta o'rindiq bor. 10 nafar yo'lovchidan 4 tasi poyezdning yurishi yo'nalishiga qarab, boshqa 3tasi teskari yo'nalishga qarab o'tirishni hohlaydi, qolgan 3tasi uchun esa qaysi yo'nalishga qarab o'tirishning farqi yo'q. Yo'lovchilarni o'rindiqlarga joylashtirishlar imkoniyatlari sonini aniqlang.
13. Beshta har xil bayroqchani istalgan son va tartibda ko'tarib hosil qilish mumkin bo'lgan turli signallari sonini aniqlang.
14. Qavariq o'nburchak diagonallari sonini aniqlang.

15. Tekislikda har uchtasi bir to'g'ri chiziqda yotmagan to'qqizta nuqta berilgan. Agar bu nuqtalarning har uchtasidan birgina aylana o'tkazish mumkin bo'lsa, berilgan nuqtalardan nechta aylana o'tkazish mumkinligini aniqlang.

16. Quyidagi ayniyatlarni isbot qiling:

$$a) C_m^k + C_{m-1}^{k-1} + C_{m-1}^{k-2} = C_{m+1}^k; \quad b) C_n^i C_i^m = C_n^m C_{n-m}^{i-m}; \quad d) A_{m+1}^{k+1} = (m+1)A_m^k;$$

$$e) \frac{P_n}{C_n^k P_k} = P_{n-k}; \quad f) A_{n+2}^k = A_n^k + 2kA_n^{k-1} + k(k-1)A_n^{k-2};$$

17. Quyidagi tenglamalarni hal qiling:

$$a) C_{25}^x = C_{25}^{x-3}; \quad b) A_x^3 + A_{x+1}^2 = \frac{3}{7} A_{x+2}^3; \quad d) 20C_{2x}^{x-1} = 77C_{2x-22}^x;$$

$$e) \frac{A_x^4 \cdot P_{x-4}}{P_{x-2}} = 42; \quad f) C_{x-1}^{x-4} - \frac{1}{8} P_5 = C_{x-2}^{x-5}; \quad g) 8C_{x+1}^5 = 3A_x^3.$$

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

- O'rinn almashtirishlar deganda nimani tushunasiz?
- O'rinn almashtirishlar sonini qanday hisoblash mumkin?
- O'rinnalashtirishlar nima?
- O'rinnalashtirishlar soni formulasini isbotlay olasizmi?
- O'rinn almashtirish va o'rinnalashtirish orasida qanday farq bor?
- Gruppalashlar tushunchasining mohiyatini bilasizmi?
- Gruppalashlar soni formulasini qanday hosil qilinadi?
- Gruppalashlar sonining qanday xossalari bilasiz?
- O'rinn almashtirishlar, o'rinnalashtirishlar va gruppalashlar sonlari orasida qanday munosabatlarni bilasiz?

### **2.3. Paskal uchburchagi. Nyuton binomi<sup>1</sup>**

*Gruppalash. Gruppalashlar soni. Paskal uchburchagi. Arifmetik uchburchak. Ikkita son yig'indisining natural darajasi. Butun sonning natural ko'rsatkichli ildizi. Qisqa ko'paytirish formulalari. Yig'indining bikvadrati. Matematik induksiya usuli. Nyuton binomi. Binomial koeffitsientlar. Koshi ayniyati.*

**2.3.1. Paskal uchburchagi haqida umumiy ma'lumotlar.** Berilgan  $n$  ta elementdan  $m$  tadan gruppalashlar soni  $C_n^m$  uchun bir necha qatorlarni 1-jadvaldagidek yozamiz:

<sup>1</sup> "Binom" so'zi ikkihad ma'nosini anglatadi.

$n$	Gruppalashlar soni $C_n^m$ ( $m = \overline{0, n}$ )
1	$C_1^0 = 1, C_1^1 = 1$
2	$C_2^0 = 1, C_2^1 = 2, C_2^2 = 1$
3	$C_3^0 = 1, C_3^1 = 3, C_3^2 = 3, C_3^3 = 1$
4	$C_4^0 = 1, C_4^1 = 4, C_4^2 = 6, C_4^3 = 4, C_4^4 = 1$
5	$C_5^0 = 1, C_5^1 = 5, C_5^2 = 10, C_5^3 = 10, C_5^4 = 5, C_5^5 = 1$
...	.....

Bu jadvalda gruppalashlar sonining quyidagi xossalarini kuzatish mumkin:

– har bir qatorning chetlarida birlar joylashgan (bu tasdiq  $C_n^0 = C_n^n = 1$  formula bilan ifodalanadi, ushbu bobning 2- paragrafiga qarang);

– har bir qatordagi  $C_n^m$  sonlar qatorning teng o'rtasiga nisbatan simmetrik joylashgan, ya'ni qatordagi boshidan va oxiridan baravar uzoqlikda turgan sonlar o'zaro teng ( $C_n^m = C_n^{n-m}$ );

– ikkinchi qatordan boshlab har bir qatordagi birlardan tashqari ixtiyoriy son bu qatordan yuqorida joylashgan qatordagi biri shu son ustida, ikkinchisi esa undan chapda joylashgan ikkita gruppalashlar sonining yig'indisiga teng ( $C_{n+1}^{m+1} = C_n^m + C_n^{m+1}$ );

– har bir qatordagi  $C_n^m$  sonlar shu qator teng o'rtasigacha o'sib, so'ng kamayadi (3.3 band, 5- xossaga qarang).

Ta'rif sifatida  $C_0^0 = 1$  deb qabul qilinsa va bu son yuqoridagi jadvalning  $n = 1$  raqamli qatoridan oldin  $n = 0$  raqamli qatori sifatida joylashtirilsa, uchburchak figurasiqa o'xshash 1- shakldagi sonlar jadvalini hosil qilish mumkin.

**1- ta'rif. 1-shakldagi sonlar jadvali Paskal uchburchagi deb ataladi.**

Bu jadval arifmetik uchburchak nomi bilan ham yuritiladi. Uning Paskal nomi bilan atalishiga qaramasdan, bunday sonlar jadvali juda qadimdan dunyoning turli mintaqalarida, jumladan, sharq mamlakatlarida ham ma'lum bo'lgan. Masalan,

1	
1 1	
1 2 1	
1 3 3 1	
1 4 6 4 1	
1 5 10 10 5 1	
1 6 15 20 15 6 1	
1 7 21 35 35 21 7 1	
.....	
1- shakl	

Erondagি Tus shahrida (hozirgi Mashhadda) yashab ijod qilgan Nosir at-Tusiy<sup>1</sup> XIII asrda bu jadvaldan foydalanib, berilgan ikkita son yig'indisining natural darajasini hisoblash usulini o'zining ilmiy ishlarida keltirgan bo'lsa, g'arbda Al-Kashi nomi bilan mashhur Samarcandlik olim Ali Qushchi<sup>2</sup> butun sonning istalgan natural ko'rsatkichli arifmetik ildizi qiymatini taqribiy hisoblashda bu jadvaldan foydalana bilganligi haqida ma'lumotlar bor. Keyinchalik G'arbiy Yevropada bu sonlar uchburchagi haqida M. Shtifel<sup>3</sup> arifmetika bo'yicha qo'llanmalarida yozgan va u ham butun sondan istalgan natural ko'rsatkichli arifmetik ildizning taqribiy qiymatini hisoblashda bu uchburchakdan foydalana bilgan. 1556- yilda bu sonlar jadvali bilan N. Tartalya<sup>4</sup>, keyinroq logarifmik lineyka ijodkor U. Otreд<sup>5</sup> (1631- yil) ham shug'ullanganlar. 1654- yilga kelib B. Paskal o'zining "Arifmetik uchburchak haqidagi traktat" nomli asarida bu sonlar jadvali haqidagi ma'lumotlarni e'lon qildi.

Paskal uchburchagidagi qatorlar istalgancha davom ettirilishi mumkin. Shunisi qiziqliki, Paskal uchburchagi yordamida istalgan  $n$  ta elementdan  $m$  tadan gruppashlar sonini faqat qo'shish amali yordamida hosil qilish mumkin (ushbu bobning 2- paragrafidagi  $C_n^m$  sonni hisoblash

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}, \quad C_n^m = \frac{n(n-1)\dots(m+1)}{1\cdot 2 \cdots (n-m)} \quad \text{va} \quad C_n^m = \frac{n(n-1)\dots(n-m+1)}{1\cdot 2 \cdots m}$$

formulalariga qarang). Bu amal  $C_n^m = C_{n-1}^{m-1} + C_{n-1}^m$  formulaga asoslanadi.

Paskal uchburchagi ko'plab ajoyib xossalarga ega. B. Paskal yuqorida zikr etilgan traktatda: "Bu xossalarning haqiqatdan ham bitmas-tuganmasligi naqadar ajoyibdir" deb yozgan edi. Ushbu paragrafning 3.3-bandida Paskal uchburchagini ba'zi xossalari keltirilgan.

**2.3.2. Nyuton binomi haqida umumiy ma'lumotlar.** O'rta maktab matematikasi kursidan quyidagi ikkita qisqa ko'paytirish formulalarini eslaylik:

<sup>1</sup> At-Tusiy, نوچیر نصیر طوسی, Nosir ad-Din-Muhammad ibn Muhammad ibn-al-Hasan, 1201-1274) – Eron astronomi va matematigi.

<sup>2</sup> Ali Qushchi (Jamshid ibn Ma'sud, tug'ilgan yili noma'lum-taxminan 1436 yoki 1437- yilda vafot etgan) – o'zbek matematigi va astronomi, 1420-30- yillarda Samarqandda Mirzo Ulug'bek observatoriyasida ishlagan.

<sup>3</sup> Shtifel Mixel (Michel, 1487-1567) – olmon matematigi.

<sup>4</sup> Tartalya Nikkolo (Tartalia Nic-colo, 1499 yil atrofida tug'ilgan-1557) – italyan matematigi va mexanigi.

<sup>5</sup> Otreд Uilyam (Outred William, 1574-1660) – ingliz matematigi.

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2 - \text{yig'indining kvadrati};$$

$$(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3 - \text{yig'indining kubi}.$$

Yig'indining navbatdagi ikkita, ya'ni 4- va 5- darajalarini hisoblaymiz:

$$\begin{aligned}(a+b)^4 &= (a+b)(a+b)^3 = (a+b)(a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3) = \\ &= a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4,\end{aligned}$$

$$(a+b)^5 = (a+b)(a+b)^4 =$$

$$= a^5 + 5a^4b + 10a^3b^2 + 10a^2b^3 + 5ab^4 + b^5.$$

Shunday qilib, yig'indining bikvadrati (ya'ni to'rtinch darajasi)

$$(a+b)^4 = a^4 + 4a^3b + 6a^2b^2 + 4ab^3 + b^4$$

va yig'indining beshinchchi darajasi

$$(a+b)^5 = a^5 + 5a^4b + 10a^3b^2 + 10a^2b^3 + 5ab^4 + b^5$$

formulalariga ega bo'lamiz.

Yuqorida keltirilgan yig'indining kvadrati, kubi, bikvadrati va beshinchchi darajasi formulalari o'ng tomonlaridagi ko'phad koeffitsiyentlari Paskal uchburchagining mos qatorlaridagi  $C_n^n$  ( $n=2,3,4,5$ ) sonlar ekanligini payqash qiyin emas.

**1- teorema.** *Barcha haqiqiy a va b hamda natural n sonlar uchun  $(a+b)^n = a^n + C_n^1 a^{n-1}b + C_n^2 a^{n-2}b^2 + \dots + C_n^{n-1} ab^{n-1} + b^n$  formula o'rinnlidir.*

**Isboti.** Matematik induksiya usulini qo'llaymiz.

Baza:  $n=1$  bo'lganda formula to'g'ri:  $(a+b)^1 = a+b$ .

Induksion o'tish: isbotlanishi kerak bo'lgan formula  $n=k$  uchun to'g'ri bo'lsin, ya'ni

$$(a+b)^k = a^k + C_k^1 a^{k-1}b + C_k^2 a^{k-2}b^2 + \dots + C_k^{k-1} ab^{k-1} + b^k.$$

Formula  $n=k+1$  bo'lganda ham to'g'ri ekanligini isbotlaymiz. Haqiqatdan ham,  $C_{n+1}^{n+1} = C_n^m + C_n^{m+1}$  formuladan foydalanib, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned}(a+b)^{k+1} &= (a+b)(a+b)^k = \\ &= (a+b)(a^k + C_k^1 a^{k-1}b + C_k^2 a^{k-2}b^2 + \dots + C_k^{k-1} ab^{k-1} + b^k) = \\ &= a^{k+1} + C_k^1 a^k b + C_k^2 a^{k-1} b^2 + \dots + C_k^k a b^k +\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + C_k^0 a^k b + C_k^1 a^{k-1} b^2 + \dots + C_k^{k-1} a b^k + b^{k+1} = \\
& = a^{k+1} + (C_k^0 + C_k^1) a^k b + (C_k^1 + C_k^2) a^{k-1} b^2 + \dots \\
& \quad \dots + (C_k^{k-1} + C_k^k) a b^k + b^{k+1} = \\
& = a^{k+1} + C_{k+1}^1 a^k b + C_{k+1}^2 a^{k-1} b^2 + \dots + C_{k+1}^k a b^k + b^{k+1}.
\end{aligned}$$

Ixtiyoriy  $a$  va  $b$  haqiqiy sonlar hamda  $n$  natural son uchun  $(a+b)^n$  ifodaning ko'phad shaklidagi yoyilmasi (tasvirlanishi) Nyuton<sup>1</sup> binomi deb ataladi. Umuman olganda, "Nyuton binomi" iborasiga tanqidiy nuqtai nazardan yandoshilsa, undagi ikkala so'zga nisbatan ham shubha tug'iladi: birinchidan,  $(a+b)^n$  ifoda birdan katta natural  $n$  sonlar uchun binom (ya'ni ikkihad) emas; ikkinchidan, natural sonlar uchun bu ifodaning yoyilmasi Nyutongacha ma'lum edi<sup>2</sup>.

Greklar  $(a+b)^n$  ifodaning qatorga yoyilmasini  $n$  ning faqat  $n=2$  bo'lgan holida (ya'ni, yig'indi kvadratining formulasini) bilar edilar. Umar Xayyom<sup>3</sup> va Ali Qushchi  $(a+b)^n$  ifodani  $n > 2$  bo'lgan natural sonlar uchun ham qatorga yoya bilganlar. Nyuton esa 1767- yilda yoyilma formulasini isbotsiz manfiy va kasr  $n$  sonlar uchun ham qo'llagan. L. Eyler 1774- yilda Nyuton binomi formulasini kasr  $n$  sonlar uchun isbotladi, K. Makloren<sup>4</sup> esa bu formulani darajaning ratsional ko'rsatkichlari uchun qo'lladi. Nihoyat, 1825- yilda N. Abel<sup>5</sup> daraja ko'rsatkichining istalgan kompleks qiymatlari uchun binom haqidagi teoremani isbotladi.

$C_n^m$  sonlarni binomial koeffitsiyentlar deb ham atashadi. Bunday ta'rif bu koeffitsiyentlarning Nyuton binomi formulasida tutgan o'miga qarab berilgan bo'lib,  $C_n^m$  son  $(a+b)^n = \sum_{m=0}^n C_n^m a^{n-m} b^m$  yoyilmadagi  $a^{n-m} b^m$  ifodaning koeffitsiyentidir.

<sup>1</sup> Isaak Nyuton (Newton, 1643-1727) –ingliz fizigi, mexanigi va matematigi.

<sup>2</sup> Ushbu paragrafning 3.1 bandidagi xronologik ma'lumotlarga qarang.

<sup>3</sup> Umar Xayyom G'iyyosiddin Abul-Fatx ibn Ibrohim (عمر خیام) – 1048 yil atrofida tug'ilgan – 1122 yildan so'ng vafot etgan) – fors va tojik shoiri, matematigi va faylasufi.

<sup>4</sup> Makloren Kolin (Maclaurin Colin, 1698-1746) – Shotlandiya matematigi.

<sup>5</sup> Abel Nils Xenrik (Niels Henric, 1802-1829) – Norvegiya matematigi.

**2-teorema.** *Barcha haqiqiy a va b hamda natural n sonlar uchun  $(a - b)^n = \sum_{m=0}^n (-1)^m C_n^m a^{n-m} b^m$  formula o'rinilidir.*

**I sboti.** Nyuton binomi formulasida  $b$  ni  $(-b)$ ga almashtirsak kerakli formulani hosil qilamiz. ■

**1-misol.** Oxirgi formuladan xususiy holda quyidagi qisqa ko'paytirish formulalari kelib chiqadi:

$n = 2$  bo'lganda ayirmaning kvadrati formulasi

$$(a - b)^2 = a^2 - 2ab + b^2;$$

$n = 3$  bo'lganda ayirmaning kubi formulasi

$$(a - b)^3 = a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3. ■$$

Nyuton binomi formulasini kombinatorik amallar yordamida ham hosil qilish mumkin.

Haqiqatdan ham, ixtiyoriy  $a, b_1, b_2, \dots, b_n$  sonlar uchun  $(a + b_1)(a + b_2) \dots (a + b_n)$  ifodani

$$\begin{aligned}(a + b_1)(a + b_2) \dots (a + b_n) &= a^n + a^{n-1}(b_1 + b_2 + \dots + b_n) + \\ &+ a^{n-2}(b_1 b_2 + b_1 b_3 + \dots + b_{n-1} b_n) + \\ &+ a^{n-3}(b_1 b_2 b_3 + \dots + b_{n-2} b_{n-1} b_n) + \dots + b_1 b_2 \dots b_n\end{aligned}$$

ko'rinishda yozish mumkin. Bu tenglikning o'ng tomonida joylashgan  $a^n$  oldidagi koeffitsiyent birga ( $1 = C_n^0$ ) teng. Birinchi qavslar ichidagi qo'shiluvchilar soni  $n$  ga ( $n = C_n^1$ ) tengligi yaqqol ko'rinib turibdi. Ikkinci qavslar ichidagi qo'shiluvchilar  $b_1, b_2, \dots, b_n$  ( $n$  ta) elementlardan ikkitadan ko'paytmalar (soni  $C_n^2$  ga teng gruppashlar) ekanligini ham payqash qiyin emas. Uchinchi qavslar ichidagi qo'shiluvchilar esa o'sha  $n$  ta elementlardan uchtadan ko'paytmalar bo'lib, ularning soni  $C_n^3$  ga teng va hokazo. Oxirgi qo'shiluvchi oldidagi koeffitsiyent birga ( $1 = C_n^n$ ) teng. Yuqoridagi tenglikda  $b_1 = b_2 = \dots = b_n = b$  deb olsak, Nyuton binomi formulasini hosil qilamiz.

**2.3.3. Binomial koeffitsiyentlarning xossalari.** Binomial koeffitsiyentlarning ba'zi xossalarni keltiramiz. Bu xossalalar bevosita gruppashlarga oid bo'lib, tabiiyki, ular Paskal uchburchagini xossalarni ham ifodalaydi.

**1- x o s s a .**  $\frac{C_n^{m+1}}{C_n^m} = \frac{n-m}{m+1}$  ( $m = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ) tenglik o'rinnlidir.

Haqiqatdan ham,

$$\begin{aligned}\frac{C_n^{m+1}}{C_n^m} &= \frac{\frac{n!}{(m+1)!(n-m-1)!}}{\frac{n!}{m!(n-m)!}} = \frac{m!(n-m)!}{(m+1)!(n-m-1)!} = \\ &= \frac{m!(n-m-1)!(n-m)}{m!(m+1)(n-m-1)!} = \frac{n-m}{m+1}.\end{aligned}$$

Bu xossa binomial koeffitsiyentlar qatoridagi istalgan ketma-ket ikki elementning biri ma'lum bo'lsa, boshqasini osonlik bilan hisoblash mumkinligini ko'rsatadi:

$$C_n^{m+1} = \frac{n-m}{m+1} C_n^m, \quad C_n^m = \frac{m+1}{n-m} C_n^{m+1},$$

bu yerda  $m = 0, 1, 2, \dots, n-1$ .

**2- x o s s a .** Lxtiyoriy natural  $n$  son uchun barcha  $C_n^m$  ( $m = \overline{0, n}$ ) binomial koeffitsiyentlar yig'indisi  $2^n$  ga teng, ya'ni

$$C_n^0 + C_n^1 + C_n^2 + \dots + C_n^{n-1} + C_n^n = 2^n.$$

Bu tenglik Nyuton binomi formulasida  $a = b = 1$  deb olganda hosil bo'ladi. ■

**3- x o s s a .** Toq o'rinnlarda turgan binomial koeffitsiyentlar yig'indisi juft o'rinnlarda turgan binomial koeffitsiyentlar yig'indisiga teng.

Haqiqatdan ham, Nyuton binomi formulasida  $a = 1$  va  $b = -1$  deb olganda

$$0 = C_n^0 - C_n^1 + C_n^2 - C_n^3 + \dots + (-1)^n C_n^n$$

tenglikni hosil qilamiz. Bu tenglikdan xossadagi tasdiqning to'g'riligi kelib chiqadi. ■

2- va 3- xossalr asosida quyidagi xossani hosil qilamiz.

**4- x o s s a .**  $n$  natural sondan oshmaydigan eng katta toq  $m$  son uchun  $C_n^1 + C_n^3 + \dots + C_n^m = 2^{n-1}$  tenglik hamda  $n$  sondan oshmaydigan eng katta juft  $m$  son uchun  $C_n^0 + C_n^2 + \dots + C_n^m = 2^{n-1}$  tenglik o'rinnlidir.

**5- xossa.** Toq  $n$  son uchun  $C_n^0 < C_n^1 < \dots < C_n^{\frac{n-1}{2}} = C_n^{\frac{n-1}{2}+1}$ ,  $C_n^{\frac{n-1}{2}+1} > C_n^{\frac{n-1}{2}+2} > \dots > C_n^n$ , juft  $n$  son uchun esa  $C_n^0 < C_n^1 < \dots < C_n^{\frac{n}{2}}$ ,  $C_n^{\frac{n}{2}} > C_n^{\frac{n}{2}+1} > \dots > C_n^n$ , munosabatlar o'rinnlidir.

Haqiqatdan ham,  $m < \frac{n-1}{2}$  shartni qanoatlantiruvchi ixtiyoriy natural  $n$  va  $m$  sonlar uchun  $\frac{n-m}{m+1} > 1$  tengsizlik o'rinnlidir,  $m > \frac{n-1}{2}$  bo'lganda esa  $\frac{n-m}{m+1} < 1$  tengsizlikka ega bo'lamiz. Bu yerda  $C_n^{m+1} = \frac{n-m}{m+1} C_n^m$  formulani (1- xossaga qarang) qo'llab, xossadagi barcha tengsizliklarni hosil qilamiz.

Agar  $n$  toq son bo'lsa,  $m = \frac{n-1}{2}$  butun son bo'lib,  $\frac{n-m}{m+1} = \frac{n - \frac{n-1}{2}}{\frac{n-1}{2} + 1} = \frac{2n-n+1}{n-1+2} = \frac{n+1}{n+1} = 1$  munosabat o'rinnlidir. Demak,  $C_n^{m+1} = \frac{n-m}{m+1} C_n^m$  formuladan  $m = \frac{n-1}{2}$  bo'lganda  $C_n^{\frac{n-1}{2}+1} = C_n^{\frac{n-1}{2}}$  tenglik kelib chiqadi. ■

Binomial koefitsiyentlarning 5- xossasi Paskal uchburchagining yuqorida keltirilgan xossalari tasdig'i bo'lib, unga ko'ra binomial koefitsientlar oldin  $C_n^0 = 1$  dan  $C_n^{\left[\frac{n}{2}\right]}$  gacha<sup>1</sup> o'sadi, keyin esa  $C_n^n = 1$  gacha kamayadi hamda  $n$  toq bo'lganda binomial koefitsiyentlar qatorining o'rtasidagi ikkita hadi tengdir va  $n$  juft bo'lganda uning o'rtadasigi hadi eng katta va yagonadir.

Quyidagi 6–8- xossalalar o'rinnlidir.

**6- xossa.**  $C_n^n + C_{n+1}^n + \dots + C_{n+k}^n = C_{n+k+1}^{n+1}$ .

**7- xossa.**  $(C_n^0)^2 + (C_n^1)^2 + \dots + (C_n^n)^2 = C_{2n}^n$ .

<sup>1</sup> [a] yozuv **a** sonning butun qismini anglatadi.

$$8-\text{xossas. } C_n^0 C_m^k + C_n^1 C_m^{k-1} + \dots + C_n^k C_m^0 = C_{n+m}^k.$$

Oxirgi tenglik Koshi<sup>1</sup> ayniyati deb aytildi.

Endi bu uchta xossani isbotlaymiz. Dastlab 6- xossanining isbotini keltiramiz. Birinchidan,  $s = (1+x)^n + (1+x)^{n+1} + \dots + (1+x)^{n+k}$  ko'phad uchun Nyuton binomi formulasini qo'llab, quyidagi tenglikni hosil qilamiz:  $s = \sum_{m=0}^n C_n^m x^m + \sum_{m=0}^{n+1} C_{n+1}^m x^m + \dots + \sum_{m=0}^{n+k} C_{n+k}^m x^m$ . Bu yerdan,  $s$  ko'phaddagi  $x^n$  ifodanining koeffitsiyenti  $C_n^n + C_{n+1}^n + \dots + C_{n+k}^n$  yig'indiga tengligini aniqlash mumkin.

Ikkinchidan,  $s = (1+x)^n (1+(1+x) + \dots + (1+x)^k)$  ifodani geometrik progressiya hadlari yig'indisi formulasiga binoan quyidagicha ham yozish mumkin:  $s = (1+x)^n \frac{(1+x)^{k+1} - 1}{1+x-1} = \frac{1}{x} ((1+x)^{n+k+1} - (1+x)^n)$ . Bu yerda ham Nyuton binomi formulasini qo'llab, hosil bo'lgan ko'phadning  $x^n$  daraja qatnashgan hadi koeffitsiyenti  $C_{n+k+1}^{n+1}$  ekanligini ko'rish mumkin. Keltirilgan bu mulohazalar asosida 6- xossadagi tenglikka ega bo'lamiz. ■

Ravshanki,  $C_n^m = C_n^{n-m}$  formula e'tiborga olinsa, 7- xossa 8- xossadan  $m = k = n$  bo'lganda xususiy hol sifatida kelib chiqadi. Shuning uchun faqat 8- xossanining isbotini keltirish bilan chegaralanamiz.

Birinchidan, Nyuton binomi formulasiga ko'ra

$$(1+x)^n = \sum_{s=0}^n C_n^s x^s, \quad (1+x)^m = \sum_{t=0}^m C_m^t x^t, \quad (1+x)^{n+m} = \sum_{p=0}^{n+m} C_{n+m}^p x^p$$

tengliklarga, bulardan esa  $(1+x)^n (1+x)^m = (1+x)^{n+m}$  bo'lgani uchun

$$\sum_{s=0}^n C_n^s x^s \sum_{t=0}^m C_m^t x^t = \sum_{p=0}^{n+m} C_{n+m}^p x^p$$

tenglikka ega bo'lamiz. Oxirgi tenglikning ikkala tomonidagi  $x^k$  ( $k = 0, 1, \dots, \min(m, n)$ ) daraja koeffitsiyentlarini bir-biriga tenglashtirsak, isbotlanishi kerak bo'lgan formulani hosil qilamiz. ■

<sup>1</sup> Koshi (Cauchy Ogyusten Lui, 1789-1857) –fransuz matematigi.

Albatta, yuqoridagi uchta xossa boshqa usullar bilan ham isbotlanishi mumkin. Quyida 8- xossaning kombinatorik tahlilga asoslangan isboti keltirilgan.

**2- misol.** Koshi ayniyatini kombinatorik tahlilga asoslangan holda isbotlaymiz.  $n$  nafar o'g'il va  $m$  nafar qiz bolalardan tashkil topgan talabalar guruhidan  $k$  ( $k = 0, 1, \dots, \min(n, m)$ ) nafar talaba tanlash zarur bo'lsin.  $n+m$  nafar talabalardan  $k$  nafar talabani  $C_{n+m}^k$  xil usul bilan tanlash mumkinligi ravshan.

Boshqa tomondan olib qaraganda,  $n+m$  nafar talabalardan iborat to'plamdan tanlanadigan barcha  $k$  elementli qism to'plamlarni ularning tarkibidagi o'g'il bolalar soniga qarab sinflarga ajratishning quyidagicha imkoniyati bor. Tarkibida  $s$  ( $0 \leq s \leq k$ ) nafar o'g'il bola bo'lgan  $k$  elementli qism to'plamni oldin  $C_n^s$  xil usul bilan tanlab, keyin ( $k-s$ ) nafar qiz bolalarni  $C_m^{k-s}$  xil usullardan birortasi yordamida tanlash mumkin. Demak, tarkibida  $s$  nafar o'g'il bola bo'lgan  $k$  nafar talabandan iborat qism to'plamlar soni, ko'paytirish qoidasiga asosan,  $C_n^s C_m^{k-s}$  songa tengdir. Noldan  $k$  gacha bo'lgan barcha butun  $s$  sonlar uchun barcha kombinatsiyalarni hosil qilib va bu kombinatsiyalarga mos ko'paytmalarni yig'ib, Koshi ayniyatining chap tomonini hosil qilamiz. ■

Binomial koeffitsientlarning yuqorida keltirilgan xossalarini tahlil qilish natijasida ularning turli sohalardagi tadbiqlari doirasining kengligini payqash mumkin. Misol sifatida to'plamlar nazariyasiga tatbiqini qaraymiz.

**3- misol.** Chekli  $A$  to'plam  $2^A$  buleanining elementlari va bu elementlar soni bilan binomial koeffitsientlarning uzviy bog'lanishi bor. Bu bog'lanish quyidagicha ifodalanishi mumkin. Chekli  $A$  to'plam  $2^A$  buleani tarkibidagi elementlar  $A$  to'plamning qism to'plamlaridan iborat bo'lGANI uchun, shu qism to'plamlarni quvvatlari bo'yicha ( $|A|+1$ )ta guruhlarga ajratish mumkin. Tushunarlik, bu yerda  $k$  raqamli guruhgaga ( $k = 0, |A|$ ) quvvati  $k$  ga teng bo'lgan barcha qism to'plamlardan tashkil topadi va undagi qism to'plamlar soni  $C_n^k$  ga teng. Bu mulohazani hisobga olgan holda 2- xossa yordamida ushbu bobning 1- paragrafidagi 1-teoremaning boshqa bir isbotiga ega bo'lamiz. ■

Binomial koeffitsiyentlarning yana bir xossasi ushbu bobning 7-paragrafida isbotlanadi.

## *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Binomial koeffitsiyentlarning xossalardan foydalanib quyidagi formulalarni isbotlang:

a)  $1^2 + 2^2 + \dots + m^2 = \frac{m(m+1)(2m+1)}{6}$ , b)  $1^3 + 2^3 + \dots + m^3 = \frac{m^2(m+1)^2}{4}$ .

2.  $n$  dona bir xil sharlar orasidan toq sondagi,  $n \geq 2$  bo‘lganda esa juft sondagi sharlarni tanlash imkoniyatlari sonlarini aniqlang.

3. Binomial koeffitsiyentlarning quyidagi xossalarni isbotlang:

a)  $\sum_{r=k}^n C_r^k = C_{n+1}^{k+1}$ , b)  $\sum_{k=1}^n kC_n^k = n2^{n-1}$ , d)  $\sum_{k=1}^n k(-1)^k C_n^k = 0$ ,

e)  $n! = n^n - C_n^1(n-1)^n + C_n^2(n-2)^n - C_n^3(n-3)^n + \dots + (-1)^{n-2} C_n^{n-2} 2^n + (-1)^{n-1} C_n^{n-1}$  ( $n \in N$ ),

f)  $n^m = C_n^1(n-1)^m - C_n^2(n-2)^m + \dots + (-1)^{n-3} C_n^{n-2} 2^m + (-1)^{n-2} C_n^{n-1}$ ,  $m < n$ , ( $m, n \in N$ ).

4. Quyidagi yig‘indilarni hisoblang:

a)  $C_n^0 + 2C_n^1 + 3C_n^2 + \dots + (n+1)C_n^n$ ,

b)  $C_n^2 + 2C_n^3 + 3C_n^4 + \dots + (n-1)C_n^n$ ,

d)  $C_n^0 + 3C_n^1 + 5C_n^2 + \dots + (2n+1)C_n^n$ .

5. Binomial koeffitsiyentlarning yuqorida keltirilgan xossalardan farqli birorta xossasini topishga harakat qiling.

6. Ixtiyoriy chekli  $A$  to‘plamning juft quvvatli qism to‘plamlari to‘plamining quvvati shu  $A$  to‘plamning toq quvvatli qism to‘plamlari to‘plamining quvvatiga tengligini isbotlang.

7. Quvvati 100ga teng bo‘lgan to‘plamning 40 elementli qism to‘plamlari soni bilan shu to‘plamning 60 elementli qism to‘plamlari sonini solishtiring.

8. Figurali sonlarning Paskal uchburchagidagi o‘rnini aniqlang.

9. Paskal uchburchagi yordamida ixtiyoriy  $k$ -tartibli figurali sonlarning dastlanki  $n$  tasi yig‘indisini hisoblash formulasini toping va bu formulani matematik induksiya usuli yordamida isbot qiling.

10. Paskal uchburchagidan foydalanib  $11^n$  ( $n \in N$ ) ifodaning qiymatini hisoblash formulasini keltirib chiqaring va bu formulani isbot qiling.

11. Paskal uchburchagining ixtiyoriy  $n$ -satridan yuqorida joylashgan elementlari yig'indisini hisoblash formulasini ifodalang va bu formulani isbot qiling.

12. Paskal uchburchagining bir necha o'n qatorini yozib, undagi ikkiga, uchga, beshga qoldiqsiz bo'linadiganlarini ajrating.

13. Paskal uchburchagining 256- qatorida qancha toq son borligini aniqlang.

14. Paskal uchburchagidan foydalanim  $\sin nx$  va  $\cos nx$  ifodalarni  $\sin x$  va  $\cos x$  orqali ifodalash formulalarini keltirib chiqaring.

15. Paskal uchburchagini sinchkovlik bilan tekshirib, undagi sonlarning dastlabki bir necha tub sonlarga (masalan, 2, 3, 5, 7, 11) bo'linadiganlarining o'rinalarini aniqlang.

16. Paskal uchburchagidagi juft va toq sonlarning joylashuvini tekshiring.

17. Paskal uchburchagining kitobda bayon qilinmagan xossalari topishga urinib ko'ring.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Paskal uchburchagi deganda nimani tushunasiz?

2. Paskal uchburchagining qanday xossalari bilasiz?

3. B. Paskalgacha Paskal uchburchagidan foydalangan sharq va g'arb olimlaridan kimlarni bilasiz?

4. Nyuton binomi formulasini qanday qo'llash mumkin?

5. Nyuton binomi formulasini Isaak Nyutondan oldin kimlar qo'llagan?

6. Nima uchun binomial koeffitsiyentlarning xossalari Paskal uchburchagining xossalari ham hisoblanadi?

7. Nyuton binomi formulasini kombinatorik tahlil yordamida isbot qilganda qanday tushunchalar qo'llaniladi?

8. Koshi ayniyatining kombinatorik tushunchalarga asoslangan isbotini bilasizmi?

9. Nima uchun gruppashalar sonlarini binomial koeffitsiyentlar deb ham atashadi?

10. Nima uchun 7- xossa 8- xossaning xususiy holi bo'ladi?

11. Binomial koeffitsiyentlarning ushbu kitobda bayon etilmagan yana qanday xossalari bilasiz?

## 2.4. Takrorli kombinatsiyalar

*Kombinatsiya. Takrorlanish. Birlashmalar. Takrorli o'rin almashtirish, o'rinalashtirish va gruppalashlar. Ko'phad formulasi. Ko'phadiy koefitsiyentlar. Umumlashgan Nyuton binomi.*

**2.4.1. Takrorli o'rin almashtirishlar.** Kombinatorikada oldin qaralgan birlashmalardan tashqari tarkibidagi elementlari takrorlanishi mumkin bo'lgan boshqa birlashmalar ham o'rganiladi. Masalan, takrorlanuvchi elementlar qatnashgan o'rin almashtirishlar, o'rinalashtirishlar va gruppalashlar.

Avval o'rganilgan o'rin almashtirishlar shunday tuzilmalar ediki, ular tarkibidagi elementlar bir-biridan farq qilardi. Endi o'rin almashtirishlar tarkibidagi elementlar takrorlanishi mumkin bo'lgan holni qaraymiz. Tabiiyki, aynan bir xil elementlar o'rirlari almashtirilishi natijasida yangi o'rin almashtirish hosil bo'lmaydi. Shuning uchun tarkibidagi elementlari soni o'zgarmaganda elementlari takrorlanishi mumkin bo'lgan o'rin almashtirishlar soni turli elementlardan tashkil topgan o'rin almashtirishlar soniga qaraganda kichik bo'ladi.

Faraz qilaylik, qandaydir kortejning  $n$  ta elementlari orasida bir xil (aynan bir xil)  $n_1$  ta birinchi tur, bir xil  $n_2$  ta ikkinchi tur va hokazo, bir xil  $n_k$  ta  $k$ - tur elementlar bo'lsin, bu yerda  $n_1, n_2, \dots, n_k$  – hech bo'limganda bittasi 1dan farqli natural sonlar.

**1- ta'sif.** Bu  $n$  ta elementlarning o'rinalarini imkoniyati boricha almashtirishlar natijasida hosil bo'lgan kortejlar (kombinatsiyalar) takrorlanuvchi elementlar qatnashgan o'rin almashtirishlar (qisqacha, takrorli o'rin almashtirishlar) deb ataladi.

$n$  ta elementlari orasida  $n_1$  ta birinchi tur,  $n_2$  ta ikkinchi tur va hokazo,  $n_k$  ta  $k$ - tur bir xil elementlar bo'lgan takrorli o'rin almashtirishlar sonini  $C_n(n_1, n_2, \dots, n_k)$  bilan belgilaymiz.

**1- teorema.** Takrorli o'rin almashtirishlar soni uchun

$$C_n(n_1, n_2, \dots, n_k) = \frac{n!}{n_1! n_2! \dots n_k!}$$

formula o'rindir, bu yerda  $n_1 + n_2 + \dots + n_k = n$  – elementlar soni,  $k$  – turlar soni.

**I s b o t i.** Har bir o'rin almashtirishdagi elementlar soni  $n_1 + n_2 + \dots + n_k = n$  ga teng. Bu  $n$  ta elementlarni quyidagi tartibda joylashtirib,

o'rin almashtirishlardan birini qaraymiz: birinchi bo'lib barcha  $n_1$  ta birinchi tur, ulardan keyin barcha  $n_2$  ta ikkinchi tur va hokazo, oxirda barcha  $n_k$  ta  $k$ - tur elementlar joylashgan bo'lsin. Qaralayotgan takrorli o'rin almashtirishda birinchi tur elementlar soni  $n_1$  ga teng bo'lgani uchun ularning mumkin bo'lgan hamma o'rin almashtirishlari soni  $n_1!$  ga teng. Ammo bu elementlar bir-biridan farq qilmaganligi sababli ularning o'rinalarini almashtirish natijasida yangi takrorli o'rin almashtirish hosil bo'lmaydi.

Qaralayotgan takrorli o'rin almashtirishda ikkinchi tur elementlarning o'rinalarini almashtirishlar soni  $n_2!$  bo'lib, bu yerda ham bir-biridan farq qilmagan elementlar o'rinalarini almashtirishlar jarayonida yangi takrorli o'rin almashtirish hosil qilinmaydi. Ikkinci tur elementlarning o'rinalarini almashtirishlar birinchi tur elementlarning o'rin almashtirishlariga bog'liqsiz ravishda amalga oshirilishi mumkinligini ta'kidlaymiz.

Uchinchi tur elementlarning o'rinalarini almashtirishlar soni  $n_3!$  bo'lib, ularning ham hech qaysi biri yangi takrorli o'rin almashtirish hosil qilmaydi. Bu o'rin almashtirishlar  $n_1!$  ta birinchi tur elementlarning o'rinalarini almashtirishlarga va  $n_2!$  ta ikkinchi tur elementlarning o'rinalarini almashtirishlarga, jami, ko'paytirish qoidasiga asosan,  $n_1!n_2!$  ta o'rin almashtirishlarga bog'liqsiz ravishda amalga oshirilishi mumkin.

Shunday davom etib, qaralayotgan takrorli o'rin almashtirishda oxirgi  $k$ - tur elementlar o'rinalarini almashtiramiz. Bunday o'rin almashtirishlar soni  $n_k!$  ga teng bo'lib, bu o'rin almashtirishlar ham yangi takrorli o'rin almashtirishni hosil qilmaydi. Bu o'rin almashtirishlarni birinchi tur, ikkinchi tur va hokazo ( $k - 1$ )- tur elementlarning jami soni, umumlashgan ko'paytirish qoidasiga asosan,  $n_1!n_2!...n_{k-1}!$  bo'lgan o'rin almashtirishlariga bog'liqsiz ravishda bajarish mumkin.

Shunday qilib,  $n!$  ta o'rin almashtirishlarni har birida  $n_1!n_2!...n_k!$  tadan bir xil o'rin almashtirishlar bo'lgan qismnlarga ajratildi deb hisoblash mumkin. Demak, biz izlagan takrorli o'rin almashtirishlar soni

$$C_n(n_1, n_2, \dots, n_k) = \frac{n!}{n_1!n_2!...n_k!} \text{ bo'ladi, bu yerda } n_1 + n_2 + \dots + n_k = n, \blacksquare$$

**1- misol.** Ikkita  $a$ , bitta  $b$  va ikkita  $c$  harflardan tashkil topgan kortej uchun barcha takrorli o'rin almashtirishlarni tuzing.

Bu misolda uch turdag'i ( $k = 3$ ) harflar soni beshga teng ( $n=5$ ) bo'lib,  $n_1 = 2$  (ikkita  $a$ ),  $n_2 = 1$  (bitta  $b$ ) va  $n_3 = 2$  (ikkita  $c$ ). Dastlabki ikkita harfning (xuddi shuningdek, oxirgi ikkita harfning ham) o'rinalarini o'zaro

almashtirsak yangi o'rin almashtirishlar hosil bo'lmaydi. Barcha takrorli o'rin almashtirishlar soni  $C_5(2,1,2) = \frac{5!}{2! \cdot 1! \cdot 2!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5}{1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2} = 30$  bo'ladi.

Bu o'ttizta o'rin almashtirishlarning hammasi quyida keltirilgan:

*aabcc, aacbc, aaccb, abacc, abcac, abcca,  
acabc, acacb, acbac, acbca, accab, accba,  
baacc, bacac, bacca, bcaac, bcaca, bccaa,  
caabc, caacb, cabac, cabca, cacab, cacba,  
cbaac, cbaca, cbcaa, ccaab, ccaba, ccbaa.* ■

**2.4.2. Takrorli o'rinlashtirishlar.**  $n$  ta elementdan tashkil topgan to'plam berilgan bo'lsin. Bu elementlardan foydalanib,  $m$  ta elementdan tashkil topgan kortejlarni shunday tuzamizki, bu kortejlarga har bir element hohlagancha marta (albatta  $m$  dan oshmagan miqdorda) kirishi mumkin bo'lsin va bu kortejlar bir-biridan ularni tashkil etuvchi elementlar turlari bilan yoki bu elementlarning joylashishlari bilan farq qilsin.

**2- ta'rif.** Shunday usul bilan tuzilgan kortejlarning har biri  $n$  ta turli elementlardan takrorlanuvchi elementilar qatnashgan  $m$  tadan o'rinlashtirish (qisqacha, takrorli o'rinlashtirish) deb ataladi.

$n$  ta turli elementlardan  $m$  tadan takrorli o'rinlashtirishlar sonini  $\overline{A}_n^m$  bilan belgilaymiz.

**2- teorema.**  $n$  ta turli elementlardan  $m$  tadan takrorli o'rinlashtirishlar soni  $n^m$  ga teng, ya'ni  $\overline{A}_n^m = n^m$ .

**Ishoti.** Berilgan  $n$  uchun takrorli o'rinlashtirishdagi elementlar soni  $m$  bo'yicha matematik induksiya usulini qo'llaymiz. Baza: takrorli o'rinlashtirishlar  $m=1$  bo'lganda bitta elementdan tuzilishi ravshan. Tabiiyki, bunda hech qanaqa takrorlanish haqida gap bo'lishi mumkin emas. Bu holda elementlar soni  $n$  bo'lgani uchun takrorli o'rinlashtirishlar soni ham  $n$  ga teng:  $\overline{A}_n^1 = n = n^1$ .

Induksion o'tishi: teoremaning tasdig'i  $m=k$  bo'lganda to'g'ri, ya'ni  $\overline{A}_n^k = n^k$  bo'lsin. Bu tasdiq  $m=k+1$  bo'lganda ham to'g'ri bo'lishini isbotlaymiz. Buning uchun  $n$  ta turli elementlardan  $k$  tadan takrorli o'rinlashtirishning istalgan birini olib, unga  $n$  elementli to'plamning ixtiyoriy bitta elementini  $(k+1)$ - element sifatida kiritamiz. Natijada

qandaydir ( $k+1$ ) tadan takrorli o'rinalashtirishni hosil qilamiz. Tabiiyki, qaralayotgan  $k$  tadan o'rinalashtirishlarning har biridan yangi  $n$  ta ( $k+1$ ) tadan takrorli o'rinalashtirishlar hosil qilish mumkin. Shunday usul bilan ishni davom ettirsak, barcha mumkin bo'lgan ( $k+1$ ) tadan takrorli o'rinalashtirishlarni hosil qilamiz, bu yerda birorta ham ( $k+1$ ) tadan takrorli o'rinalashtirishlar qolib ketmaydi va ilgari ko'rildan hech qaysi ( $k+1$ ) tadan takrorli o'rinalashtirish qaytadan paydo bo'lmaydi. Ko'paytirish qoidasiga asosan  $n$  ta turli elementlardan ( $k+1$ ) tadan takrorli o'rinalashtirishlar soni  $\overline{A}_{k+1} = n \overline{A}_k = nn^k = n^{k+1}$ . ■

**2- misol.** Oila a'zolari besh kishidan iborat bo'lib, ular ikkita ishni bajarishlari zarur (masalan, non sotib olish va uni bo'laklash), bunda oilaning har bir a'zosi ikkala ishni ham bajarish imkoniyatiga ega. Oila a'zolariga bu ishlarni taqsimlashda mumkin bo'lgan imkoniyatlar soni aniqlansin.

Bu masalani hal qilish uchun oila a'zolarini  $a, b, c, d$  va  $e$  harflari bilan belgilab, ishlarni ikkita bo'lGANI uchun beshta turli elementlardan ikkitadan barcha takrorli o'rinalashtirishlarni tuzamiz:

$$\begin{aligned} &aa, ab, ac, ad, ae, ba, bb, bc, bd, be, ca, cb, cc, \\ &cd, ce, da, db, dc, dd, de, ea, eb, ec, ed, ee. \end{aligned}$$

Hammasi bo'lib 25ta ( $\overline{A}_5 = 5^2 = 25$ ) takrorli o'rinalashtirishlar tuzildi. Demak, besh kishidan iborat oila a'zolariga ikkita ishni taqsimlashda mumkin bo'lgan imkoniyatlar soni 25dir. ■

**3- misol.** O'zbekiston Respublikasi fuqarosi pasportining raqami ikki qismdan iborat: lotin alifbosining ikkita harfi va yetti xonali son. O'zbekiston Respublikasi fuqarosi pasportining barcha mumkin bo'lgan raqamlari sonini aniqlang.

Lotin alifbosidagi yigirma oltita turli harflar yordamida 676 ta ( $\overline{A}_{26} = 26^2 = 676$ ) ikkitadan takrorli o'rinalashtirishlar tashkil etish mumkin. O'nta 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 va 9 raqamlardan esa 10.000.000 ta ( $\overline{A}_{10} = 10^7 = 10000000$ ) turli yetti xonali raqamlarni (bu raqamlarda dastlabki nollar tashlab yuborilmaydi) hosil qilish mumkin. Shunday qilib, O'zbekiston Respublikasi fuqarosi pasportining raqamlari soni 6.760.000.000ga ( $\overline{A}_{26} \overline{A}_{10} = 6760000000$ ) teng. ■

**2.4.3. Takrorli gruppashlar.** Har bir elementi birlashmaga istalgancha marta kiritiladigan va turli  $n$  ta elementlardan  $m$  tadan olinadigan hamda elementlar tartibi e'tiborga olinmaydigan birlashmalarni (kortejlarni) qaraymiz.

**3-ta'rif.** *Bunaqa birlashmalar  $n$  ta turli elementlardan  $m$  tadan takrorlanuvchi elementlar qatnashgan gruppashlar (qisqacha, takrorli gruppashlar) deb ataladi.*

$n$  ta elementdan  $m$  tadan takrorlanuvchi elementlar qatnashgan gruppashlar ta'rifidan ko'rinib turibdiki, turli kombinatsiyalar bir-birlaridan hech bo'lmasa bitta elementi bilan farq qiladi.  $n$  ta elementdan  $m$  tadan takrorli gruppashlar sonini  $\bar{C}_n^m$  deb belgilaymiz.

**3-teorema.**  *$n$  ta elementdan  $m$  tadan takrorli gruppashlar soni  $C_{n+m-1}^m$  ga teng, ya'ni  $\bar{C}_n^m = C_{n+m-1}^m$ .*

**I sboti.**  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  to'plam uchun  $n$  ta elementdan  $m$  tadan takrorli gruppashlar sonini aniqlash zarur. Har bir takrorli gruppashdag'i elementlarni  $n$  ta qismga shunday bo'lish mumkinki, har bir  $i$ - bo'lakda  $a_i$  element qanchadir marta qatnashadi yoki biror marta ham qatnashmaydi. Har bir shunday gruppashni nol va birlardan iborat kod yordamida quyidagicha shifrlaymiz: har bir  $a_i$  element o'miga bu element  $i$ - bo'lakda necha marta qatnashsa, shuncha birlar yozamiz (tabiiyki, bu element biror marta ham qatnashmasligi mumkin, u holda hech narsa yozilmaydi); turli bo'lak elementlarini bir-biridan nollar bilan ajratamiz (bu yerda yonma-yon joylashgan nollar hosil bo'lishi mumkin – bu nollar mos elementlarning gruppashda qatnashmaganligini anglatadi). Masalan,  $\{a, b, c, d, e, f\}$  to'plam elementlaridan tuzilgan 6ta elementdan 9tadan takrorli  $bbbcdddf$  gruppashga 01110101111001 shifr, 6ta elementdan 12tadan takrorli  $aaaabeeeeeff$  gruppashga esa 1111010011111011 shifr, aksincha, 10100011110 shifrga 6ta elementdan 6tadan takrorli  $abeeee$  gruppash mos keladi.

Shunday qilib,  $n$  ta elementdan  $m$  tadan har bir takrorli gruppash uchun qandaydir  $m$  ta birlar va  $(n-1)$ ta nollardan iborat ketma-ketlikni va, aksincha,  $m$  ta birlar va  $(n-1)$ ta nollardan tashkil topgan har bir ketma-ketlik uchun  $n$  ta elementdan  $m$  tadan biror takrorli gruppashni mos qo'ygan bo'lamiz (bir qiymatli moslik o'rnatildi). Binobarin,  $n$  ta

elementdan  $m$  tadan takrorli gruppashlar soni ( $n-1$ )ta nol va  $m$  ta birlardan tashkil topgan kortej elementlaridan tuzilgan takrorli o'rin almashtrishlar soniga, ya'ni  $C_{n+m-1}(m, n-1)$  ga tengdir. Demak,

$$\overline{C}_n^m = C_{n+m-1}(m, n-1) = \frac{(n+m-1)!}{m!(n-1)!} = C_{n+m-1}^m. \blacksquare$$

**4- misol.** Har birining yoqlariga 1, 2, 3, 4, 5 va 6 sonlari yozilgan kub shaklidagi ikkita soqqani tashlaganda jami nechta sonlar juftligini hosil qilish mumkin?

Soqqalarni tashlaganda jami quyidagi 21 imkoniyatdan biri ro'y beradi:

$$\begin{aligned} & <1,1>, <1,2>, <1,3>, <1,4>, <1,5>, <1,6>, <2,2>, \\ & <2,3>, <2,4>, <2,5>, <2,6>, <3,3>, <3,4>, <3,5>, \\ & <3,6>, <4,4>, <4,5>, <4,6>, <5,5>, <5,6>, <6,6>. \end{aligned}$$

Bu juftliklar oltita elementdan ikkitadan takrorli gruppashlarni tashkil etadi.

Ularning soni 3-teoremaga asosan  $\overline{C}_6^2 = C_{6+2-1}^2 = C_7^2 = 21$  bo'ladi. ■

**2.4.4. Ko'phad formulasi.** Takrorli kombinatsiyalar vositasida Nyuton binomi tushunchasini umumlashtiramiz, ya'ni  $(a_1 + a_2 + \dots + a_m)^n$  ifodaning yoyilmasini topish muammosini qaraymiz. Buning uchun qaralayotgan ifodani  $n$  ta bir xil ifodalar ko'paytmasi, ya'ni

$$\underbrace{(a_1 + a_2 + \dots + a_m)(a_1 + a_2 + \dots + a_m) \dots (a_1 + a_2 + \dots + a_m)}_{n\text{ta ko'paytuvchi}}$$

shaklida yozib, qavslarni ochamiz va o'xshash hadlarni ixchamlaymiz. Natijada,  $(a_1 + a_2 + \dots + a_m)^n$  ifodaning yoyilmasi hosil bo'ladi. Yoyilmaning tarkibidagi qo'shiluvchilarning har birida  $a_1, a_2, \dots, a_m$  elementlardan tashkil topgan takrorli o'rin almashtrishlar bor, bu yerda har bir qo'shiluvchi qandaydir koeffitsiyent va  $n$  ta elementning  $a_1^{n_1} a_2^{n_2} \dots a_m^{n_m}$  ko'rishdagagi ko'paytmasidan iboratdir. Yoyilmadagi  $a_1^{n_1} a_2^{n_2} \dots a_m^{n_m}$  ko'paytmaning koeffitsiyentini aniqlash uchun  $n$  ta ( $n = n_1 + n_2 + \dots + n_m$ ) elementli takrorli o'rin almashtrishlar sonini topish kerak, ya'ni  $C_n(n_1, n_2, \dots, n_m)$  sonni hisoblash kerak. Shunday qilib, quyidagi teorema isbotlandi.

**4-teorema.** Ixtiyoriy haqiqiy  $a_1, a_2, \dots, a_m$  va natural n sonlar uchun

$$(a_1 + a_2 + \dots + a_m)^n = \sum_{n_1+n_2+\dots+n_m=n} C_n(n_1, n_2, \dots, n_m) a_1^{n_1} a_2^{n_2} \dots a_m^{n_m}$$

formula o'rindir, bu formulaning o'ng tomonidagi yig'indi  $n_1 + n_2 + \dots + n_m = n$  shartni qanoatlantiruvchi barcha manfiymas butun  $n_1, n_2, \dots, n_m$  sonlar uchun amalgalashadi.

Istoblangan oxirgi tenglik ko'phad formulasi yoki umumlashgan Nyuton binomi formulasi deb yuritiladi.  $C_n(n_1, n_2, \dots, n_m)$  sonlarni ko'phad koeffitsiyentlari deb ataymiz.

$C_n^k$  binomial koeffitsient  $C_n(n_1, n_2, \dots, n_m)$  ko'phad koeffitsiyentining  $m=2$  bo'lgandagi xususiy holdir. Haqiqatdan ham,  $n_1 + n_2 = n$  tenglikda  $n_1 = k$  deb olsak, u holda  $n_2 = n - n_1 = n - k$  va  $C_n(n_1, n_2) = \frac{n!}{n_1! n_2!} = \frac{n!}{k!(n-k)!} = C_n^k$  bo'ladi.

**5-misol.**  $(a+b+c)^3$  ifodaning yoyilmasini toping. Avvalo 3 sonini bo'laklaymiz, ya'ni 3ni mumkin bo'lgan barcha imkoniyatlar bilan manfiymas butun sonlar yig'indisi shaklida yozamiz:

$$\begin{aligned} 3 &= 3+0+0, 3=2+1+0, 3=2+0+1, 3=1+2+0, 3=1+1+1, \\ 3 &= 1+2+0, 3=0+3+0, 3=0+2+1, 3=0+1+2, 3=0+0+3. \end{aligned}$$

Demak, ko'phad formulasiga ko'ra,

$$\begin{aligned} (a+b+c)^3 &= C_3(3,0,0)a^3 + C_3(2,1,0)a^2b + C_3(2,0,1)a^2c + \\ &+ C_3(1,2,0)ab^2 + C_3(1,1,1)abc + C_3(1,0,2)ac^2 + C_3(0,3,0)b^3 + \\ &+ C_3(0,2,1)b^2c + C_3(0,1,2)bc^2 + C_3(0,0,3)c^3. \end{aligned}$$

$$\text{Takrorli o'rin almashtirishlar soni } C_n(n_1, n_2, \dots, n_k) = \frac{n!}{n_1! n_2! \dots n_k!}$$

formulasini qo'llab quyidag tenglikni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} (a+b+c)^3 &= \\ &= a^3 + 3a^2b + 3a^2c + 3ab^2 + 6abc + 3ac^2 + b^3 + 3b^2c + 3bc^2 + c^3. \blacksquare \end{aligned}$$

Ko'phad yoyilmasining hadlarini yozganda shunga e'tibor berish kerakki, agar  $n_1, n_2, \dots, n_m$  ( $n_1 + n_2 + \dots + n_m = n$ ) sonlar  $k_1, k_2, \dots, k_m$  ( $k_1 + k_2 + \dots + k_m = n$ ) sonlarning o'rin almashtirishlari yordamida hosil

qilinishi mumkin bo'lsa, u holda  $a_1^{n_1}a_2^{n_2}\dots a_m^{n_m}$  va  $a_1^{k_1}a_2^{k_2}\dots a_m^{k_m}$  hadlarning koefitsiyentlari o'zaro teng bo'ladi. Shuning uchun  $n$  sonining  $n = n_1 + n_2 + \dots + n_m$  ko'rinishda ifodalanishlaridan qandaydir shartni bajaradigan birortasini, masalan,  $n_1 \geq n_2 \geq \dots \geq n_m$  (yoki  $n_1 \leq n_2 \leq \dots \leq n_m$ ) shartni qanoatlantiradiganini topib, unga mos  $a_1^{n_1}a_2^{n_2}\dots a_m^{n_m}$  ifodada daraja ko'rsatkichlarini mumkin bo'lgan barcha usullar bilan almashtirish kerak bo'ladi.

Masalan, 5- misoldagi  $a^2b$ ,  $a^2c$ ,  $ab^2$ ,  $ac^2$ ,  $b^2c$  va  $bc^2$  hadlarning ko'phad koeffitsientlari o'zaro tengdir. Yuqorida ko'rsatilgan shart asosida 3 sonini manfiymas butun sonlar yigindisi ko'rinishida bo'laklashning 3 imkoniyati bor:  $3=3+0+0$ ,  $3=2+1+0$ ,  $3=1+1+1$ . Shuning uchun,  $(a+b+c)^3$  ifodaning yoyilmasida 3 xil turli koeffitsiyentlarga egamiz:  $C_3(3,0,0)=1$ ,  $C_3(2,1,0)=3$  va  $C_3(1,1,1)=6$ . Demak,

$$(a+b+c)^3 = a^3 + b^3 + c^3 + \\ + 3(a^2b + a^2c + ab^2 + ac^2 + b^2c + bc^2) + 6abc.$$

Ko'phad formulasi yordamida ko'phadiy koeffitsientlarining, ya'ni  $C_n(n_1, n_2, \dots, n_m)$  sonlarning ba'zi xossalari osonlik bilan isbotlash mumkin. Masalan,  $\sum_{n=n_1+n_2+\dots+n_m} C_n(n_1, n_2, \dots, n_m) = m^n$ , bu yerda yig'indi  $n_1 + n_2 + \dots + n_m = n$  shartni qanoatlantiruvchi barcha manfiymas butun  $n_1, n_2, \dots, n_m$  sonlar uchun amalga oshiriladi va qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinadi.

Haqiqatdan ham, agar ko'phad formulasida  $a_1 = a_2 = \dots = a_m = 1$  deb olsak, kerakli tenglikni hosil qilamiz.

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. To'la o'yin qartalari ( $13 \times 4 = 52$ ta) orasidan turli tus (mast)ga ega bo'lgan bir-biridan farq qiluvchi 4ta qartani tanlash imkoniyatlari sonini aniqlang.

2. Matematika so'zidagi harflar o'rinalarini almashtirib ma'noga ega bo'Imaganlarini ham e'tiborga olganda tuzish mumkin bo'lgan barcha so'zlar sonini toping.

3. Shaxmat taxtasining bir qatoriga shoh, farzin, 2 dona rux, 2 dona fil va 2 dona otni joylashtirishlar sonini aniqlang.

4. 0 raqami birinchi raqam sifatida kelganda, uni tashlab yuborilish qoidasiga amal qilib 0, 1, 2, 3, 4, 5 raqamlaridan tuzish mumkin bo'lgan barcha olti xonali sonlar qancha?

5. 1, 2, 3, 4, 5 sonlaridan tuzish mumkin bo'lgan barcha uch xonali sonlar qancha?

6. Shirinlik sotiladigan do'konda 4 xil shirinlik bo'lsa, 7 dona shirinlikni sotib olish imkoniyatlari sonini aniqlang.

7. Beshta turli o'rindiqlar va yettita turli rangdagi material bor. Har bir o'rindiqni faqat bir xil rangdagi material bilan qoplash sharti bilan o'rindiqlarga material qoplash imkoniyatlari sonini toping.

8. Homiylar teleshouda qatnashayotgan o'yinchilarga kofe qaynatgichlar, dazmollar, uyali telefon apparatlari va duxilar sovg'a qilishmoqchi. 9 nafar o'yinchiga bittadan sovg'a berish imkoniyatlari sonini toping.

9. Turli 5 dona qalam va 6 dona ruchkadan 2 ta qalam va 4 ta ruchkani tanlash imkoniyatlari sonini aniqlang.

10. 36 ta o'yin qartasini 4 o'yinchiga teng bo'lib berganda mumkin bo'lgan barcha imkoniyatlar sonini hisoblang.

11. Fermada 20 ta qo'y va 24 ta sigir bor. Bittadan qo'y va sigir tanlash imkoniyatlari soni bilan bittadan qo'y va sigir tanlangandan so'ng qolgan hayvonlar orasidan yana bittadan qo'y va sigir tanlash imkoniyatlari sonini solishtiring.

12. Toq raqamdan boshlanuvchi juft besh xonali sonlar nechta?

13. Qirralari uzunliklari 1dan 10gacha sonlar bilan ifodalanadigan turli to'g'ri burchakli parallelepipedlar sonini hisoblang.

14. Yetti nafar talabani yotoqxonadagi bir, ikki va to'rt o'rinali xonalarga joylashtirish imkoniyatlari sonini aniqlang.

15. Agar to'qqiz qavatli binoning birinchi qavatida turgan liftda uch nafar yo'lovchi yuqoriga ko'tarilayotgan va yo'lovchilardan istalgan binoning birinchidan yuqoridagi ixtiyoriy qavatida liftdan tushib qolishi mumkin bo'lsa, u holda liftning yo'lovchilardan bo'shab qolish imkoniyatlari sonini aniqlang.

16.  $(a+b+c+d)^4$  ifodaning yoyilmasini toping.

17.  $(1+x+y)^{20}$  ifoda yoyilmasidagi  $x^4y^8$  qatnashgan had koefitsiyentini aniqlang.

18. O'nli sanoq tizimida yozilgan olti xonali sonlar orasida:

a) bir xil raqamlari borlari,

- b) raqamlari qat'iy o'sish tartibida joylashganlari,
- d) rosa uchta juft raqamga egalari,
- f) ikkitadan kam bo'limgan juft raqamga egalari,
- g) raqamlari yiq'indisi juft son bo'lganlari sonini aniqlang.

19.  $x_1 + x_2 + \dots + x_m = n$  ( $m, n \in N$ ,  $m \leq n$ ) tenglamaning:

- a) manfiymas butun, b) natural yechimlarini topish masalasini tahlil qiling.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Takrorlanuvchi elementlar qatnashgan o'rinni almashtirishlar takrorlanishi bo'limgan o'rinni almashtirishlardan nimasi bilan farq qiladi?
2. Takrorli o'rinni almashtirishlar soni formulasidan foydalanib takrorlanishi bo'limgan o'rinni almashtirishlar sonini hisoblash mumkinmi?
3. Takrorlanuvchi elementlar qatnashgan o'rinalashtirishlar takrorlanishi bo'limgan o'rinalashtirishlardan nimasi bilan farq qiladi?
4. Takrorli o'rinalashtirishlar soni formulasidan foydalanib takrorlanishi bo'limgan o'rinalashtirishlar sonini hisoblash mumkinmi?
5. Takrorlanuvchi elementlar qatnashgan gruppashlar takrorlanishi bo'limgan gruppashlardan nimasi bilan farq qiladi?
6. Takrorli gruppashlar soni formulasini isbotlashda qanday usuldan foydalanilgan?
7. Takrorli o'rinni almashtirishlar soni formulasidan foydalanib takrorlanishi bo'limgan gruppashlar sonini hisoblash mumkinmi?
8. Ko'phad formulasining Nyuton binomi formulasidan qanday farqi bor?
9. Ko'phad koefitsiyentlarining qanday xossalari bilasiz?

### **2.5. Fibonachchi<sup>1</sup> sonlari**

*Sonli ketma-ketlik. Rekurrent tenglik. Fibonachchi qatori. Fibonachchi sonlari. Ummulashgan Fibonachchi qatori. Binomial koefitsiyentlar. Paskal uchburchagi. Matematik induksiya usuli. Bine formulasasi. Oltin kesim. Logarifmik spiral.*

**2.5.1. Fibonachchi sonlarining ta'rifi.** Elementlari haqiqiy sonlardan iborat bo'lgan  $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n, \dots$  ketma-ketlikni qaraymiz. Bu ketma-

---

<sup>1</sup> Fibonachchi Pizanskiy (Fibonacci Leonardo Pisano, 1180-1240) – italyan matematigi.

ketlikdagi elementlarning uchinchisidan boshlab har biri o'zidan oldingi ikkita elementning yig'indisiga teng, ya'ni  $u_n = u_{n-1} + u_{n-2}$  ( $n \geq 3$ ) bo'lsin. Ravshanki, bu ketma-ketlikni tashkil qilishda uning dastlabki ikkita hadi muhim bo'lib, keyingi barcha hadlari rekurrent<sup>1</sup> tenglik vositasida aniqlanadi.

**1- ta'rif.**  $u_1 = u_2 = 1$  bo'lgan holda  $u_n = u_{n-1} + u_{n-2}$  ( $n \geq 3$ ) rekurrent tenglik vositasida aniqlangan ketma-ketlik **Fibonachchi qatori**, uning hadlari esa **Fibonachchi sonlari** deb ataladi.

Tabiiyki, Fibonachchi qatoridagi Fibonachchi sonlarini aniqlash jarayoni cheksizdir. Fibonachchi sonlarining dastlabki 24tasi quyida keltirilgan:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597, 2584,  
4181, 6765, 10946, 17711, 28657, 46368.

“Fibonachchi sonlari” iborasi birinchi bo'lib XIX asrda Eduard Lyuka<sup>2</sup> tomonidan qiziqarli matematikaga bag'ishlab yozilgan asarda qo'llanilgan. Fibonachchi (bu so'z italyancha “filius Bonacci” so'zlaridan qisqartirilib tuzilgan bo'lib, Bonachchining o'g'li ma'nosini anglatadi) Italiyadagi Piza shahrida XII-XIII asrlarda yashagan Leonardo Pizan-skiyning boshqacha ismidir (laqabidir). Bonachchi Italiya va Jazoirda savdo-sotiq bilan shug'ullangan. Leonardo boshlang'ich ma'lumotni Ja-zoirda olgan bo'lib, u o'zining arab o'qituvchilaridan hind pozitsion o'nlik sanoq tizimi<sup>3</sup> va nolni o'rgangan edi. Fibonachchi “Liber abaci” (“Abak haqidagi kitob” – 1202- yilda yozilgan bo'lib, 1228- yildagi qo'lyozma nusxasi saqlangan) nomli kitobida arifmetika va algebra bo'yicha o'z davrining deyarli barcha ma'lumotlarini bayon qilgan. Xususan, o'sha kitobda hozir butun dunyoda ommabob hisoblangan “arab” raqamlari bayon qilingan. Qo'lyozmaning (1228- yil) 123–124- sahfalarida uy quyonlarining ko'payishi haqidagi quyidagi masala bayon qilingan.

“Bir kishi bir juft quyonni ko'paytirish maqsadida saqlagan bo'lsin.

Quyonning tabiat shundayki, har bir juft quyon bir oyda boshqa bir juft quyonni dunyoga keltiradi va yangi paydo bo'lgan juft quyonlar ikkinchi oydan boshlab nasl bera boshlaydilar. Bir yildan so'ng dastlabki juft quyonlarning ko'payishi natijasida necha juft quyon vujudga keladi?”

<sup>1</sup> “Recurrens” lotincha so'z bo'lib, o'ziga qaytaruvchi ma'nosini beradi.

<sup>2</sup> Lyuka yoki Lukas (Lucas François Édouard Anatole, 1842–1891) – fransuz matematigi.

<sup>3</sup> Bu tizim haqidagi ma'lumot g'arbg'a arablar orqali o'tganligi sababli uni, ba'zan, yanglish ravishda, “arab pozitsion o'nlik sanoq tizimi” deyishadi.

Bu masalani yechish jarayonida Fibonachchi dastlabki yilning har bir oyi uchun quyonlar juftlari sonini aniqlagan. Bu sonlar 1-jadvalda keltirilgan. "Liber abaci"dan bu masala yechimi bayonining so'nggi satrlarini keltiramiz: "...Oxirgi oyda tug'ilgan yangi 144 juft quyonlar qo'shilsa, 377 juft quyon hosil bo'ladi. Shuncha juft quyon bir yil davomida bir juft quyondan ko'payar ekan". Quyonlar haqidagi masalada uchragan sonlar Fibonachchi qatorining dastlabki sonlari ekanligi yaqqol ko'rinib turibdi.

Fibonachchining o'zi Fibonachchi qatorining xossalarini o'rganish bilan shug'ullanmagan deb hisoblashadi (har ehtimolga qarshi, bizgacha yetib kelgan bunday izlanishlar haqida ma'lumotlar yo'qligini ta'kidlaymiz). XIX asr boshlarida Fibonachchi qatorining turli xossalariga bag'ishlangan ilmiy ishlar soni "Fibonachchi quyonlari sonidek o'sgan".

*I-jadval*

O'tgan oylar soni	Tug'ilgan juft quyonlar	Jami juftlar
0	0	1
1	1	2
2	1	3
3	2	5
4	3	8
5	5	13
6	8	21
7	13	34
8	21	55
9	34	89
10	55	144
11	89	233
12	144	377

Eduard Lyuka ixtiyoriy  $u_1$  va  $u_2$  sonlardan boshlanuvchi hamda  $u_n = u_{n-1} + u_{n-2}$  ( $n \geq 3$ ) rekurrent tenglik bilan aniqlanuvchi sonlar qatorini umumlashgan Fibonachchi qatori deb nomlagan.

**2.5.2. Fibonachchi sonlarining oddiy xossalari.** Fibonachchi sonlari juda ko'plab qiziqarli xossalarga ega. Quyida bu xossalardan ba'zilarini keltiramiz.

**1- xossa.** Dastlabki n ta Fibonachchi sonlarining yig'indisi ( $u_{n+2} - 1$ )ga teng, ya'ni  $u_1 + u_2 + \dots + u_n = u_{n+2} - 1$ .

Haqiqatdan ham, Fibonachchi sonlarining ta'rifiga ko'ra

$$u_1 + u_2 + \dots + u_n = (u_3 - u_2) + (u_4 - u_3) + \dots + (u_{n+1} - u_n) + (u_{n+2} - u_{n+1}) = \\ = u_{n+2} - u_2 = u_{n+2} - 1. \blacksquare$$

**2- xossa.** Toq raqamli dastlabki n ta Fibonachchi sonlarining yig'indisi  $u_{2n}$ ga teng, ya'ni

$$u_1 + u_3 + u_5 + \dots + u_{2n-1} = u_{2n}.$$

Ravshanki,

$$u_1 + u_3 + u_5 + \dots + u_{2n-1} = \\ = u_2 + (u_4 - u_2) + (u_6 - u_4) + \dots + (u_{2n} - u_{2n-2}) = u_{2n}. \blacksquare$$

**3- xossa.** Juft raqamli dastlabki n ta Fibonachchi sonlarining yig'indisi ( $u_{2n+1} - 1$ )ga teng, ya'ni  $u_2 + u_4 + u_6 + \dots + u_{2n} = u_{2n+1} - 1$ .

Bu xossani isbotlash uchun, 1- xossaga ko'ra,

$$u_1 + u_2 + \dots + u_{2n} = u_{2n+2} - 1$$

tenglik o'rinni ekanligini va 2-xossani hisobga olish kifoya:

$$u_2 + u_4 + u_6 + \dots + u_{2n} = (u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_{2n}) - \\ - (u_1 + u_3 + u_5 + \dots + u_{2n-1}) = \\ = u_{2n+2} - 1 - u_{2n} = u_{2n+2} - u_{2n} - 1 = u_{2n+1} - 1. \blacksquare$$

Yuqorida isbotlangan 1- va 2- xossalardan foydalanib, Fibonachchi sonlarining ishorasi almashuvchi qatori yig'indisi haqidagi quyidagi xossasini ham isbotlash mumkin.

**4- xossa.** Dastlabki n ta Fibonachchi sonlari uchun  $u_1 - u_2 + u_3 - u_4 + \dots + (-1)^{n+1} u_n = (-1)^{n+1} u_{n-1} + 1$  tenglik o'rinnlidir.

**5- xossa.** Dastlabki n ta Fibonachchi sonlari kvadratlarining yig'indisi  $u_n u_{n+1}$ ga teng, ya'ni  $u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2 = u_n u_{n+1}$ .

Haqiqatdan ham, Fibbonachi qatorining ta'rifiga ko'ra  $u_1^2 = u_1 u_2$  bo'ladi va birdan katta katta ixtiyoriy natural n son uchun

$$u_n^2 = u_n u_n = u_n (u_{n+1} - u_{n-1}) = u_n u_{n+1} - u_{n-1} u_n$$

tenglik o'rinnlidir. Shuning uchun

$$u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2 = u_1 u_2 + u_2 u_3 - u_1 u_2 + \\ + \dots + u_n u_{n+1} - u_{n-1} u_n = u_n u_{n+1}. \blacksquare$$

**6- x o s s a .** Ixtiyoriy  $u_n$  Fibonachchi sonining kvadrati bilan  $u_{n-1} u_{n+1}$  ko‘paytma orasidagi farq birga teng, ya’ni  $u_n^2 - u_{n-1} u_{n+1} = (-1)^{n+1}$ .

Bu xossani matematik induksiya usuli yordamida isbotlaymiz. Baza:  $n=2$  uchun  $u_2^2 - u_1 u_3 = 1^2 - 1 \cdot 2 = -1 = (-1)^{2+1}$  – tasdiq to‘g‘ri.

Induksion o‘tish: bu xossa  $n=k \geq 2$  uchun to‘g‘ri, ya’ni  $u_k^2 - u_{k-1} u_{k+1} = (-1)^{k+1}$  yoki  $u_k^2 = u_{k-1} u_{k+1} + (-1)^{k+1}$  bo‘lsin. Oxirgi tenglikning ikkala tomoniga  $u_k u_{k+1}$  ifodani qo‘sksak

$$u_k^2 + u_k u_{k+1} = u_{k-1} u_{k+1} + u_k u_{k+1} + (-1)^{k+1}$$

tenglik va bu tenglikdan  $u_k(u_k + u_{k+1}) = u_{k+1}(u_{k-1} + u_k) + (-1)^{k+1}$  kelib chiqadi. Fibonachchi qatorining aniqlanishidan foydalanib, quyi-dagilarga ega bo‘lamiz:  $u_k u_{k+2} = u_{k+1} u_{k+1} + (-1)^{k+1}$ ,  $-u_{k+1}^2 + u_k u_{k+2} = (-1)^{k+1}$ .

Oxirgi tenglikning ikkala tomonini  $(-1)$ ga ko‘paytirsak,  $u_{k+1}^2 - u_{(k+1)-1} u_{(k+1)+1} = (-1)^{(k+1)+1}$  tenglik hosil bo‘ladi. ■

Matematik induksiya usulini qo’llab  $u_1, u_2, \dots$  Fibonachchi sonlarining quyidagi 7–10- xossalari ham isbotlash mumkin:

$$7- \text{x o s s a . } u_1 u_2 + u_2 u_3 + u_3 u_4 + \dots + u_{2n-1} u_{2n} = u_{2n}^2.$$

$$8- \text{x o s s a . } u_1 u_2 + u_2 u_3 + u_3 u_4 + \dots + u_{2n} u_{2n+1} = u_{2n+1}^2 - 1.$$

$$9- \text{x o s s a . } n u_1 + (n-1) u_2 + (n-2) u_3 + \dots + 2 u_{n-1} + u_n = u_{n+4} - (n+3).$$

$$10- \text{x o s s a . } u_1 + 2 u_2 + 3 u_3 + \dots + n u_n = n u_{n+2} - u_{n+3} + 2.$$

Endi Fibonachchi sonlarining binomial koeffitsiyentlar (Pascal uchburchagi) bilan bog‘lanishini ifodalovchi xossani o‘rganamiz.

$$11- \text{x o s s a . } \text{Fibonachchi soni } u_n \ (n \in N) \ uchun \ u_n = \sum_{k=0}^{\left[ \frac{n-1}{2} \right]} C_{n-k-1}^k$$

tenglik o‘rinlidir.

Bu xossani isbotlash uchun  $u_n$  ( $n=1,2,\dots$ ) sonlardan tuzilgan  $u_1, u_2, \dots, u_n, \dots$  ketma-ketlikning Fibonachchi qatori bo'lishini ko'rsatish kifoya. Buning uchun esa

$$u_1 = \sum_{k=0}^{\left[\frac{1-1}{2}\right]} C_{1-k-1}^k = \sum_{k=0}^0 C_{-k}^k = C_0^0 = 1,$$

$$u_2 = \sum_{k=0}^{\left[\frac{2-1}{2}\right]} C_{2-k-1}^k = \sum_{k=0}^0 C_{1-k}^k = C_1^0 = 1$$

ekanligini ta'kidlab,  $u_1, u_2, \dots, u_n, \dots$  ketma-ketlik uchun  $u_{n+1} = u_n + u_{n-1}$  ( $n \geq 2$ ) rekurrent tenglikning bajarilishini ko'rsatamiz.

Agar  $n$  juft son ( $n = 2s$ ,  $s \in N$ ) bo'lsa, u holda

$$u_{n+1} = \sum_{k=0}^{\left[\frac{n}{2}\right]} C_{n-k}^k = \sum_{k=0}^s C_{n-k}^k,$$

$$u_n = \sum_{k=0}^{\left[\frac{n-1}{2}\right]} C_{n-k-1}^k = \sum_{k=0}^{s-1} C_{n-k-1}^k,$$

$$u_{n-1} = \sum_{k=0}^{\left[\frac{n-2}{2}\right]} C_{n-k-2}^k = \sum_{k=0}^{s-1} C_{n-k-2}^k$$

tengliklar o'rini bo'ldi. Bu tengliklardan foydalanib,

$$\begin{aligned} u_n + u_{n-1} &= \sum_{k=0}^{s-1} C_{n-k-1}^k + \sum_{k=0}^{s-1} C_{n-k-2}^k = 1 + \sum_{k=1}^{s-1} C_{n-k-1}^k + \sum_{p=1}^s C_{n-p-1}^{p-1} = \\ &= 1 + \sum_{k=1}^{s-1} C_{n-k-1}^k + \sum_{p=1}^{s-1} C_{n-p-1}^{p-1} + C_{n-s-1}^{s-1} = 1 + \sum_{k=1}^{s-1} (C_{n-k-1}^k + C_{n-k-1}^{k-1}) + C_{n-s-1}^{s-1} \end{aligned}$$

munosobatlarni hosil qilamiz. Binomial koeffitsiyentlarning  $C_{n-k-1}^k + C_{n-k-1}^{k-1} = C_{n-k}^k$  xossasiga binoan

$$u_n + u_{n-1} = 1 + \sum_{k=1}^{s-1} C_{n-k}^k + C_{n-s-1}^{s-1} = 1 + \sum_{k=1}^{s-1} C_{n-k}^k + C_{2s-s-1}^{s-1} = 1 + \sum_{k=1}^{s-1} C_{n-k}^k +$$

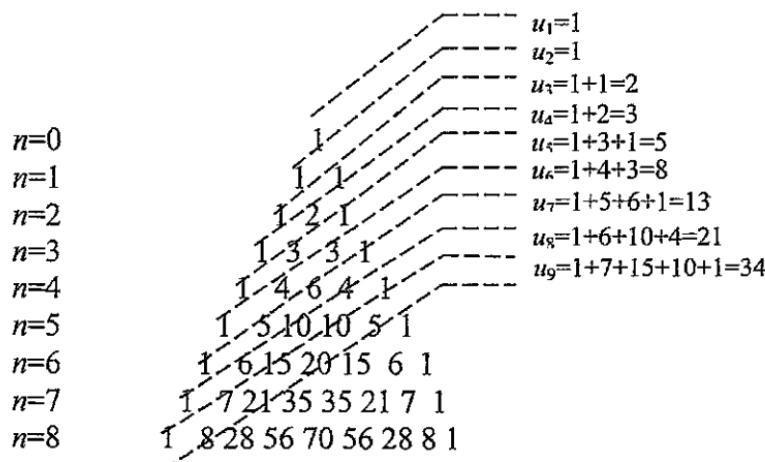
$$+C_{s-1}^{s-1} = C_{n-k}^0 + \sum_{k=1}^{s-1} C_{n-k}^k + C_s^s = \sum_{k=0}^{s-1} C_{n-k}^k + C_{n-s}^s = \sum_{k=0}^s C_{n-k}^k = u_{n+1}$$

tengliklarga ega bo'lamiz.

$n$  toq son bo'lganda ham, yuqoridagidek mulohazalar yuritib,  $u_{n+1} = u_n + u_{n-1}$  ( $n \geq 2$ ) tenglikning to'g'riligini ko'rsatish mumkin. Demak, Fibonachchi qatorining ta'rifiqa asosan,  $u_1, u_2, \dots, u_n, \dots$  ketma-ketligi Fibonachchi qatoridir. ■

Yuqorida ta'kidlanganidek,  $u_n = \sum_{k=0}^{\left[\frac{n-1}{2}\right]} C_{n-k-1}^k$  tenglik Fibonachchi

sonlari bilan Paskal uchburchagi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi. 1-shaklda tasvirlangan Paskal uchburchagidagi shtrixli chiziqlar bo'ylab joylashgan sonlar yig'indisi Fibonachchi sonlarini tashkil etadi.



1-shakl

**12- xossa.** Fibonachchi soni  $u_n$  ( $n \in N$ ) uchun

$$u_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right]$$

tenglik o'rnlidir.

Bu xossani isbotlash maqsadida, avvalo,  $\alpha$  haqiqiy son uchun  $\alpha^2 = 1 + \alpha$  tenglik o'rini bo'lsin deb faraz qilib,  $\alpha^3, \alpha^4, \alpha^5, \alpha^6$  va hokazo darajalarni  $\alpha$  orqali ifodalaymiz:  $\alpha^3 = \alpha\alpha^2 = \alpha(1 + \alpha) = 1 + 2\alpha$ ,  $\alpha^4 = \alpha\alpha^3 = \alpha(1 + 2\alpha) = 2 + 3\alpha$ ,  $\alpha^5 = \alpha\alpha^4 = \alpha(2 + 3\alpha) = 3 + 5\alpha$ ,  $\alpha^6 = \alpha\alpha^5 = \alpha(3 + 5\alpha) = 5 + 8\alpha$  va hokazo. Bu ifodalardan ko'rinish turibdiki, ulardag'i ozod hadlar ham,  $\alpha$  ning koeffitsiyentlari ham Fibonachchi sonlaridan iboratdir.

Matematik induksiya usulidan foydalanib, agar  $u_n$  Fibonachchi soni bo'lsa, u holda ixtiyoriy  $n \geq 2$  natural sonlar uchun  $\alpha^n = u_{n-1} + u_n\alpha$  formula to'g'riligini ko'rsatamiz.

Haqiqatdan ham,  $n = 2$  bo'lganda  $\alpha^2 = u_1 + u_2\alpha = 1 + \alpha$  tenglikka ega bo'lamiz, ya'ni baza bajarildi.

Induksion o'tish:  $n = k$  bo'lgan hol uchun  $\alpha^k = u_{k-1} + u_k\alpha$  formula to'g'ri bo'lsin. U holda  $n = k + 1$  bo'lganda quyidagi tengliklarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned}\alpha^{k+1} &= \alpha\alpha^k = \alpha(u_{k-1} + u_k\alpha) = u_{k-1}\alpha + u_k\alpha^2 = \\ &= u_{k-1}\alpha + u_k(1 + \alpha) = u_{k-1}\alpha + u_k + u_k\alpha = \\ &= u_k + (u_{k-1} + u_k)\alpha = u_k + u_{k+1}\alpha.\end{aligned}$$

Demak,

$$\alpha^{k+1} = u_k + u_{k+1}\alpha.$$

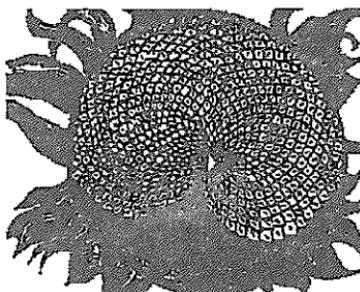
Shunday qilib,  $\alpha^2 = 1 + \alpha$  va ixtiyoriy  $n \geq 2$  natural sonlar uchun  $u_n$  Fibonachchi soni bo'lsa, u holda  $\alpha^n = u_{n-1} + u_n\alpha$  formula to'g'ri ekanligi isbotlandi. Endi  $\alpha^2 = 1 + \alpha$  tenglikni kvadrat tenglama sifatida qarab, uning biri musbat, ikkinchisi manfiy ikkita  $\alpha_1 = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$  va  $\alpha_2 = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}$

ildizlarini topamiz.  $\alpha^n = u_{n-1} + u_n\alpha$  formulaga ko'ra,  $\begin{cases} \alpha_1^n = u_{n-1} + u_n\alpha_1, \\ \alpha_2^n = u_{n-1} + u_n\alpha_2. \end{cases}$

Bu tengliklarni  $u_{n-1}$  va  $u_n$  noma'lumlarga nisbatan tenglamalar sistemasi deb qaraymiz va uni hal qilib, 12- xossanining isbotiga ega bo'lamiz. ■

Shunisi ajoyibki, 12- xossaga binoan, butun qiymatli  $u_n$  son irratsional sonlardan iborat bo'lgan kvadrat ildizlar orqali ifodalanmoqda. 12- xossani ifodalovchi tenglik **Bine<sup>1</sup>** formulasi deb yuritiladi.

Kesmani bo'laklarga bo'lishda **oltin kesim** tushunchasini eslaylik. Berilgan kesmaning oltin kesimi deb uni shunday ikki qismga ajratish tushuniladiki, bu yerda butun kesma uzunligining katta qism uzunligiga nisbati va katta qism uzunligining kichik qism uzunligiga nisbati o'zaro tengdir. Bu nisbatning qiymati  $\alpha_1$  ga teng bo'lishini aniqlash qiyin emas. "Oltin kesim" iborasining mazmuni shu bilan ham tasdiqlanadi.



2- shakl

masalan, tomonlari uzunliklarining nisbati  $\alpha_1 = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,618$  songa yaqin bo'lgan to'g'ri to'rtburchak inson ko'ziga yoqimli bo'lib ko'rinishi qadim zamonlardayoq ma'lum bo'lgan. Yana shunisi ham qiziqarlikli,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{u_{n+1}}{u_n} = \alpha_1, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{u_n}{u_{n+1}} = \frac{\sqrt{5} - 1}{2} = -\alpha_2.$$

Hayratlanarlisi shuki, Fibonachchi sonlari tabiatning turli narsa va hodisalarida kutilmaganda namoyon bo'lishadi. Masalan, ular kungaboqarning urug'lari joylashgan "savat"ida osonlik bilan sanab aniqlash mumkin bo'lgan spirallar (aniqrog'i spirallar yoylari) sonlari sifatida paydo bo'ladi (2- shaklga qarang). Kungaboqarning urug'lari joylashgan savatida logarifmik spirallarning<sup>2</sup> ikki oilasini kuzatish mumkin. Bu oilalardan birining spirallari aylanishi soat millari yo'nalishida, ikkinchisini esa teskari yo'nalishda bo'ladi.

Botanikada spirallar oilalarining bunday joylashishini **fillotaksis<sup>3</sup>** deb atashadi. Oilalardagi spirallar sonlari Fibonachchi qatorida ketma-ket

<sup>1</sup> Bine (Binet Jak-Filipp, 1786-1857) – fransuz matematigi va astronomi.

<sup>2</sup> Logarifmik spiral, bu qutb koordinatalar tizimidagi tenglamasi  $\rho = ae^{k\rho}$  bo'lgan egri chiziqdirdi, bunda  $a > 0$ ,  $-\infty < \rho < +\infty$ . Bu egri chiziq koordinatalar boshidan chiquvchi barcha nurlarni o'zgarmas  $\alpha$  burchak ostida kesib o'tadi va  $k = ctg\alpha$  bo'ladi.

<sup>3</sup> Yunon tilida bu so'z bargning tuzilishi ma'nosini beradi.

joylashgan ikkita Fibonachchi sonlaridan iborat bo‘ladi. Ular kungaboqar savatining kattaligiga qarab 34 va 55, yoki 55 va 89, yoki 89 va 144 bo‘lgan Fibonachchi sonlari juftliklarini tashkil etishadi. Tabiatda, hattoki, spirallar sonlari 144 va 233 bo‘lgan ulkan kungaboqar savati ham uchraydi! Kungaboqar fillotaksisi va Fibonachchi sonlari orasidagi bu aloqani birinchi bo‘lib E. Lyuka e’lon qilgan edi.

**1- misol.** Elementlari 0 va 1 raqamlaridan iborat bo‘lib, ikkita 1 raqami yonma-yon joylashmydigan kortejlarni qaraymiz. Shunday tartibda tuziladigan  $n$  uzunlikka ega barcha kortejlar soni  $c_n$  Fibonachchi qatorining  $(n+2)$ - hadiga tengligini, ya’ni  $c_n = u_{n+2}$  tenglik o‘rinli bo‘lishini ko‘rsatamiz.

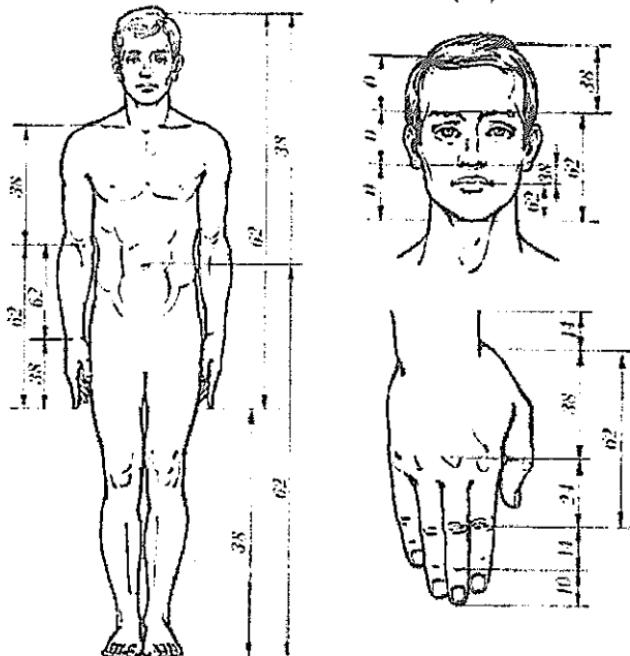
Buning uchun matematik induksiya usulidan foydalananaymiz. Matematik induksiya usulining bazasi sifatida  $n=1$  bo‘lgan holni qaraymiz. Bu holda misol shartlarini qanoatlantiruvchi ikkita ( $<0>$  va  $<1>$ ) kortejlar tuzish mumkin, ya’ni  $c_1 = 2$ . Fibonachchi qatorining tuzilishiga asosan  $n=1$  bo‘lgan hol uchun  $u_{n+2} = u_{1+2} = u_3 = 2$ . Demak,  $n=1$  bo‘lganda  $c_1 = u_{1+2}$  tasdiq to‘g‘ri.

Induksion o‘tish:  $n=k$  bo‘lganda misol shartlarini qanoatlantiruvchi kortejlar soni uchun isbotlanayotgan tenglik o‘rinli bo‘lsin, ya’ni  $c_k = u_{k+2}$ . Bu tenglikning  $n=k+1$  uchun ham to‘g‘riligini ko‘rsatamiz. Ravshanki, uzunligi  $n=k+1$  bo‘lgan barcha kortejlarni, tuzilishiga ko‘ra, ikki guruhga quyidagicha ajratish mumkin.

Birinchi guruhga talab qilingan shartlar asosida tuzilgan va uzunligi  $k$  ga teng kortejlarning har biriga o‘ng tomondan 0 raqamini joylashtirish usuli bilan hosil qilingan kortejlarni kiritamiz. Shuning uchun, birinchi guruhdagi kortejlar soni uzunligi  $k$  ga teng kortej soniga teng. Bu yerda induksiya farazini hisobga olsak birinchi guruhda  $u_{k+2}$  ta kortejlar bor degan xulosaga kelamiz.

Ikkinci guruhga oxirgi elementi 1 raqamidan iborat bo‘lgan kortejlarni kiritamiz. Kortejlarni tuzishning misolda talab qilinayotgan shartiga ko‘ra ikkinchi guruhdagi har bir kortejda oxirgi 1 raqamidan oldin faqat 0 raqami joylashishi mumkinligi kelib chiqadi. Shuning uchun, ikkinchi guruhdagi kortejlarning uzunligi  $(k-1)$  ga teng bo‘lgan va talab qilingan shartlar asosida tuzilgan kortejlarning har biriga o‘ng tomondan 0, 1 raqamlarini (aynan shu tartibda) joylashtirib hosil qilish mumkin. Demak, induksion farazni hisobga olsak, ikkinchi guruhdagi kortejlar soni  $u_{k+1}$  bo‘ladi.

Shunday qilib,  $K+1$  uzunlikka ega barcha kortejlar soni  $c_{k+1} = u_{k+1} + u_{k+2}$ . Fibonachchi qatorining aniqlanishiga ko'ra,  $u_{k+1} + u_{k+2} = u_{k+3}$ . Bu yerdan  $c_{k+1} = u_{k+3} = u_{(k+1)+2}$ . ■



3- shakl

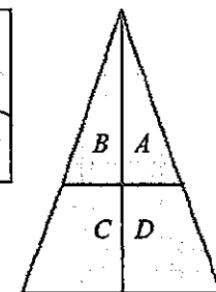
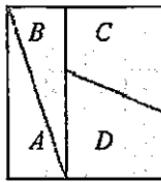
**2- misol.** Oltin kesim juda qadimdan ma'lum bo'lgan. Bu tushunchadan qadimgi yunonlar haykaltaroshlikda, suv saqlashga mo'ljallangan xum idishlarni yasashda foydalana bilishgan. 1854- yilda A. Seyzing<sup>1</sup> oltin kesim tushunchasini qayta "ochib", bu tushunchani absolyutlashtirishga uringan. U o'z asarlaridan birida "oltin kesim tabiatning barcha hodisalarida va san'atda universal kesimdir" deb e'lon qilgan. Bunday xulosaga A. Seyzing tabiatda uchraydigan turli hodisa va jarayonlarni tahlil qilish asosida, jumladan, qushlarning tuxumlari, o'simliklar, hayvonlar, turli tovushlar, insonlar tomonidan yaratilgan binolar, idishlar, she'riy va musiqiy asarlar va boshqalarni kuzatish va zarur hisoblashlarni bajarish asosida kelgan.

<sup>1</sup> Seyzing (Zeising) Adolf – olmon shoiri va faylasufi (1810-1876).

A. Seyzing ikki mingga yaqin kishilarning badan o'lchovlarini olib, bu qiymatlar asosida o'rtacha statistik qiymatlarni hisoblagan. Qilingan hisoblashlarga ko'ra, erkak kishining badanidagi katta o'lchovning kichik o'lchovga nisbati

(3-shaklda o'lchovlar butundan foiz miqdorda berilgan)  $13 : 8 = 1,625$ , ayollar uchun bu ko'rsatkich  $8 : 5 = 1,6$ , chaqolaqlar uchun esa  $1 : 1$  kabi bo'lishi aniqlangan. Inson bolasi 13 yoshga kelganda bu nisbat 1,6 bo'lishi, 21 yoshda esa proporsiya insonning jinsiga qarab yuqorida ta'kidlangan nisbatga yaqin bo'lar ekan. Bu yerdagi nisbatlarda qatnashayotgan sonlar va insonning yoshlari (13 va 21) Fibonacci qatori sonlaridir. ■

**3- misol.** Tomoni 8 birlik kvadratni (yuzasi 64 kv. birlik) 4-shaklda ko'rsatilgandek 4 bo'lakka ( $A$ ,  $B$ ,  $C$  va  $D$ ) ajratib, bu 4 bo'lakdan shaklning o'ng tomonidagi figurani yasash mumkin. Yasalgan figurani uchburchak deb hisoblab, uning yuzasi hisoblansa 65 kv. birlik (dastlabki yuzaga qaraganda 1 kv. birlik ortiq!) javob hosil bo'lishi tabiiydir. Tomoni 13 birlik kvadrat



4- shakl

bilan ham xuddi shunga o'xshash ishlarni bajarib, 169 kv. birlik yuzadan 168 kv. birlik (dastlabki yuzaga qaraganda 1 kv. birlik kam!) yuzani "hosil qilish" mumkin. Bu yerdagi xatoni aniqlash o'quvchiga havola qilinadi<sup>1</sup>. Shunisi qiziqki, bo'laklanayotgan kvadrat tomoni va bo'laklashda qatnashayotgan sonlar uchta ketma-ket Fibonacci sonlaridan iboratdir. Tabiiyki, yoqoridagi usul yordamida istalgan uchta ketma-ket Fibonacci sonlaridan foydalanib yuqoridagiga o'xshash istalgancha jumboqlar tuzish mumkin. ■

### Muammoli masala va topshiriqlar

1.  $u_1, u_2, \dots, u_n, \dots$  Fibonacci sonlarining quyidagi xossalariini isbot qiling:

$$a) u_{n+m} = u_{n-1}u_m + u_nu_{m+1}; \quad b) u_{n+2}^2 - u_{n+1}^2 = u_nu_{n+3};$$

<sup>1</sup> Fibonacci sonlarining 6- xossasiga e'tibor bering.

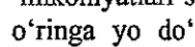
$$d) \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^n = \begin{pmatrix} u_{n+1} & u_n \\ u_n & u_{n-1} \end{pmatrix}; e) \begin{pmatrix} u_{n+2} \\ u_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{n+1} \\ u_n \end{pmatrix};$$

$$f) u_{n+1} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ -1 & 1 & 1 & \ddots & \vdots \\ 0 & -1 & 1 & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 1 \\ 0 & \dots & 0 & -1 & 1 \end{vmatrix}, g) u_{n+1} = \begin{vmatrix} 1 & i & 0 & \dots & 0 \\ i & 1 & i & \ddots & \vdots \\ 0 & i & 1 & \ddots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & i \\ 0 & \dots & 0 & i & 1 \end{vmatrix}, \text{ bu yerda}$$

determinantning o'lcovisi  $n \times n$ ,  $i$  – kompleks sonni ifodalashda ishlataladigan mavhum birlik ( $i = \sqrt{-1}$ ).

2. Qurilishda uzunligi enidan ikki baravar katta bo'lgan g'isht ko'p qo'llaniladi. Bunday g'ishtlardan bir g'isht kengligiga ega devor qurish imkoniyatlari g'ishtlar soni 1, 2, 3 va 4 bo'lgan hollar uchun 5- shaklda keltirilgan.  $n$  ta g'ishtdan bir g'isht kengligiga ega devor qurish imkoniyatlari sonini aniqlang.

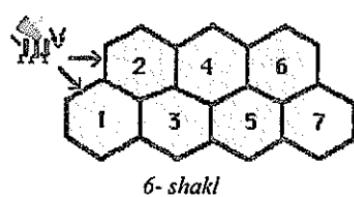
3. Xonada o'tirishga mo'ljal-langan  $n$  ta o'rinni bor. Bu o'rindarda o'tirishi kerak bo'lgan kishilarni ikki guruuhga ajratish mumkin: do'stlar (1) va dushmanlar (0). Agar  $n=1$



5-shakl

maslik sharti bilan o'rindarga o'tqazish imkoniyatlari sonini aniqlang.

4. Asalari 1 yoki 2 raqamli xonachadan harakatlanishni boshlagan bo'lsin (6-shakl). Asalari faqat o'ng tomonagi qo'shni xonachaga o'tishi mumkin bo'lsa, uning  $n$  raqamli xonachaga kelishi imkoniyatlari sonini aniqlang<sup>1</sup>.



6-shakl

<sup>1</sup> 1 raqamli xonachaga borishning faqat bir imkoniyati bor. 2 raqamli xonachaga borishda ikki imkoniyatdan foydalinish mumkin: bevosita o'sha xonachaning o'ziga yoki 1-2 yo'l bilan. 3 xonachaga boorish yo'llari esa uchta: 1-2-3, 1-3 va 2-3.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Fibonachchi sonlari haqidagi dastlabki ma'lumotni Leonardo Pizanskiy qaysi asarida keltirgan?
2. Tarkibida dastlabki  $n$  ta Fibonachchi sonlari ishtirok etgan qanday formulalarni bilasiz?
3. Juft raqamli dastlabki  $n$  ta Fibonachchi sonlarining yig'indisi formulasi qanday keltirib chiqariladi?
4. Toq raqamli dastlabki  $n$  ta Fibonachchi sonlarining yig'indisi formulasini isbotlay olasizmi?
5. Bir-biriga q'o'shni bo'lgan uchta Fibonachchi sonlarining qanday xossalarni bilasiz?
6. Fibonachchi sonlarining Paskal uchburchagi bilan bog'lanishini ifodalovchi formula qanday isbotlanadi?
7. Bine formulasining tarkibida qanday irratsional son bor?
8. Siz tabiatda Fibonachchi sonlarining uchrashiga kitobda bayon qilinmagan misol keltira olasizmi?

### **2.6. Bo'laklashlar kombinatorikasi**

*Bo'laklash. Ko'phad formulasi. Natural son. Yig'indi. Qo'shiluvchi.*

*Qo'shiluvchilar tartibi. Diagrammali usul. Ferrers diagrammasi. Normal Ferrers diagrammasi. Diagrammaning transpozitsiyasi. Ikki yoqlama diagrammalar.*

*Qo'shma diagrammalar. Qo'shma bo'laklashlar.*

**2.6.1. Bo'laklashlar ta'rifi.** Kombinatorikada o'rin almashtirishlar, o'rinalashtirishlar va gruppashlar tushunchalari yordamida yechiladigan masalalar bilan bir qatorda bo'laklashlarga doir masalalar ham qaraladi. Bunday masalalar turli vaziyatlarda paydo bo'lishi mumkin. Masalan, qutiga predmetlarni joylashda, axborotni uzatishda, pulni maydalashda, ko'phad formulasidan foydalanish uchun daraja ko'rsatkichini bo'laklashda va hokazo.

Bo'laklashlarga doir masalalar orasida natural sonlarni natural yoki manfiymas butun qo'shiluvchilar yig'indisi sifatida tasvirlash masalasi alohida o'rin tutadi. Bu masalaning mohiyati quyidagidan iborat.

Berilgan natural  $n$  sonni  $a_1, a_2, \dots, a_k$  natural sonlar yig'indisi ko'rinishda ifodalash imkoniyatlari qancha?

Bu masala turli shartlarda qaralishi mumkin. Masalan:

- qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinishi yoki olinmasligi mumkin;

- bo'laklashlarda faqat juft yoki toq sondagi qo'shiluvchilar qatnashishi sharti qo'yilishi mumkin;

- qo'shiluvchilar bir-biridan farqli yoki ixtiyoriy deb hisoblanishi mumkin va hokazo.

Tabiiyki, bo'laklashlarga doir kombinatorik masalalarni yechishda, bo'laklanayotgan son o'miga undan kichikroq son(lar)ni bo'laklash yoki qaralayotgan bo'laklashni kamroq sondagi qo'shiluvchilari bo'lgan bo'laklashga keltirish usuli qo'llanilishi maqsadga muvofiqdir.

**1- ta'rif.** *Natural n sonni ixtiyoriy k ta (k - natural son, k ≤ n)  $a_1, a_2, \dots, a_k$  natural sonlar yig'indisi, ya'ni  $n = a_1 + a_2 + \dots + a_k$  ko'rinishda tasvirlashga n sonni k ta qo'shiluvchilarga bo'laklash (qisqacha, bo'laklash) deb ataladi.*

Yuqorida ta'kidlaganimizdek, bo'laklash masalasini ikki vaziyatda, ya'ni qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olingan yoki olinmagan hollarda qarash mumkin. Kombinatorik nuqtai nazardan olganda ikkala hol ham qiziqarlidir.

Bo'laklash masalasini, avvalo, qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olingan holda qaraymiz.

Bu holda natural n sonning k ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari sonini  $B(n, k)$  bilan va shu sonning barcha bo'laklanishlari sonini  $B(n)$

bilan belgilasak, ravshanki,  $B(n) = \sum_{k=1}^n B(n, k)$  tenglik o'rinni bo'ladi.

**1- misol.** Faqat bir yo'nalishda harakatlanganda besh pog'onali zinapoyani hatlab o'tish imkoniyatlari sonini aniqlash talab etilgan bo'lsin.

Tabiiyki, har bir qadamda faqat bittadan pog'onani bosib o'tib, zinapoyani 5 qadamda hatlab o'tish mumkin. Bu harakatni 5 sonni  $5 = 1+1+1+1+1$  ko'rinishda bo'laklanishi kabi ifodalab,  $B(5,5)=1$  ekanligini qayd etamiz. Zinapoyani 4 qadamda ham hatlab o'tish mumkin, bu ishning  $B(5,4)=4$  imkoniyati bor:  $5 = 2+1+1+1$ ,  $5 = 1+2+1+1$ ,  $5 = 1+1+2+1$  va  $5 = 1+1+1+2$ . Shu usulda davom etib, 3 qadam uchun  $B(5,3)=6$  ta -  $5 = 3+1+1$ ,  $5 = 1+3+1$ ,  $5 = 1+1+3$ ,  $5 = 2+2+1$ ,  $5 = 2+1+2$ ,  $5 = 1+2+2$  hamda 2 qadam uchun  $B(5,2)=4$  ta -  $5 = 4+1$ ,  $5 = 3+2$ ,  $5 = 2+3$ ,  $5 = 1+4$  tengliklarni yozamiz. Endi barcha pog'onalarini bir qadamda hatlab o'tishga  $B(5,1)=1$

imkoniyat va  $S = 5$  tenglik mos kelishini e'tiborga olsak, mumkin bo'lgan barcha imkoniyatlarni bayon qilgan bo'lamiz.

Shunday qilib, faqat bir yo'nalishda harakatlanganda besh pog'onali zinapoyani hatlab o'tish imkoniyatlari soni

$$B(5) = B(5,1) + B(5,2) + B(5,3) + B(5,4) + B(5,5) = 16$$

bo'ladi. ■

Endi  $B(n,k)$  va  $B(n)$  miqdorlarni hisoblash formulalarini topish bilan shug'ullanamiz.

Dastlab  $n=1$  bo'lgan holni qaraymiz. Tabiiyki, birni natural sonlar yig'indisi qilib bo'laklash haqida gap bo'lishi mumkin emas. Shunday bo'lishiga qaramasdan, birni faqat bitta qo'shiluvchidan iborat deb qarab, yuqorida berilgan ta'rifga mos keluvchi  $B(1,1) = 1 = C_0^0 = C_{1-1}^0 = C_{n-1}^0$  ta bo'laklashga ega bo'lamiz. Jami bo'laklashlar soni  $B(1) = B(1,1) = C_{n-1}^0 = 2^{n-1}$  bo'ladi<sup>1</sup>.

$n=2$  bo'lgan holda  $k=1$  qo'shiluvchili  $B(2,1) = 1 = C_1^0 = C_{2-1}^0 = C_{n-1}^0$  ta ( $2=2$ ) va  $k=2$  qo'shiluvchili  $B(2,2) = 1 = C_1^1 = C_{2-1}^1 = C_{n-1}^1$  ta ( $2=1+1$ ) bo'laklashlarga ega bo'lamiz. Bu hol uchun jami bo'laklashlar soni  $B(2) = B(2,1) + B(2,2) = C_{n-1}^0 + C_{n-1}^1 = 2^{n-1}$ .

Agar  $n=3$  bo'lsa, u holda  $k=1$  qo'shiluvchili  $B(3,1) = 1 = C_2^0 = C_{3-1}^0 = C_{n-1}^0$  ta ( $3=3$ ),  $k=2$  qo'shiluvchili  $B(3,2) = 2 = C_2^1 = C_{3-1}^1 = C_{n-1}^1$  ta ( $3=2+1=1+2$ ) va  $k=3$  qo'shiluvchili  $B(3,3) = 1 = C_2^2 = C_{3-1}^2 = C_{n-1}^2$  ta ( $3=1+1+1$ ) bo'laklashlar bor. Bu holda jami bo'laklashlar soni uchun

$$B(3) = B(3,1) + B(3,2) + B(3,3) = C_{n-1}^0 + C_{n-1}^1 + C_{n-1}^2 = 2^{n-1}$$

tenglik o'rindiridir.

Shunday davom etib, "istalgan  $n$  natural sonning  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soni  $(n-1)$ ta elementdan  $(k-1)$  talab gruppashlar soniga teng, ya'ni  $B(n,k) = C_{n-1}^{k-1}$ " degan farazga kelish mumkin. Agar bu faraz tasdiqlansa, binomial koefitsiyentlarning yig'indisi haqidagi xossaga ko'ra,  $B(n) = \sum_{i=0}^{n-1} C_{n-1}^i = 2^{n-1}$  bo'ladi.

<sup>1</sup> Bu yerda va bundan keyin binomial koefitsiyentlarning ixtiyoriy natural  $n$  uchun

$\sum_{k=0}^n C_n^k = 2^n$  bo'lishi haqidagi xossasidan foydalananamiz.

**1- teorema.** *Qo'shiluvchilar tartibini e'tiborga olgan holda istalgan  $n$  natural sonning  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soni ( $n-1$ )ta elementdan ( $k-1$ )talab gruppashlar soniga teng, ya'ni  $B(n, k) = C_{n-1}^{k-1}$ .*

**I s b o t i** o'quvchiga havola qilinadi. ■

Yuqorida bayon etilgan mulohazalar yordamida va 1- teoremaga tayangan holda isbotlash osonligini ta'kidlab, quyidagi teoremani boshqa usul bilan isbotlaymiz.

**2- teorema.** *Qo'shiluvchilar tartibini e'tiborga olgan holda ixtiyoriy  $n$  natural sonning barcha bo'laklanishlari soni  $2^{n-1}$  ga teng, ya'ni  $B(n) = 2^{n-1}$ .*

**I s b o t i.** Natural  $n$  sonning barcha bo'laklanishlari to'plamini  $S(n)$  deb, shu  $n$  sonning birinchi qo'shiluvchisi  $i$  ga ( $i=1, 2, \dots, n$ ) teng bo'lgan bo'laklanishlari to'plamini esa  $S_i(n)$  bilan belgilaymiz. Tushunarlik,  $S(n) = \bigcup_{i=1}^n S_i(n)$  bo'ladi. Agar  $S_i(n)$  to'plam elementlari sonini  $Q_i(n)$

deb belgilasak, yuqoridagi tenglikka asosan  $B(n) = \sum_{i=1}^n Q_i(n)$  bo'ladi. Endi  $Q_i(n) = B(n-i)$  ( $i=1, 2, \dots, n-1$ ) va  $Q_n(n) = 1$  tengliklarni hisobga olib,  $B(n) = \sum_{i=1}^{n-1} B(n-i) + 1 = 1 + \sum_{i=1}^{n-1} B(i)$  tenglikka ega bo'lamiz.

Bu tenglik ixtiyoriy  $n$  natural son uchun to'g'ri. Shuning uchun, bu tenglikdagi  $n$  ni ( $n+1$ )ga almashtirib,

$$B(n+1) = 1 + \sum_{i=1}^{n-1} B(i) + B(n) = B(n) + B(n) = 2B(n),$$

ya'ni  $B(n+1) = 2B(n)$  ( $n=1, 2, \dots$ ) ko'rinishdagi rekurrent munosabatni hosil qilamiz. Bu rekurrent munosabat ketma-ket qo'llanilsa,  $B(n) = 2^{n-1}$  kelib chiqadi. ■

**2- misol.** To'qqiz qavatli binoning birinchi qavatidan sakkiz kishi liftda yuqoriga ko'tarilayotgan bo'lsin. Agar to'qqizinchi qavatga liftdagи kishilarning faqat bittasi chiqishi shart bo'lsa, lift yo'lovchilarining bino qavatlariga chiqish imkoniyatlari sonini aniqlang.

Masalaning shartiga binoan, liftdag'i sakkiz kishidan faqat bir kishi to'qqizinchi qavatga chiqishi shart bo'lgani uchun, qolgan yetti kishining ikkinchi qavatdan sakkizinchi qavatgacha chiqishining ko'p imkoniyatlari bor. Bu imkoniyatlар soni liftning birinchi va to'qqizinchi qavatlar orasidagi to'xtashlar soniga bog'liq bo'lib, yettingning barcha bo'laklanishlari yordamida ifodalanishi mumkin. Masalan, lift binoning ikkinchi qavatidan sakkizinchi qavatigacha faqat bir marta to'xtab, liftdag'i yetti kishi tushib qolgan bo'lsa, u holda bu hodisa  $7 = 7$  ko'rinishdagi bo'laklash vositasida ifodalanadi; agar to'qqizinchi qavatgacha lift ikki marta to'xtab, oldin uch kishi, keyin to'rt kishi tushib qolgan bo'lsa, bu holatga  $7 = 3 + 4$  ko'rinishdagi bo'laklash mos keladi va hokazo.

2- teoremedan foydalaniб, yettingning barcha bo'laklanishlari soni  $2^{7-1} = 2^6 = 64$  ekanligini topamiz. Demak, agar to'qqizinchi qavatga faqat bir kishi chiqishi shart bo'lsa, u holda lift yo'lovchilarining bino qavatlariga chiqish imkoniyatlari soni 64ga tengdir. Agar hal qilingan masalada to'qqizinchi qavatga faqat bir kishining chiqishi sharti bo'lmasa edi, u holda sakkizning barcha bo'laklanishlari sonini topishga to'g'ri kelar edi. ■

Endi natural sonlarni **qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan vaziyatda** bo'laklash masalasi bilan shug'ullanamiz.

Odatda, natural  $n$  sonning ixtiyoriy  $k$  ta ( $k$  – natural son,  $k \leq n$ )  $a_1, a_2, \dots, a_k$  qo'shiluvchilarga bo'laklanishini qandaydir shartlarga, masalan,  $a_1 \geq a_2 \geq \dots \geq a_k$  yoki  $a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_k$  tengsizliklarga bo'ysunadigan qilib olish qulay bo'ladi.

Qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holda natural  $n$  sonning  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari sonini  $R(n, k)$  bilan, uning barcha bo'laklanishlari sonini esa  $R(n)$  bilan belgilaymiz.

Bundan keyin, bo'laklash deganda qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holdagi bo'laklashni nazarda tutamiz.

Tabiiyki,  $R(n) = \sum_{k=1}^n R(n, k)$  tenglik o'rinnlidir. Osonlik bilan ko'rish mumkinki,  $R(1) = 1, R(2) = 2, R(3) = 3, R(4) = 5, R(5) = 7, R(6) = 11, R(7) = 15$ .

**3- misol.** 8 uchun barcha bo'laklashlar 1- jadvalda ifodalangan. Jadvaldan ko'rinish turibdiki, 8 uchun, hammasi bo'lib, 22 bo'laklash imkoniyati bor:

$$R(8) = \sum_{k=1}^8 R(8, k) = 1 + 4 + 5 + 5 + 3 + 2 + 1 + 1 = 22 \cdot \blacksquare$$

*1-jadval*

Qo'shi-luvchilar soni	Bo'laklanishlar	Bo'laklanishlar soni
1	8=8	$R(8, 1)=1$
2	$8=7+1=6+2=5+3=4+4$	$R(8, 2)=4$
3	$8=6+1+1=5+2+1=4+3+1=$ $=4+2+2=3+3+2$	$R(8, 3)=5$
4	$8=5+1+1+1=4+2+1+1=3+3+1+1=$ $=3+2+2+1=2+2+2+2$	$R(8, 4)=5$
5	$8=4+1+1+1+1=3+2+1+1+1=$ $=2+2+2+1+1$	$R(8, 5)=3$
6	$8=3+1+1+1+1+1=2+2+1+1+1+1$	$R(8, 6)=2$
7	$8=2+1+1+1+1+1+1$	$R(8, 7)=1$
8	$8=1+1+1+1+1+1+1+1$	$R(8, 8)=1$

Albatta, yuqorida keltirilgan formula yordamida ixtiyory natural  $n$  uchun uning barcha bo'laklanishlari sonini aniqlash mumkin. Lekin  $n$  yetarlicha katta qiymatga ega bo'lganda bu formuladan foydalanish juda ko'p hisoblashlar bajarishni taqozo qiladi. Ushbu bobning navbatdagi 7-paragrafida  $R(n)$  ning qiymatini hisoblash uchun boshqacha yo'il borligi ko'rsatilgan.

**2.6.2. Ferrers<sup>1</sup> diagrammasi.** Natural  $n$  son  $k$  ta  $a_1, a_2, \dots, a_k$  natural qo'shiluvchilar nung yig'indisi qilib bo'laklangan bo'lsin.

**2- ta'rif.**  $k$  ta qatoridan tashkil topgan va (yuqoridan pastga qarab hisoblaganda)  $i$ - qatorida  $a_i$  ta nuqtaga ega bo'lgan diagramma  $n$  sonni  $k$  ta  $a_1, a_2, \dots, a_k$  natural qo'shiluvchilar nung yig'indisi qilib bo'laklashga mos Ferrers diagrammasi deb ataladi.

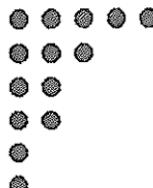
Ferrers diagrammasi tushunchasiga asoslangan diagrammali usul deb yuritiluvchi usul sonlarni qo'shiluvchilar yig'indisi qilib bo'laklash masalalarini tahlil qilishda keng qo'llaniladi.

<sup>1</sup> Ferrers (Norman Macleod, 1829 – taxminan 1894 yildan so'ng vafot etgan) – ingliz matematigi.

Bo'laklashda qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmaganligi sababli Ferrers diagrammasini tuzishda, odatda, uning qatorlaridagi nuqtalar soni yuqoridan pastga qarab o'smaydigan, ya'ni  $a_1 \geq a_2 \geq \dots \geq a_k$  shart bajariladigan (yoki, kamaymaydigan ya'ni  $a_1 \leq a_2 \leq \dots \leq a_k$  shart bajariladigan) tartibga rioya qilinadi. Bundan tashqari, qatorlardagi nuqtalar diagrammaning vertikal ustunlarini tashkil etadigan qilib tuziladi.

**3- ta'rif.** *Shunday tartibda tuzilgan diagramma normal Ferrers diagrammasi deb ataladi.*

**4- misol.**  $14=5+3+2+2+1+1$  bo'laklashga 1- shaklda tasvirlangan Ferrers diagrammasi mos keladi. Bu diagramma normal Ferrers diagrammasidir. ■



1-shakl

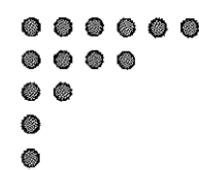
Ixtiyoriy bo'laklashga mos keluvchi normal Ferrers diagrammasining qatorlarini ustun, ustunlarini esa qator qilib o'zgartirilsa (ya'ni diagramma trasponirlansa), tabiiyki, yana normal Ferrers diagrammasi hosil bo'ladi.

**4- ta'rif.** *Hosil bo'lgan bu diagrammaga dastlabki diagrammaning transpozitsiyasi (yoki ikkilanma diagrammasi) deb ataladi.*

Normal Ferrers diagrammasining transpozitsiyasi natijasida hosil bo'lgan ikkilanma diagramma transponirlansa dastlabki diagramma hosil bo'lisi ravshandir. Demak, istalgan son uchun tuzilgan barcha diagrammalarni o'zaro ikkilanma bo'lgan diagrammalar juftlariga ajratish mumkin. Shuni e'tiborga olish kerakki, ba'zi diagrammalar o'z-o'ziga ikkilanma bo'ladi, shuning uchun ular ikkita bir xil diagrammalar juftini tashkil etadi deb hisoblash mumkin.

Ikkilanma diagrammalarni qo'shma diagrammalar deb, ularga mos keluvchi bo'laklashlarni esa qo'shma bo'laklashlar deb ham ataydilar.

**5-misol.** 4- misolda qaralgan  $14=5+3+2+2+1+1$  bo'laklashga mos Ferrers diagrammasiga qo'shma diagrammani 2- shakldagidek tasvirlash mumkin. Mos qo'shma bo'laklash esa:  $14=6+4+2+1+1$ . ■



2-shakl

**2.6.3. Bo'laklashlarning xossalari.** Quyidagi uchta 3-5- teoremlar bo'laklashlarning ba'zi xossalalarini ifodalaydi.

**3- teorema.** *Ixtiyoriy  $n$  natural sonning har xil natural qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soni shu sonning toq qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soniga teng.*

**I s b o t i.**  $n$  natural sonning  $b_1, b_2, \dots, b_p$  toq qo'shiluvchilarga bo'laklanishlaridan ixtiyoriy birini qaraymiz:

$$n = \underbrace{b_1 + b_1 + \dots + b_1}_{r_1} + \underbrace{b_2 + b_2 + \dots + b_2}_{r_2} + \dots + \underbrace{b_p + b_p + \dots + b_p}_{r_p},$$

bu yerda har bir  $b_i$  ( $i = \overline{1, p}$ ) qo'shiluvchi bo'laklanishda  $r_i$  ( $1 \leq r_i \leq n$ ) marta qatnashadi.  $r_i$  sonning ikkilik sanoq sistemasidagi  $r_i = 2^{q_{i1}} + 2^{q_{i2}} + \dots + 2^{q_{is}}$  tasvirlanishini yozamiz, bunda  $q_{i1} > q_{i2} > \dots > q_{is} \geq 0$  qandaydir ( $s$  ta) butun sonlar.

Qaralayotgan  $n$  sonning yuqoridagi bo'laklanishida  $r_i$  ta  $b_i$  qo'shiluvchilami bir-biridan farqli  $b_i 2^{q_{i1}}, b_i 2^{q_{i2}}, \dots, b_i 2^{q_{is}}$  qo'shiluvchilarga almashtiramiz. Tabiiyki, bunday almashtirish  $r_i$  ta  $b_i$  qo'shiluvchilar yig'indisining qiymatini o'zgartirmaydi. Shu jarayonni barcha  $i = 1, 2, \dots, p$  qiymatlar uchun takrorlab va qo'shiluvchilarning mos qiymatlarini yozib,  $n$  sonning har xil qo'shiluvchilarga bo'laklanishlaridan birini hosil qilamiz, chunki  $b_i, b_j$  sonlarning toqligi tufayli  $b_i 2^{q_i} \neq b_j 2^{q_j}$  bo'ladi.

Shunday qilib,  $n$  sonning toq qo'shiluvchilarga bo'laklanishlaridan har biriga shu sonning har xil qo'shiluvchilarga bo'laklanishlaridan biri mos kelishi isbotlandi. Bu tasdiqning teskarisini ham isbotlash mumkin. ■

**6- misol.** 3- misolda 8 ning barcha bo'laklashlari keltirilgan va bu bo'laklashlar soni 22ga tengligi ko'rsatilgan edi. 22ta bo'laklashlardan oltitasi har xil qo'shiluvchilardan tuzilgan. Xuddi shuncha toq qo'shiluvchili bo'laklashlar mavjud. 3- teoremaning isbotidagidek mulohaza yuritib 8ning har xil qo'shiluvchili va toq qo'shiluvchili barcha bo'laklanishlari orasidagi bir qiymatli moslikni ko'rsatish mumkin.

Haqiqatdan ham,

$$8 = 7 + 1 = 7 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 7 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^0 = 7 + 1,$$

$$8 = 5 + 3 = 5 \cdot 1 + 3 \cdot 1 = 5 \cdot 2^0 + 3 \cdot 2^0 = 5 + 3,$$

$$\begin{aligned} 8 &= 5 + 1 + 1 + 1 = 5 \cdot 1 + 1 \cdot 3 = 5 \cdot 2^0 + 1 \cdot (2^1 + 2^0) = \\ &= 5 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 5 + 2 + 1, \end{aligned}$$

$$8 = 3 + 3 + 1 + 1 = 3 \cdot 2 + 1 \cdot 2 = 3 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^1 = 6 + 2,$$

$$8 = 3 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 3 \cdot 1 + 1 \cdot 5 = 3 \cdot 2^0 + 1 \cdot (2^2 + 2^0) = \\ = 3 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^0 = 3 + 4 + 1, \\ 8 = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 1 \cdot 8 = 1 \cdot 2^3 = 8. \blacksquare$$

Diagrammali usul yordamida bo'laklashlarning turli xossalari ni osonlik bilan isbotlash mumkin. Quyida shunday xossalardan ikkitasini ifodalovchi 4- va 5- teoremlarni keltiramiz.

**4-teorema.** *Ixtiyoriy  $n$  natural sonni  $k$  ta natural qo'shiluvchilarga bo'laklashlar soni shu  $n$  sonning eng katta qo'shiluvchisi  $k$  ga teng bo'lgan bo'laklanishlari soniga teng.*

**Isboti.** Ferrers diagrammasining transpozitsiyasi tushunchasi yordamida natural  $n$  sonning  $k$  ta natural qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari va shu sonning eng katta qo'shiluvchisi  $k$  ga teng bo'lgan bo'laklanishlari orasida bir qiymatli moslik o'rnatish mumkin. Bu bir qiymatli moslikka ko'ra teoremaning tasdig'i to'g'ridir. ■

2-jadval

8 sonining 3ta qo'shiluvchili bo'laklanishlari	8 sonining eng katta qo'shiluvchisi 3ga teng bo'laklanishlari
6+1+1	3+1+1+1+1+1
5+2+1	3+2+1+1+1
4+3+1	3+2+2+1
4+2+2	3+3+1+1
3+3+2	3+3+2

**7-misol.** 3- misoldan ma'lumki, 8 uchun uchta qo'shiluvchili beshta bo'laklash mavjud, bu son uchun qo'shiluvchilarning eng kattasi uchga teng bo'lgan bo'laklashlar ham beshtadir. 2- jadvalda bu bo'laklashlar bir-biriga mos ravishda ikki ustun qilib keltirilgan.

**5-teorema.** *Ixtiyoriy  $n$  natural sonning hech bir qo'shiluvchisi  $k$  dan oshmaydigan bo'laklanishlari soni ( $n+k$ ) sonining  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soniga teng.*

**Isboti.** Birinchidan, shuni ta'kidlash lozimki, Ferrers diagrammasining transpozitsiyasi  $n$  sonning hech bir qo'shiluvchisi  $k$  dan oshmaydigan bo'laklanishlari bilan shu sonning  $k$  tadan oshmaydigan

qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari orasida o'zaro bir qiymatli moslik o'rnatadi. Bu bir qiymatli moslik asosida  $n$  sonning hech bir qo'shiluvchisi  $k$  dan oshmaydigan barcha bo'laklanishlari soni shu  $n$  sonning  $k$  tadan oshmaydigan qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soniga teng deb xulosa qilish mumkin.

Ikkinchi tomondan,  $n$  sonning  $k$  tadan oshmaydigan qo'shiluvchilarga bo'laklanishiga mos Ferrers diagrammasi  $n$  ta nuqtadan tashkil topgan bo'lib, ular  $k$  tadan oshmaydigan qatorlarda joylashgan bo'ladi. Bunday diagrammalarining har biriga  $k$  ta nuqtadan tuzilgan ustunni chap tomondan joylashtirsak,  $k$  ta qatorga va  $(n+k)$  ta nuqtali diagrammaga ega bo'lamiz. Aksincha,  $(n+k)$  ta nuqtali har bir Ferrers diagrammasidan  $k$  ta qatorga ega birinchi ustunni olib tashlasak,  $n$  ta nuqtadan tashkil topgan va qatorlari soni  $k$  tadan ko'p bo'limgan diagrammani hosil qilamiz.

Ko'rsatilgan bu ikki turdag'i diagrammalar orasidagi o'zaro bir qiymatli moslik  $n$  sonni qo'shiluvchilar  $k$  tadan oshmaydigan bo'laklashlar soni  $R(n+k, k)$  ifodaga tengligini tasdiqlaydi. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olingan holda 6, 7 va 8 ni natural sonlar yig'indisi ko'rinishida ifodalang hamda  $B(6)$ ,  $B(7)$  va  $B(8)$  larning qiymatlarini aniqlang.

2. Qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holda 9 ning barcha bo'laklanishlarini yozing va  $R(9)$  ni hisoblang.

3. Bozorda dehqon 15 dona qovunni 7 nafar xaridorga donabay sotdi. Agar navbatdagi har bir savdoda dehqonning sotgan qovunlari soni oldingi savdodagiga qaraganda kamaymagan bo'lsa, u holda barcha savdolarda sotilishi mumkin bo'lgan qovunlar sonlarining barcha imkoniyatlarini toping.

4. Odatda biror qarorni ko'pchilik bo'lib qabul qilish maqsadida ovoz berganda "tarafdar" va "qarshi" ovozlar sonlari o'zaro teng bo'lmasligi uchun a'zolari 3 nafardan kam bo'limgan toq sondagi ekspertlar komissiyasi tuziladi. Bu shartni qanoatlantiruvchi 17 nafar ekspertdan tashkil qilinishi mumkin bo'lgan komissiyalar sonini hisoblang.

5. Kichik bir qishloqda hammasi bo'lib 22 bosh qora mol bor va har bir oilada hech bo'lmasa bir bosh qora mol topiladi. Bu qishloqning hech qaysi oиласида уч бoshdan ko'п qora mol bo'lmasa, qishloqdagi qora mollarning oilalar orasida taqsimlanishining barcha variantlarini aniqlang.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Natural sonlarni natural yoki manfiymas butun qo'shiluvchilar yig'indisi sifatida tasvirlash masalasining mohiyati nimiraniborat?
2. Natural sonlarni natural yoki manfiymas butun qo'shiluvchilar yig'indisi sifatida tasvirlash masalasi qanday shartlarda qaralishi mumkin?
3. Qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olingan holda natural  $n$  sonning  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soni  $B(n, k)$  bilan shu sonning barcha bo'laklanishlari soni  $B(n)$  orasida qanday munosabat bor?
4. Qo'shiluvchilar tartibini e'tiborga olgan holda istalgan  $n$  natural sonning  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari sonini hisoblash formulasini bilasizmi?
5. Qo'shiluvchilar tartibini e'tiborga olgan holda istalgan  $n$  natural sonning barcha bo'laklanishlari sonini qanday hisoblash mumkin?
6. Qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holda natural  $n$  sonning  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soni  $R(n, k)$  bilan, uning barcha bo'laklanishlari soni  $R(n)$  orasida qanday munosabat bor?
7. Ferrers diagrammasi nima?
8. Diagrammalni usul deganda nimani tushunasiz?
9. Normal Ferrers diagrammasi nima?
10. Ikkilanma Ferrers diagrammasi qanday tuziladi?
11. Qo'shma bo'laklash nima?
12. Ixtiyoriy  $n$  natural sonning har xil natural qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soni bilan shu sonning toq qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soni orasida qanday bog'lanish bor?
13. Ixtiyoriy  $n$  natural sonni  $k$  ta natural qo'shiluvchilarga bo'laklashlar soni bilan shu  $n$  sonning eng katta qo'shiluvchisi  $k$  ga teng bo'lgan bo'laklanishlari soni orasidagi bog'lanish qanday ifodalananadi?
14. Ixtiyoriy  $n$  natural sonning hech bir qo'shiluvchisi  $k$  dan oshmaydigan bo'laklanishlari soni bilan ( $n+k$ ) sonining  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlar soni orasida qanday bog'lanish bor?

## 2.7. Hosil qiluvchi funksiyalar

Sonlar ketma-ketligi. Qator. Qatorning yaqinlashishi. Xususiy yig'indi.

Yaqinlashuvchi qatorning yig'indisi. Funksional qator. Darajali qator.

Kombinatorik obyekt. Funksiya. Funksiyaning darajali qatorga yoyilishi. Hosil qiluvchi funksiya. Binomial koeffitsiyent. Nyuton binomi. Fibonachchi sonlari.  
Bine formulasi. Eyler ayniyati.

**2.7.1. Hosil qiluvchi funksiyalarning ta'rifi.** Matematik analiz kursidan hosil qiluvchi funksiyalarning ta'rifi uchun zarur ayrim tushunchalarni keltiramiz. Chekli sonlardan tashkil topgan  $u_1, u_2, \dots, u_n, \dots$  cheksiz ketma-ketlik berilgan bo'lsin.

**1- ta'rif.** Chekli  $u_1, u_2, \dots, u_n, \dots$  sonlar ketma-ketligi yordamida tuzilgan  $u_1 + u_2 + \dots + u_n + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} u_k$  ifoda sonli cheksiz qator yoki, qisqacha, qator deb.  $u_1, u_2, \dots, u_n, \dots$  sonlar esa qatorning hadlari deb ataladi.

**2- ta'rif.**  $s_n = u_1 + u_2 + \dots + u_n$  yig'indiga qatorning xususiy yig'indisi deb ataladi.

**3- ta'rif.** Agar qatorning xususiy yig'indilaridan tuzilgan  $s_1, s_2, \dots, s_n, \dots$  ketma-ketlik chekli limitga ega bo'lsa, u holda qator yaqinlashuvchi va bu limitning qiymati yaqinlashuvchi qator yig'indisi deb ataladi.

**4- ta'rif.** Agar xususiy yig'indilar ketma-ketligi chekli limitga ega bo'lnasa, u holda qator uzoqlashuvchi deb ataladi.

Yuqorida keltirilgan sonli cheksiz qator tushunchasida qatorning  $u_1, u_2, \dots, u_n, \dots$  hadlari sonlar emas, balki qandaydir  $x$  o'zgaruvchiga bog'liq chekli qiymatlar qabul qiluvchi  $u_1(x), u_2(x), \dots, u_n(x), \dots$  funksiyalardan iborat bo'lsa, u holda bu funksiyalarning cheksiz yig'indisini ifodalovchi

$$u_1(x) + u_2(x) + \dots + u_n(x) + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} u_k(x)$$

funksional qator tushunchasiga ega bo'lamiz.

Amaliy masalalarni hal qilishda funksional qatorlar sinfiga tegishli bo'lgan darajali qatorlar muhim ahamiyatga ega.  $a_0 + a_1x + a_2x^2 +$

$+ \dots + a_n x^n + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} a_k x^k$  ko'inishiga ega bo'lgan funksional qator darajali qator deb yuritiladi, bu yerda  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$  berilgan chekli o'zgarmas koeffitsiyentlarni,  $x$  esa qator o'zgaruvchisini ifodalaydi.

Tushunarlik, o'zgaruvchisi nolga teng bo'lgan har qanday darajali qator yaqinlashuvchidir. Odatda darajali qator o'zgaruvchining ba'zi qiymatlarida yaqinlashuvchi, boshqalarida esa uzoqlashuvchi bo'ladi. Ammo, shunday darajali qatorlar borki, ular o'zgaruvchi qanday qiymatga ega bo'lishidan qat'i nazar yaqinlashuvchi yoki o'zgaruvchining noldan boshqa barcha qiymatlarida uzoqlashuvchi bo'ladi.

Agar biror funksiyani darajali qator ko'rinishiga ifodalash mumkin bo'lsa, u holda bu qator funksiyaning darajali qatorga yoyilishi deb yuritiladi.

Kombinatorikada qator tushunchasi kombinatorik obyektlar tufayli vujudga kelgan ketma-ketliklar bilan ishlash uchun kerakli quroq sifatida qo'llaniladi. Masalan, agar bo'laklash masalasi qaralayotgan bo'lsa, bunday sonlar ketma-ketligining elementlari qilib  $n$  natural sonni qo'shiluvchilar yig'indisi sifatida bo'laklashlar soni  $R(n)$  ni olish mumkin.

Agar darajali qator vositasida chekli sonlarning  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$  cheksiz ketma-ketligiga haqiqiy yoki kompleks o'zgaruvchili qandaydir funksiya mos qo'yilishi mumkin bo'lsa, u holda ketma-ketliklar ustida bajariladigan ba'zi amallarni ularga mos funksiyalar ustida bajarish imkoniyati paydo bo'ladi.

**5-ta'rif. Darajali qator yig'indisini ifodalovchi  $f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k$**

funksiya  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi deb ataladi.

Bu yerda  $f(x)$  funksiyani aniqlovchi qatorning yaqinlashuvchi bo'lishi uchun  $x$  o'zgaruvchining haqiqiy yoki kompleks qiymatli bo'lishi muhim ahamiyatga ega emas.

Matematik analiz kursidan ma'lumki, agar  $f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k$  darajali qator  $x=0$  nuqtaning qandaydir atrofida yaqinlashuvchi bo'lsa, u holda  $a_k = \frac{f^{(k)}(0)}{k!}$  ( $k=0,1,2,\dots$ ) formula o'tinli bo'ladi, bu yerda  $f^{(k)}(0)$

ifoda  $f(x)$  funksiyadan olingan  $k$ -tartibli hosilasining  $x=0$  nuqtadagi qiymatidir.

**1- misol.** Hadlari faqat birlardan iborat bo‘lgan  $1, 1, \dots, 1, \dots$  sonlar ketma-ketligining hosil qiluvchi funksiyasi  $f(x) = \frac{1}{1-x}$  ko‘rinishga ega bo‘ladi.

Haqiqatdan ham,  $1, 1, \dots, 1, \dots$  sonlar ketma-ketligiga  $1+x+x^2+\dots+x^n+\dots$  darajali qator mos keladi va bu darajali qatorning hadlari maxraji  $x$  ga teng bo‘lgan  $1, x, x^2, \dots, x^n, \dots$  ko‘rinishdagi geometrik progressiyadan iboratdir. Elementar matematika kursidan ma’lumki, bu progressiya  $|x|<1$  bo‘lganda cheksiz kamayuvchi geometrik progressiya bo‘ladi va uning barcha hadlari yig‘indisi

$$1+x+x^2+\dots+x^n+\dots = \frac{1}{1-x}$$

formula bilan ifodalanadi. ■

**2- misol.** 1- misoldagidek mulohaza yuritib har qanday chekli  $a$  songa mos keluvchi  $1, a, a^2, \dots, a^n, \dots$  sonlar ketma-ketligining hosil qiluvchi funksiyasi  $f(x) = \frac{1}{1-ax}$  ko‘rinishda bo‘lishini aniqlash mumkin. ■

**2.7.2. Hosil qiluvchi funksiyalarning oddiy xossalari.** Hosil qiluvchi funksiyalar bir qator xossalarga ega. Biz quyida shunday xossalardan ba’zilarini oddiy xossalalar sifatida keltiramiz. Ular hosil qiluvchi funksiyalarni tuzish hamda ulardan amaliy masalalarni hal etishda ko‘mak beradi.

**1- xossa.** Agar  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f_a(x)$  va  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f_b(x)$  bo‘lsa, u holda  $a_0 \pm b_0, a_1 \pm b_1, a_2 \pm b_2, \dots, a_n \pm b_n, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f(x) = f_a(x) \pm f_b(x)$  bo‘ladi.

Haqiqatdan ham,  $f_a(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k$  va  $f_b(x) = \sum_{k=0}^{\infty} b_k x^k$  bo‘lgani uchun, darajali qatorlarni hadlab qo‘shib (ayirib),

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} (a_k \pm b_k)x^k = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k \pm \sum_{k=0}^{\infty} b_k x^k = f_a(x) \pm f_b(x)$$

munosabatni hosil qilamiz. ■

**2- x o s s a .** Agar  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f_a(x)$  va  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f_b(x)$  bo'lsa, u holda elementlari  $d_n = \sum_{i=0}^n a_i b_{n-i}$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ )

sonlardan iborat bo'lgan  $d_0, d_1, d_2, \dots, d_n, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f(x) = f_a(x)f_b(x)$  bo'ladi.

Haqiqatdan ham, ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi ta'rifiga ko'ra,  $f_a(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n a_k x^k$ ,  $f_b(x) = \sum_{k=0}^{\infty} b_k x^k = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n b_k x^k$  bo'lgani uchun quyidagi tengliklar ketma-ketligi o'rinnlidir:

$$\begin{aligned} f_a(x)f_b(x) &= \left( \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n a_k x^k \right) \left( \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n b_k x^k \right) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( \sum_{k=0}^n a_k x^k \cdot \sum_{k=0}^n b_k x^k \right) = \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n \left( \sum_{i=0}^k a_i b_{k-i} \right) x^k = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=0}^n d_k x^k = \sum_{k=0}^{\infty} d_k x^k = f(x). \blacksquare \end{aligned}$$

Ayrim ketma-ketliklarning hosil qiluvchi funksiyalarini avvaldan ma'lum bo'lgan hosil qiluvchi funksiyalarga mos darajali qatorni hadlab differensiallash amali yordamida topish mumkin.

**3- m i s o l .** Ushbu  $0, 1, 2, 3, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f(x) = \frac{x}{(1-x)^2}$  bo'ladi.

Haqiqatdan ham, qaralayotgan ketma-ketlikka  $\sum_{k=0}^{\infty} kx^k$  ko'rinishdagi darajali qator mos keladi. Darajali qatorni hadlab differensiallash amalini  $\sum_{k=0}^{\infty} x^k$  qatorga qo'llab va  $|x| < 1$  bo'lgan hol uchun o'rinnli  $\sum_{k=0}^{\infty} x^k = \frac{1}{1-x}$  tenglikni hisobga olib, quyidagi tengliklar ketma-ketligini yozamiz:

$$\sum_{k=0}^{\infty} kx^k = x \sum_{k=0}^{\infty} kx^{k-1} = x \sum_{k=0}^{\infty} \frac{d}{dx}(x^k) = x \frac{d}{dx} \sum_{k=0}^{\infty} x^k = x \frac{d}{dx} \left( \frac{1}{1-x} \right) = \frac{x}{(1-x)^2}.$$

Umuman olganda, hosil qiluvchi funksiyalarni tuzishda darajali qatorni hadlab differensiallash amalidan foydalanish quyidagi xossaga tayanadi.

**3- x o s s a.** Agar  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f_a(x)$  bo'lsa, u holda elementlari  $b_n = (n+1)a_{n+1}$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) sonlardan iborat  $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f_b(x) = \frac{df_a(x)}{dx}$  bo'ladi.

Haqiqatdan ham, hosil qiluvchi funksiyaning ta'rifidan va darajali qatorni hadlab differensiallash haqidagi xossaga ko'ra

$$f_b(x) = \sum_{k=0}^{\infty} b_k x^k = \sum_{k=0}^{\infty} (k+1)a_{k+1} x^k = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{d}{dx}(a_{k+1} x^{k+1}) = \sum_{s=1}^{\infty} \frac{d}{dx}(a_s x^s)$$

tengliklar o'rinnlidir.  $a_0$  o'zgarmasning hosilasi nolga teng ekanligini e'tiborga olib

$$f_b(x) = \sum_{s=1}^{\infty} \frac{d}{dx}(a_s x^s) = \frac{da_0}{dx} + \sum_{s=1}^{\infty} \frac{d}{dx}(a_s x^s) = \frac{d}{dx} \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^k = \frac{df_a(x)}{dx}$$

munosabatni hosil qilamiz. ■

**4- m i s o l.**  $1, 2, 3, 4, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasini topish talab etilsin.

Hosil qiluvchi funksiya ta'rifiga ko'ra izlanayotgan funksiya  $\sum_{k=0}^{\infty} (1+k)x^k$  darajali qatorning yig'indisidan iborat. 1- xossaga ko'ra qaralayotgan ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $1, 1, \dots, 1, \dots$  va  $0, 1, 2, 3, \dots$  ketma-ketliklarning hosil qiluvchi funksiyalarini yig'indisidan iborat. 1- va 3- misollar natijalaridan foydalanib, quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$\sum_{k=0}^{\infty} (1+k)x^k = \sum_{k=0}^{\infty} x^k + \sum_{k=0}^{\infty} kx^k = \frac{1}{1-x} + \frac{x}{(1-x)^2} = \frac{1-x+x}{(1-x)^2} = \frac{1}{(1-x)^2}.$$

Demak,  $1, 2, 3, 4, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi  $f(x) = \frac{1}{(1-x)^2}$  bo‘ladi.

**2.7.3. Hosil qiluvchi funksiyalarning kombinatorikaga tatbiqi.** Hosil qiluvchi funksiyaning ta’rifi va xossalardan ko‘rinadiki, ketma-ketliklar bilan bog‘liq bo‘lgan xilma-xil masalalarni o‘rganish va ularni hal qilishda bu funksiyalardan foydalanish mumkin. Bu o‘rinda, ayniqsa, kombinatorik amallar bilan bog‘liq ketma-ketliklarning hosil qiluvchi funksiyalari alohida qiziqish o‘yg‘otishini ta’kidlaymiz. Hosil qiluvchi funksiyalarning kombinatorikaga tatbiqini ko‘rsatish maqsadida, avvalo, quyidagi misolni qaraymiz.

**5- misol.** Berilgan chekli, butun va manfiymas  $s$  son uchun hadlari

$$a_n = \begin{cases} C_s^n, & 0 \leq n \leq s, \\ 0, & s < n, \end{cases} \text{ formula asosida aniqlangan } a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$$

sonlar ketma-ketligi berilgan bo‘lsin, bu yerda  $C_s^n = \frac{s!}{n!(s-n)!}$  – binomial koeffitsiyentlar. Bu sonlar ketma-ketligining hosil qiluvchi funksiyasini topish talab etilsin.

Nyuton binomi formulasiga ko‘ra

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n x^n = \sum_{n=0}^s C_s^n x^n = (1+x)^s$$

munosabat o‘rinli bo‘ladi.

Demak, berilgan butun  $s \geq 0$  son uchun  $C_s^0, C_s^1, C_s^2, \dots, C_s^s, 0, 0, \dots, 0, \dots$  ko‘rinishdagi sonlar ketma-ketligining hosil qiluvchi funksiyasi  $f(x) = (1+x)^s$  ko‘rinishga egadir. ■

Yuqorida, aniqrog‘i, ushbu bobning 3- paragrafida binomial koeffitsiyentlarning xossalari ko‘rilgan edi. Quyidagi teorema ularning xossalardan yana birini ifodalaydi.

**1-teorema.** *Ixtiyoriy natural  $m, n$  va  $k \leq m+n$  sonlar uchun quyidagi tenglik o‘rinlidir:*  $\sum_{i=\max(0, k-m)}^{\min(k, n)} C_n^i C_m^{k-i} = C_{n+m}^k.$

**I s b o t i.** Elementlari mos ravishda quyidagi tengliklar bilan aniqlangan  $a_0, a_1, a_2, \dots$  va  $b_0, b_1, b_2, \dots$  ketma-ketliklarni qaraymiz:

$$a_i = \begin{cases} C_n^i, & 0 \leq i \leq n, \\ 0, & i > n, \end{cases} \quad b_i = \begin{cases} C_m^i, & 0 \leq i \leq m, \\ 0, & i > m. \end{cases}$$

5- misolni hisobga olsak, bu ketma-ketliklarni hosil qiluvchi funksiyalari mos ravishda  $f_a(x) = (1+x)^n$  va  $f_b(x) = (1+x)^m$  ko'rinishda bo'ladi. Hosil qiluvchi funksiyalarning 2- xossasiga ko'ra  $f_a(x)f_b(x) = \sum_{s=0}^{\infty} d_s x^s$  bo'ladi, bunda  $d_s = \sum_{i=0}^s a_i b_{s-i}$  ( $s = 0, 1, 2, \dots$ ).

Ushbu  $k \leq m+n$  shartni qanoatlantiruvchi ixtiyoriy  $k$  natural sonni olamiz. Qaralayotgan  $a_0, a_1, a_2, \dots$  va  $b_0, b_1, b_2, \dots$  ketma-ketliklarning aniqlanishiga ko'ra  $i > n$  shart bajarilganda  $a_i = 0$  va  $k-i > m$  shart bajarilganda esa  $b_{k-i} = 0$  bo'lgani uchun

$$d_k = \sum_{i=0}^k a_i b_{k-i} = \sum_{i=\max(0, k-m)}^{\min(k, n)} a_i b_{k-i} = \sum_{i=\max(0, k-m)}^{\min(k, n)} C_n^i C_m^{k-i}$$

munosabat o'rinnlidir.

Boshqa tomondan olib qaraganda,

$$f_a(x)f_b(x) = (1+x)^n(1+x)^m = (1+x)^{n+m} = \sum_{i=0}^{n+m} C_{n+m}^i x^i.$$

Agar  $\gamma_i = \begin{cases} C_{n+m}^i, & 0 \leq i \leq n+m, \\ 0, & i > n+m, \end{cases}$  deb olsak, u holda yuqorida hosil

qilingan  $f_a(x)f_b(x) = \sum_{i=0}^{n+m} C_{n+m}^i x^i$  tenglikni  $f_a(x)f_b(x) = \sum_{i=0}^{\infty} \gamma_i x^i$  ko'rinishda yozish mumkin. Bu, o'z navbatida,  $f_a(x)f_b(x)$  funksiya  $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi ekanligini ko'rsatadi.

Hosil qiluvchi funksiyalarning 2- xossasiga ko'ra  $f_a(x)f_b(x)$  funksiya hadlari  $k \leq n+m$  bo'lganda  $d_k = \sum_{i=\max(0, k-m)}^{\min(k, n)} C_n^i C_m^{k-i}$  tenglik bilan,

$k > n + m$  bo'lganda esa nollardan iborat ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi ekanligi yuqorida ko'rsatilgan edi.

$$\text{Shunday qilib, } \sum_{k=0}^{n+m} C_{n+m}^k x^k = \sum_{k=0}^{n+m} \sum_{s=\max(0, k-m)}^{\min(k, n)} C_n^s C_m^{k-s} x^k. \text{ Bu tenglik } x$$

o'zgaruvchining barcha qiymatlarida to'g'ri bo'l-ganligidan, isbotlanishi kerak bo'lgan tenglikni hosil qilamiz. ■

Fibonachchi qatoridagi birinchi haddan oldin  $u_0 = 0$  sonni qo'yib<sup>1</sup>,  $u_0 = 0$ ,  $u_1 = 1$ ,  $u_n = u_{n-2} + u_{n-1}$ ,  $n \geq 2$ , ketma-ketlikning (umumlashgan Fibonachchi sonlari ketma-ketligining)  $u(x)$  hosil qiluvchi funksiyani topamiz.

Buning uchun, dastlab, quyidagi tengliklar ketma-ketligini yozamiz:

$$\begin{aligned} u(x) &= \sum_{k=0}^{\infty} u_k x^k = x + \sum_{k=2}^{\infty} u_k x^k = x + \sum_{k=2}^{\infty} (u_{k-2} + u_{k-1}) x^k = \\ &= x + \sum_{k=2}^{\infty} u_{k-2} x^k + \sum_{k=2}^{\infty} u_{k-1} x^k = x + x^2 \sum_{s=0}^{\infty} u_s x^s + x \sum_{p=0}^{\infty} u_p x^p = \\ &= x + x^2 u(x) + x u(x). \end{aligned}$$

Endi hosil bo'lgan  $u(x) = x + x^2 u(x) + x u(x)$  tenglikni  $u(x)$  funksiyaga nisbatan tenglama deb qarab,  $u_0 = 0$ ,  $u_1 = 1$ ,  $u_n = u_{n-2} + u_{n-1}$ ,

$n \geq 2$ , ketma-ketlikning  $u(x) = \frac{x}{1-x-x^2}$  hosil qiluvchi funksiyaga ega bo'lamic.

II bobning 5- paragrafida isbotlangan (Fibonachchi sonlarini hisoblashga mo'ljallangan) Bine formulasini  $n = 0, 1, 2, \dots$  hol uchun umumlashgan Fibonachchi sonlari ketma-ketligining hosil qiluvchi funksiyasidan foydalanim yana bir marta isbotlaymiz.

**2- teorema.** *Fibonachchi soni  $u_n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) uchun*

$$u_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right] \text{ tenglik o'rinnlidir.}$$

<sup>1</sup> Fibonachchi qatorini chap tomonga ham istalgancha davom ettirish mumkin. Tabiiyki, bunday ish ko'rliganda, har qadamda hosil bo'lgan ketma-ketlik qandaydir bir umumlashgan Fibonachchi qatori bo'laveradi.

**I s b o t i.** Avvalo, noma'lum koeffitsiyentlar usulini qo'llab va  $u(x) = \frac{x}{1-x-x^2}$  funksiyaning kasr ko'rinishda ekanligini e'tiborga olib, uni ikkita kasr yig'indisi qilib tasvirlaymiz. Bu ishni amalga oshirish uchun, oldin,  $1-x-x^2=0$  kvadrat tenglamaning  $x_1$  va  $x_2$  ildizlarini topamiz:  $x_1 = \frac{-1-\sqrt{5}}{2}$ ,  $x_2 = \frac{-1+\sqrt{5}}{2}$ .

Agar  $\alpha = -x_1 = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$  va  $\beta = -x_2 = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$  deb belgilasak, u holda  $\alpha + \beta = 1$  va  $\alpha\beta = -1$  bo'lishi ravshandir. Endi  $1-x-x^2$  kvadrat uchhadni ko'paytuvchilarga ajratamiz:

$$1-x-x^2 = -(x+\alpha)(x+\beta) = \alpha\beta(x+\alpha)(x+\beta) = \\ = (\beta x + \alpha\beta)(\alpha x + \alpha\beta) = (\beta x - 1)(\alpha x - 1) = (1-\alpha x)(1-\beta x).$$

$$\text{Shunday qilib, } u(x) = \frac{x}{(1-\alpha x)(1-\beta x)} = \frac{A}{1-\alpha x} + \frac{B}{1-\beta x},$$

bu yerda  $A$  va  $B$  noma'lum koeffitsiyentlardir. Kasrlarni qo'shish amalini bajarib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{x}{1-x-x^2} = \frac{A+B-(A\beta+B\alpha)x}{(1-\alpha x)(1-\beta x)}.$$

Bu yerdan  $1-x-x^2$  kvadrat uchhadning noldan farqli barcha qiymatlarida  $x = A+B-(A\beta+B\alpha)x$  bo'lishi kelib chiqadi. Oxirgi tenglikning chap va o'ng tomonlaridagi  $x$  o'zgaruvchining mos darajalari koeffitsiyentlarini tenglashtirsak,  $A$  va  $B$  noma'lumlarga nisbatan quyidagi tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$\begin{cases} A+B=0, \\ A\beta+B\alpha=-1. \end{cases}$$

Bu sistemani yechib,  $A = \frac{1}{\alpha-\beta} = \frac{1}{\sqrt{5}}$  va  $B = \frac{1}{\beta-\alpha} = -\frac{1}{\sqrt{5}}$  ekanligini topamiz.

Demak,  $u(x) = \frac{x}{1-x-x^2} = \frac{\frac{1}{\sqrt{5}}}{1-\alpha x} + \frac{-\frac{1}{\sqrt{5}}}{1-\beta x} = \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \frac{1}{1-\alpha x} - \frac{1}{1-\beta x} \right)$ .

2- misol asosida

$$u(x) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \frac{1}{1-\alpha x} - \frac{1}{1-\beta x} \right) = \frac{1}{\sqrt{5}} \left( \sum_{n=0}^{\infty} (\alpha x)^n - \sum_{n=0}^{\infty} (\beta x)^n \right) = \\ = \frac{1}{\sqrt{5}} \sum_{n=0}^{\infty} (\alpha^n - \beta^n) x^n = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right] x^n$$

munosabatga ega bo'lamiz. Endi  $u(x) = \sum_{n=0}^{\infty} u_n x^n$  ekanligini eslasak,  $u_0 = 0$  va  $u_1 = 1$  shartlar bilan aniqlanuvchi  $u_n$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ , umumlashgan Fibonachchi sonlari uchun Bine formulasi o'rinali bo'lishi tasdiqlanadi. ■

Endi qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holda natural  $n$  sonning natural qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari sonlaridan tashkil topgan<sup>1</sup>  $R(0), R(1), R(2), R(3), \dots, R(n), \dots$  ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasi hisoblangan

$$r(x) = \sum_{n=0}^{\infty} R(n) x^n = 1 + x + 2x^2 + 3x^3 + 5x^4 + 7x^5 + 12x^6 + \dots$$

darajali qatorni qaraymiz.

L. Eyler  $(1-x)(1-x^2)(1-x^3)\dots(1-x^n)$  ko'rinishdagi ko'paytmalarni natural  $n$  uchun tekshirib, 1748-yilda

$$\varphi(x) = \prod_{n=1}^{\infty} (1-x^n) = 1 + \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^m \left( x^{\frac{3m^2-m}{2}} + x^{\frac{3m^2+m}{2}} \right)$$

formulani isbotlagan edi. Bu formula Euler ayniyati deb yuritiladi.

**3-teorema.**  $\varphi(x)r(x) = 1$ .

**I sboti.**  $1 + x + x^2 + \dots + x^n + \dots = \frac{1}{1-x}$  tenglikdan foydalanimisolga qarang)

$$\frac{1}{\varphi(x)} = \frac{1}{1-x} \cdot \frac{1}{1-x^2} \cdot \dots \cdot \frac{1}{1-x^k} \cdot \dots = (1 + x + x^2 + x^3 + \dots)$$

<sup>1</sup> Bu yerda yozuvning ixchamligi nuqtai nazaridan (0 natural sonlar to'plamiga tegishli bo'lmasada, ya'ni  $R(0)$  yozuv ma'noga ega bo'lmasada)  $R(0) = 1$  deb qabul qilindi.

$$(1+x^2+x^4+x^6+\dots) \times \dots \times (1+x^k+x^{2k}+x^{3k}+\dots) \dots$$

munosobatga ega bo'lamiz. Oxirgi ko'paytmadagi qavslarni ochganda mumkin bo'lgan barcha  $x^{a_1}x^{2a_2}\dots x^{ka_k} = x^{a_1+2a_2+\dots+ka_k}$  ko'rinishdagi ifodalar yig'indisi hosil bo'ladi, bu yerda  $a_1, a_2, \dots, a_k$  – butun manfiymas sonlar. Shuning uchun,  $n$  sonni  $a_1+2a_2+\dots+ka_k$  ko'rinishda ifodalash imkoniyatlari soni qancha bo'lsa o'shancha marta bu yig'indida  $x^n$  qatnashadi.

$$a_1+2a_2+\dots+ka_k = \underbrace{1}_{a_1 \text{ marta}} + \dots + \underbrace{1}_{a_2 \text{ marta}} + \underbrace{2}_{a_3 \text{ marta}} + \dots + \underbrace{2}_{a_4 \text{ marta}} + \dots + \underbrace{k}_{a_k \text{ marta}} + \dots + k$$

yozuvdan ko'rinish turibdiki,  $n$  sonni  $a_1+2a_2+\dots+ka_k$  ko'rinishda ifodalash imkoniyatlari soni shu sonning qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holda barcha bo'laklanishlari soniga, ya'ni  $R(n)$  ga tengdir. Bu

tasdiq  $\frac{1}{\varphi(x)} = r(x)$  tenglikning to'g'riligini isbotlaydi. ■

Eyler ayniyatini e'tiborga olgan holda  $\varphi(x)r(x)=1$  tenglikni

$$(1-x-x^2+x^5+x^7-x^{12}-x^{15}+\dots) \times$$

$$\times (R(0)+R(1)x+R(2)x^2+R(3)x^3+\dots+R(n)x^n+\dots) = 1$$

ko'rinishda yozamiz. Bu tenglikning chap tomonidagi qavslarni ochib va  $x, x^2, x^3, \dots, x^n$  ifodalarning koeffitsiyentlarini nolga tenglashtirib quyidagilarga ega bo'lamiz:

$$R(1)-R(0)=0, \quad R(2)-R(1)-R(0)=0, \quad R(3)-R(2)-R(1)=0,$$

$$R(n)-R(n-1)-R(n-2)+R(n-5)+R(n-7)+\dots$$

$$\dots + (-1)^m R\left(n - \frac{3m^2 - m}{2}\right) + (-1)^m R\left(n - \frac{3m^2 + m}{2}\right) + \dots = 0,$$

bu yerda barcha  $s < 0$  uchun  $R(s)=0$ .

Demak, qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holda natural  $n$  sonning natural qo'shiluvchilarga barcha bo'laklanishlari soni  $R(n)$  uchun

$$R(n)=R(n-1)+R(n-2)-R(n-5)-R(n-7)+\dots$$

$$\dots + (-1)^{m+1} R\left(n - \frac{3m^2 - m}{2}\right) + (-1)^{m+1} R\left(n - \frac{3m^2 + m}{2}\right) + \dots$$

formulaga ega bo'ldik. Topilgan formula yordamida  $R(1)=1$ ,  $R(2)=2$ ,  $R(3)=3$ ,  $R(4)=5$ ,  $R(5)=7$ ,  $R(6)=11$ ,  $R(7)=15$ ,  $R(8)=22$  bo'lishini osongina hisoblab, bu formulani qo'llash natural  $n$  sonning barcha bo'laklanishlari soni uchun ushbu bobning 6- paragrafida keltirilgan  $R(n) = \sum_{k=1}^n R(n,k)$  formulani qo'llash bilan taqqoslanganda, hisoblash ishlarining keskin kamayganiga guvoh bo'lamiz.

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Quyidagi ketma-ketliklarning hosil qiluvchi funksiyalarini toping:

- a)  $1 \cdot 2, 2 \cdot 3, 3 \cdot 4, \dots$ ; b)  $1^2, 2^2, 3^2, 4^2, \dots$ ; d)  $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}, \dots$ ;  
 e)  $1, 0, 1, 0, 1, 0, \dots$ ; f)  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \dots$ ; g)  $1, 0, -\frac{1}{3!}, 0, \frac{1}{5!}, \dots$

2. Har qanday chekli  $a$  songa mos keluvchi  $1, a, a^2, \dots, a^n, \dots$  va  $1, 1, \dots, 1, \dots$  ketma-ketliklarni hosil qiluvchi funksiyalardan foydalanib  $0, a-1, a^2-1, \dots, a^n-1, \dots$  ketma-ketlikni hosil qiluvchi funksiyasini toping.

3.  $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots$  ketma-ketlikni hosil qiluvchi funksiyasi  $f(x)$  bo'lsin. Quyidagi ketma-ketliklarning hosil qiluvchi funksiyalarini aniqlang:

- a)  $a_0 + a_1, a_1 + a_2, a_2 + a_3, \dots$ ; b)  $a_0, a_0 + a_1, a_0 + a_1 + a_2, \dots$ ;  
 d)  $a_0, a_2, a_4, a_6, \dots$ ; e)  $a_0, a_1 b, a_2 b^2, a_3 b^3, \dots$ ,  $b$  – ixtiyoriy chekli son.

4. Hosil qiluvchi funksiyalarning oddiy xossalarni qo'llab bir necha sonlar ketma-ketliklarning hosil qiluvchi funksiyalarini toping.

5. Quyidagi rekurrent formulalar bilan berilgan ketma-ketliklarning hosil qiluvchi funksiyalarini va ketma-ketliklar elementlarining aniq ifodalarini toping:

- a)  $a_{n+2} = 4a_{n+1} - 4a_n$ ,  $a_0 = a_1 = 1$ ;  
 b)  $a_{n+3} = -3a_{n+2} - 3a_{n+1} - a_n$ ,  $a_0 = 1$ ,  $a_1 = a_2 = 0$ ;

$$\text{d)} \quad a_{n+3} = -\frac{3}{2}a_{n+2} - \frac{1}{2}a_n, \quad a_0 = 0, \quad a_1 = 1, \quad a_2 = 2.$$

6. Bine formulasidan foydalanib Fibonachchi qatoridagi o'n ikkinchi elementni aniqlang.

7. Fibonachchi sonlarining ushbu bobning 5- paragrafida keltirilgan 1-, 2-, 3- va 5- xossalarini  $u_0 = 0, u_1 = 1, u_n = u_{n-2} + u_{n-1}$  ( $n \geq 2$ ) ketma-ketlikining hosil qiluvchi funksiyasidan foydalangan holda isbotlang.

8. Isbotlang: a)  $R(20) = 627$ ; b)  $R(21) = 792$ ; d)  $R(22) = 1002$ .

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Sonli cheksiz qator deganda nimani tushunasiz?
2. Qatorning xususiy yig'indisi qanday tuziladi?
3. Qanday qator yaqinlashuvchi deb ataladi?
4. Qator uzoqlashuvchi bo'lishi uchun qanday shart bajarilishi kerak?
5. Funksional qator sonli qatordan nima bilan farq qiladi?
6. Darajali qator qanday ko'rinishga ega?
7. Ketma-ketlikni hosil qiluvchi funksiyasi deganda nimani tushunasiz?
8. Hosil qiluvchi funksiyalarning xossalaridan qaysilarni bilasiz?
9. Berilgan chekli va butun  $s \geq 0$  son uchun  $C_s^0, C_s^1, C_s^2, \dots, C_s^s, 0, 0, \dots, 0, \dots$  ko'rinishdagi sonlar ketma-ketligining hosil qiluvchi funksiyasi qanday ko'rinishga ega?
10. Hosil qiluvchi funksiyalarning xossalaridan foydalanib binomial koeffitsiyentlarning xossalarini o'rghanish mumkinmi?
11. Fibonachchi qatoriga mos ketma-ketlikning hosil qiluvchi funksiyasini topa olasizmi?
12. Fibonachchi sonlarini hisoblashga mo'ljallangan Bine formulasini Fibonachchi sonlari ketma-ketligining hosil qiluvchi funksiyasidan foydalanib isbotlash mumkinmi?
13. Eyler ayniyati qaysi formula bilan ifodalanadi?
14. Qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holda natural  $n$  sonning natural qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari sonini hisoblashning qanday formulalarini bilasiz?

### ***III BOB*** **MULOHAZALAR ALGEBRASI**

Mulohazalar va ular ustida mantiqiy amallar, formulalar, teng kuchli formulalar, aynan chin, aynan yolg'on va bajariluvchi formulalar, teng kuchli formulalarga doir teoremlar, formulalarning normal shakllari, mulohazalar algebrasi funksiyalari, Bul algebrasi, mulohazalar algebrasidagi ikki taraflama qonun va arifmetik amallar, Jegalkin ko'phadi, monoton funksiyalar, funksional yopiq sinflar va Post teoremasi haqidagi ma'lumotlar ushbu bobdan joy olgan.

#### **3.1. Mulohaza. Mulohazalar ustida amallar**

*Mulohaza. Absolyut chin, absolyut yolg'on mulohazalar. Qiymatlar satri. Inkor, kon'yunksiya, diz'yunksiya, ekvivalensiya va implikatsiya mantiqiy amallari. Chinlik jadvali. Sheffer shtrixi. Pirs strelkasi.*

Matematik mantiqning mulohazalar algebrasi deb atalgan ushbu bo'limida asosiy tekshirish obyektlari bo'lib gaplar xizmat qiladi. Mulohazalar algebrasida ma'nosiga ko'ra chin (rost, haqqoniy, to'g'ri) yoki yolg'on (noto'g'ri) bo'lishi mumkin bo'lgan gaplar bilangina shug'ullaniladi. Mulohazalar algebrasi mantiq algebrasi deb ham yuritiladi.

1- misol. "Toshkent – O'zbekistonning poytaxti.", "Oy yer atrofida aylanadi." va "Agar fuqaro oliy ta'lim muassasalaridan birini muvafqaqiyatli tamomlasa, u holda unga oliy ma'lumotiligin tasdiqlovch diplom beriladi" degan gaplarning har biri chin, ammo "Yer oydan kichik.", "3 > 5 ." va "Ot, qo'y, echki, it va mushuk uy hayvonlari emas." degan gaplarning har biri esa yolg'ondir. ■

Shuni ham ta'kidlash kerakki, ko'pchilik gaplarning chin yoki yolg'onligini darhol aniqlash qiyin. Masalan, "Bugungi tun kechagidan qorong'iroyq." degan gap qaysi holda, qachon va qaysi joyda ayttilishiga (tasdiqlanishiga) qarab chin ham, yolg'on ham bo'lishi mumkin.

Albatta, chin yoki yolg'onligini aniqlash imkoniyati bo'lmagan gaplar ham bor. Masalan, "Oldimga kel!", "Uyda bo'ldingmi?", "Yangi yil bilan tabriklayman!", "Agar oldin bilganimda..." degan gaplar shunday gaplar jumlasira kiradi.

Bundan keyin, chin qiymatni, qisqacha, ch, yolg'on qiymatni esa, yo bilan belgilaymiz. Yozuvni ixchamlashtirish maqsadida chin qiymat 1, yolg'on qiymat esa, 0 bilan ham belgilanishi mumkin. Bunday belgilash

mantiqiy qiymatni sonli qiymat bilan, aniqrog'i, sonning ikkilik sanoq sistemasidagi ifodalanishi bilan aloqasini o'rnatishda yordam beradi.

**1-ta'rif.** *Ma'nosiga ko'ra faqat chin yoki yolg'on qiymat qabul qila oladigan darak gap mulohaza deb ataladi.*

Bu ta'rifga ko'ra har bir mulohaza muayyan holatda chin yoki yolg'on bo'lishi mumkin. Mulohazalarni belgilash uchun, asosan, lotin alifbosining kichik harflari (ba'zan indekslari bilan) ishlataladi:

$$a, b, c, \dots, u, v, \dots, x, y, z.$$

Shunday mulohazalar borki, ular mumkin bo'lgan barcha hollarda (vaziyatlarda) ch (yoki yo) qiymat qabul qiladi. Bunday mulohazalar absolut chin (yolg'on) mulohazalar deb ataladi.

Mulohazalar algebrasida, odatda, muayyan o'zgarmas mulohazalar (ch, yo) bilangina emas, balki istalgan mulohazalar bilan ham shug'ullaniladi. Bu esa o'zgaruvchi mulohaza tushunchasiga olib keladi. Agar berilgan mulohazani  $x$  deb belgilasak, u holda  $x$  ch yoki yo qiymat qabul qiladigan o'zgaruvchi mulohazani ifodalaydi.

Faqat bitta tasdiqni ifodalovchi mulohazani **elementar** (oddiy) mulohaza deb hisoblaymiz. Elementar mulohazalar qatoriga ch, yo o'zgarmas mulohazalar ham kiradi. O'zbek tilidagi "emas", "yoki", "va", "agar ... bo'lsa, u holda ... bo'ladi", "shunda va faqat shundagina ...., qachonki ...." so'zlar (bog'lovchilar, so'zlar majmuasi) vositasida mulohazalar ustidagi (orasidagi) **mantiqiy amallar** deb yuritiluvchi amallar ifodalanishi mumkin. Bu amallar yordamida elementar mulohazalardan **murakkab** mulohaza tuziladi (quriladi, yasaladi). 1- misolda bayon etilgan 1-, 2-, 4- va 5- mulohazalar elementar mulohazalarga, 3- va 6- mulohazalar esa murakkab mulohazalarga misol bo'la oladi.

Mulohazalar ustidagi mantiqiy amallar matematik mantiqning elementar qismi hisoblangan mulohazalar **mantiqi**, ya'ni mulohazalar algebrasi qismida o'rganiladi. Har ikkala atama ("mulohazalar mantiqi" va "mulohazalar algebrasi") sinonim sifatida ishlataladi; chunki ular mantiqning muayyan qismini ikki nuqtai nazardan ifodalaydi: u ham mantiqidir (o'z predmetiga ko'ra), ham algebradir (o'z usuliga ko'ra). Mulohazalar algebrasidagi mantiqiy amallar o'ziga xos xususiyatlarga ega, chunki ularning tarkibiga kiruvchi mulohaza(lar) faqat ikki (ch, yo) qiymatdan birini qabul qilishi mumkin.

Mantiqiy amallarni o'rganishdan oldin bu amallarda qatnashuvchi o'zgaruvchilar qiymatlari kombinatsiyalari bilan tanishamiz. Berilgan bitta o'zgaruvchi elementar mulohaza uchun ikkita ( $C_1^0 + C_1^1 = 2^1 = 2$ ) mumkin bo'lgan bir-biridan farqli **qiymatlar satrlari** bor:

yo,

ch,

Berilgan ikkita o‘zgaruvchi elementar mulohazalar uchun barcha mumkin bo‘lgan bir-biridan farqli qiymatlar satrlari kombinatsiyalari to‘rtta ( $C_2^0 + C_2^1 + C_2^2 = 2^2 = 4$ ):

yo,yo,

yo,ch,

ch,yo,

ch,ch

O‘zgaruvchi elementar mulohazalar soni 3, 4 va hokazo bo‘lgan holdarda ham yuqoridagidek mumkin bo‘lgan qiymatlar satrlari kombinatsiyalarini yozish mumkin. Umuman olganda, berilgan  $n$  ta o‘zgaruvchi elementar mulohazalar uchun barcha mumkin bo‘lgan bir-biridan farqli qiymatlar satrlari kombinatsiyalari soni  $C_n^0 + C_n^1 + C_n^2 + \dots + C_n^n = 2^n$  bo‘lishini osonlik bilan isbotlash mumkin (II bobdag‘i 3- paragrafga qarang). Agar biror amal tarkibiga kiruvchi operandlar (parametrlar, o‘zgaruvchi va hokazo) soni birga teng bo‘lsa, u holda bunday amal unar amal deb, operandlar soni ikkiga teng bo‘lganda esa, binar amal deb yuritiladi<sup>1</sup>.

yo,yo, yo, ...,yo,yo,

yo,yo, yo, ...,yo,ch,

yo,yo, yo, ...,ch,yo,

yo,yo, yo, ...,ch,ch,

.....

ch,yo, yo, ...,yo,yo,

.....

ch,ch, ch, ...,ch,ch,

Matematik mantiqning ko‘pchilik bo‘limlарida chinlik jadvali deb ataluvchi jadvallardan foydalanish qulay hisoblanadi. Quyida unar va binar mantiqiy amallarning chinlik jadvallari keltiriladi. Berilgan bitta  $x$  o‘zgaruvchi elementar mulohaza uchun bir-biridan farqli qiymatlar satrlari ikkita bo‘lgani sababli jami  $2^2 = 2^2 = 4$  ta<sup>2</sup> turli unar mantiqiy amallar bor. Barcha unar mantiqiy amallar ( $u_i = u_i(x)$ ,  $i = 0, 3$ ) natijalari 1- jadvalda (chinlik jadvalida) keltirilgan.

<sup>1</sup> Amallarni tarkibiga kiruvchi operandlar soniga ko‘ra bunday nomlashni davom ettirish mumkin. Masalan, tarkibidagi operandlari soni 3ga teng amal ternar amal deb ataladi.

<sup>2</sup> Darajaga ko‘tarish amallari yuqorida pastga qarab ketma-ket bajariladi.

I-jadval

## Unar mantiqiy amallar

$x$	$u_0$	$u_1$	$u_2$	$u_3$
0	0	0	1	1
1	0	1	0	1

Berilgan ikkita  $x$  va  $y$  o'zgaruvchi elementar mulohazalar uchun jami to'rtta bir-biridan farqli qiymatlar satrlari kombinatsiyalari tuzish mumkin bo'lgani sababli barcha turli binar mantiqiy amallar soni  $2^2 = 2^4 = 16$  ga teng. Mumkin bo'lgan barcha turli binar mantiqiy amallar ( $b_i = b_i(x, y)$ ,  $i = 0, 15$ ) natijalari 2-jadvalda (chinlik jadvalida) keltirilgan.

Mantiqiy amallarni yuqoridagi usul bilan o'rganishni davom ettirib, berilgan uchta  $x$ ,  $y$ ,  $z$  o'zgaruvchi elementar mulohazalar uchun hammasi bo'lib sakkizta ( $2^3 = 8$ ) bir-biridan farqli qiymatlar satrlari kombinatsiyalari tuzish mumkinligini va, shu sababli, turli  $2^2 = 2^8 = 256$  ta ternar mantiqiy amallar borligini ta'kidlaymiz. Tarkibidagi o'zgaruvchi elementar mulohazalari to'rtta bo'lgan turli mantiqiy amallar esa  $2^4 = 2^{16} = 65536$  ta.

Asosiy mantiqiy amallar beshta bo'lib, ulardan biri unar, to'rttasi esa binar amaldir. Ular quyida bayon etilgan.

2-jadval

## Binar mantiqiy amallar

$x$	$y$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
$x$	$y$	$b_8$	$b_9$	$b_{10}$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$	$b_{15}$
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	0	1	0	1

3.1.1. Inkor amali. Inkor amali mulohazalar mantiqining eng sodda amallaridan biri bo'lib, u unar amaldir, ya'ni inkor amali bitta elementar mulohazaga nisbatan qo'llaniladi.

**2- ta'rif.** Berilgan  $x$  elementar mulohaza chin bo'lganda yo qiyomat qabul qiluvchi va, aksincha,  $x$  yolg'on bo'lganda ch qiyomat qabul qiluvchi murakkab mulohaza  $x$  mulohazaning inkori deb ataladi.

"Berilgan mulohazaning inkori unga inkor amalini qo'llab hosil qilindi" deb aytish mumkin. Inkor amali 1-jadvalda ifodalangan  $u_2$  amalidan iborat bo'lub, unga o'zbek tilidagi "emas" sifatdoshi mos keladi. Berilgan  $x$  mulohazaning inkori  $\bar{x}$  kabi belgilanadi.  $\bar{x}$  mulohaza " $x$  emas" deb o'qiladi. Inkor amalini belgilashda " $\neg$ " belgi ham qo'llanilishi mumkin. Bu holda  $x$  mulohazaning inkori  $\neg x$  shaklda yoziladi.  $x$  mulohazaning  $\bar{x}$  inkori uchun chinlik jadvali 3-jadval bo'ladi (1-jadvalning  $x$  va  $u_2$  ustunlariga qarang). 3-jadvalni inkor amalining ekvivalent ta'rifi sifatida ham qabul qilish mumkin.

**2- misol.** "Bugun havo sovuq." degan elementar mulohaza  $x$  bilan belgilangan bo'lsa, uning inkori  $\bar{x}$  "Bugun havo sovuq emas." ko'rinishdagi murakkab mulohazadan iboratdir. ■

3-jadval

$x$	$\bar{x}$
yo	ch
ch	yo

**3.1.2. Kon'yunksiya<sup>1</sup>** (mantiqiy ko'paytma<sup>2</sup>) amali. Endi ikkita mulohazaga nisbatan qo'llanilishi mumkin bo'lgan binar amallardan biri hisoblangan kon'yunksiya (mantiqiy ko'paytma) amalini o'rganamiz.

**3- ta'rif.** Berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazalar chin bo'l-gandagina ch qiyomat qabul qilib, qolgan hollarda esa, yo qiyomat qabul qiluvchi murakkab mulohaza  $x$  va  $y$  mulohazalarning kon'yunksiyasi deb ataladi.

"Berilgan mulohazalarning kon'yunksiyasi bu mulohazalarga kon'yunksiya amalini qo'llab hosil qilindi" deb aytish mumkin. Kon'yunksiya amali 2-jadvalda ifodalangan  $b_1$  amali bo'lub, unga o'zbek tilidagi "va" bog'lovchisi mos keladi. Berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazalar ustida bajariladigan kon'yunksiya (mantiqiy ko'paytma) amalini belgilashda " $\wedge$ " yoki "&" belgi qo'llaniladi, ya'ni bu amal natijasida hosil bo'lgan murakkab mulohaza  $x \wedge y$  (yoki  $x \& y$ ) ko'rinishda belgilanadi. Mantiqiy ko'paytma amalini ifodalovchi " $\wedge$ " yoki "&" belgi ba'zan yozilmasligi (masalan,  $x$  va  $y$  o'zgaruvchi mulohazalarning mantiqiy ko'paytmasi  $xy$  ko'rinishda ifodalanishi), ba'zan esa, nuqta (·) belgisi bilan almashtirilishi ( $x \cdot y$  ko'rinishda yozilishi) mumkin (ushbu bobning 4-paragrafiga qarang).  $x \wedge y$  ( $x \& y$ ,

<sup>1</sup> Lotincha "conjunction" so'zi o'zbek tilida "bog'layman" ma'nosini beradi.

<sup>2</sup> Ushbu bobning 4-paragrafiga qarang.

$x \cdot y$ ,  $xy$ ) mulohaza “ $x$  va  $y$ ” deb o‘qiladi.  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarning  $x \wedge y$  kon‘yunksiyasi uchun chinlik jadvali 4- jadval bo‘ladi (2- jadvalning  $x$ ,  $y$  va  $b_1$  ustunlariga qarang).

3- misol. “5 soni toq va tubdir.” ko‘rinishdagи murakkab mulohaza chindir, chunki berilgan mulohaza ikkita “5 soni toqdir.” va “5 soni tubdir.” elementar mulohazalar kon‘yunksiyasi sifatida qara-lishi mumkin hamda bu ikkita elementar mulohazalarning har biri chindir. ■

4- misol. “10 soni 5ga qoldiqsiz bo‘linadi va  $7 > 9$ .” murakkab mulohaza yolg‘on, chunki bu mulohaza ikkita “10 soni 5ga qoldiqsiz bo‘linadi.” va “ $7 > 9$ .” elementar mulohazalar kon‘yunksiyasi sifatida qaralsa, bu ikkita elementar mulohazalardan biri, aniqrog‘i, “ $7 > 9$ .” mulohaza yolg‘ondir. ■

3.1.3. Diz‘yunksiya<sup>1</sup> (mantiqiy yig‘indi<sup>2</sup>) amali. Mulohaza mantiqida ishlatalidigan yana bir binar amal, diz‘yunksiya (mantiqiy yig‘indi) amali bo‘lib, unga o‘zbek tilidagi “yoki” bog‘lovchisi mos keladi. Shuni ta‘kidlash joizki, “yoki” bog‘lovchisidan o‘zbek tilida ikki xil ma’noda foydalaniladi. Bu so‘z, bиринчи holda, rad etuvchi “yoki”, ikkinchi holda esa rad etmaydigan “yoki” ma’nosida ishlatalidi. “Yoki” bog‘lovchisi rad etuvchi ma’noda ishlataliganda bog‘lanayotganlardan faqat bittasi, rad etmaydigan ma’noda ishlataliganda esa bog‘lanayotganlarning hech bo‘lmaganda biri ro‘yobga chiqishi nazarda tutiladi. Masalan, “Bugun yakshanba yoki men kinoga boraman.” murakkab mulohazani olaylik. Agar haqiqatdan ham bugun yakshanba bo‘lsa va men kinoga borsam, u holda bu mulohaza chinmi, yolg‘onmi? Agar yuqoridagi mulohaza yolg‘on deb hisoblansa, u holda “yoki” bog‘lovchisi rad etuvchi ma’noda, chin deb hisoblaga esa “yoki” rad etmaydigan ma’noda ishlatalgan bo‘ladi.

Agar  $x$  va  $y$  mulohazalarning ikkalasi ham yolg‘on bo‘lsa, u holda “ $x$  yoki  $y$ ” mulohazasi, shubhasiz, yolg‘on bo‘ladi.  $x$  chin va  $y$  yolg‘on bo‘lgan holda yoki  $x$  yolg‘on va  $y$  chin bo‘lganda, “ $x$  yoki  $y$ ” mulohazani chin deb hisoblash kerak, bu esa o‘zbek tilidagi “yoki” bog‘lovchisining rad etmaydigan ma’nosiga to‘g‘ri keladi. Tabiiyki, har ikkala  $x$  va  $y$  mulohazalar chin bo‘lganda “ $x$  yoki  $y$ ” mulohaza chin bo‘ladi.

4-jadval

$x$	$y$	$x \wedge y$
yo	yo	yo
yo	ch	yo
ch	yo	yo
ch	ch	ch

<sup>1</sup> Lotincha “dizjunctio” so‘zi o‘zbek tilida “ajrataman” ma’nosini beradi.

<sup>2</sup> Ushbu bobning 4- paragrafiga qarang.

**4- ta'rif.** Berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazalar yolg'on bo'lgandagina yo qiyomat qabul qilib, qolgan hollarda esa, ch qiyomat qabul qiluvchi murakkab mulohaza  $x$  va  $y$  mulohazalarning diz'yunksiyasi deb ataladi.

"Berilgan mulohazalarning diz'yunksiyasi bu mulohazalarga diz'yunksiya amalini qo'llab hosil qilindi" deb aytish mumkin. Diz'yunksiya amali 2- jadvalda ifodalangan  $b$ , amali bo'lub, unga o'zbek tilidagi rad etmaydigan ma'noda ishlataladigan "yoki" bog'lovchisi mos keladi. Diz'yunksiya amalini belgilashda " $\vee$ " belgidan foydalaniadi. Berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazaning diz'yunksiyasi " $x \vee y$ " kabi yoziladi va " $x$  yoki  $y$ " deb o'qiladi.

Berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarning  $x \vee y$  diz'yunksiyasi uchun chinlik jadvali 5- jadval bo'ladi (2- jadvalning  $x$ ,  $y$  va  $b$ , ustunlariga qarang).

**5- misol.** "10 soni 5ga qoldiqsiz bo'linadi yoki  $7 > 9$ ." murakkab mulohaza chin, chunki berilgan mulohaza ikkita "10 soni 5ga qoldiqsiz bo'linadi." va " $7 > 9$ ." elementar mulohazalar diz'yunksiyasi sifatida qaralishi mumkin hamda bu ikkita elementar mulohazalardan biri, aniqrog'i, "10 soni 5ga qoldiqsiz bo'linadi." mulohazasi chindir. ■

**3.1.4. Implikatsiya<sup>1</sup> amali.** Navbatdagi amalni o'rganish maqsadida quyidagi misolni qarab chiqamiz.

**6- misol.** Quyidagi mulohazalarni ko'raylik:

- 1) "Agar  $2 \times 5 = 10$  bo'lsa, u holda  $6 \times 7 = 42$  bo'ladi.;"
- 2) "Agar 30 soni 5 ga qoldiqsiz bo'linsa, u holda 5 just son bo'ladi.;"
- 3) "Agar  $3 = 5$  bo'lsa, u holda  $15 + 2 = 17$  bo'ladi.;"
- 4) "Agar  $4 \times 3 = 13$  bo'lsa, u holda  $9 + 3 = 13$  bo'ladi.."

Bular murakkab mulohazalar bo'lib, ularning har biri ikkita elementar mulohazadan "agar ... bo'lsa, u holda ... bo'ladi" ko'rinishdagi qolip (andoza, bog'lovchilar) asosida tuzilgan. ■

5-jadval

$x$	$y$	$x \vee y$
yo	yo	yo
yo	ch	ch
ch	yo	ch
ch	ch	ch

<sup>1</sup> Lotincha "implicatio" so'zi o'zbek tilida "o'raman (chirmashtiraman)" ma'nosini, "implico" so'zi esa "zich o'raman, bog'layman (birlashtiraman)" ma'nosini beradi.

**5- ta’rif.** Berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarning birinchisi chin va ikkinchisi yolg‘on bo‘lgandagina yo qiymat qabul qilib, qolgan hollarda esa, ch qiymat qabul qiluvchi murakkab mulohaza  $x$  va  $y$  mulohazalarning implikatsiyasi deb ataladi.

“Berilgan mulohazalarning implikatsiyasi bu mulohazalarga implikatsiya amalini qo‘llab hosil qilindi” deb aytish mumkin. Implikatsiya amali 2- jadvalda ifodalangan  $b_{13}$  binar amaldir.

Implikatsiya amalini belgilashda “ $\rightarrow$ ” (yoki “ $\Rightarrow$ ”) belgidan foydalilanadi. Shuni ta’kidlash kerakki, implikatsiya amali bajarilganda berilgan elementar mulohazalarning o‘mi, ya’ni ulardan qaysi birinchi va qaysi ikkinchi bo‘lishi muhimdir. Berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazaning implikatsiyasi “ $x \rightarrow y$ ” kabi yoziladi va “agar  $x$  bo‘lsa, u holda  $y$  (bo‘ladi)” deb o‘qiladi.  $x \rightarrow y$  implikatsiyani “ $x$  dan  $y$  ga implikatsiya” deb ham yuritishadi. So‘zlashuv tilida  $x \rightarrow y$  implikatsiyani “ $x$  bo‘lsa,  $y$  bo‘ladi”, “agar  $x$  bo‘lsa, u vaqtida  $y$  bo‘ladi”, “ $x$  dan  $y$  hosil bo‘ladi”, “ $x$  dan  $y$  kelib chiqadi”, “ $y$ , agar  $x$  bo‘lsa”, “ $x$  y uchun yetarli shart” va boshqacha o‘qish holatlari ham uchraydi.  $x$  va  $y$  elementar mulohazaning  $x \rightarrow y$  implikatsiyasi uchun  $x$  mulohaza asos (shart, gipoteza, dalil),  $y$  mulohaza esa  $x$  asosning oqibati (natijasi, xulosasi) deb ataladi.  $x$  va  $y$  mulohazalarning  $x \rightarrow y$  implikatsiyasi uchun chinlik jadvali 6- jadval bo‘ladi (2- jadvalning  $x$ ,  $y$  va  $b_{13}$  ustunlariga qarang).

Implikatsiya uchun chinlik jadvalining dastlabki ikkita satri yolg‘on asosdan yolg‘on xulosa ham, chin xulosa ham kelib chiqishi mumkinligini anglatadi. Boshqacha qilib aytganda, “yolg‘ondan har bir narsani kutish mumkin”.

Implikatsiya uchun chinlik jadvalidan ko‘rinadiki, 2- misoldagi mulohazalarning ikkinchisi yolg‘on bo‘lib, qolganlari chindir.

**3.1.5. Ekvivalensiya amali.** Matematik mantiqda ko‘pchilik murakkab mulohazalar berilgan elementar mulohazalardan “... zarur va yetarlidir”, “... zarur va kifoyadir”, “faqat va faqat ...”, “shunda va faqat shundagina, qachonki ...”, “... bajarilishi yetarli va zarurdir” kabi qolip (andoza, bog‘lovchilar) vositasida tuziladi.

**6- ta’rif.** Berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarning ikkalasi ham bir xil qiymat qabul

6- jadval

$x$	$y$	$x \rightarrow y$
yo	yo	ch
yo	ch	ch
ch	yo	yo
ch	ch	ch

*qilgandagina ch qiyomat qabul qilib, ular turli qiyomat qabul qilganda esa yo qiyomat qabul qiluvchi murakkab mulohaza x va y mulohazalarning ekvivalensiyasi deb ataladi.*

“Berilgan mulohazalarning ekvivalensiyasi bu mulohazalarga ekvivalensiya amalini qo’llab hosil qilindi” deb aytish mumkin. Ekvivalensiya amali 2- jadvalda ifodalangan  $b_9$  binar amaldir. Ekvivalensiya amalini belgilashda “ $\leftrightarrow$ ” (yoki “ $\Leftrightarrow$ ”) belgidan foydalaniлади. Berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazaning ekvivalensiyasi  $x \leftrightarrow y$  (yoki  $x \Leftrightarrow y$ ) kabi yoziladi va “ $x$  ekvivalent  $y$ ” deb o’qiladi.  $x$  va  $y$  mulohazaning  $x \leftrightarrow y$  ekvivalensiyasiga “ $x$  bo’lsa (bajarilsa),  $y$  bo’ladi (bajariladi) va  $y$  bo’lsa,  $x$  bo’ladi” degan mulohaza mos keladi. Demak,  $x$  va  $y$  elementar mulohazaning  $x \leftrightarrow y$  ekvivalensiyasi ikkita  $x \rightarrow y$  va  $y \rightarrow x$  implikatsiyalarning  $(x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x)$  kon’unksiyasi ko’rinishida ham ifodalanishi mumkin. Shuning uchun ekvivalensiya **ikki tomonli implikatsiyadir**.  $x \leftrightarrow y$  ekvivalensiyaga “ $x$  dan  $y$  kelib chiqadi va  $y$  dan  $x$  kelib chiqadi” degan mulohazani ham mos qo’yish mumkin. Boshqacha so’zlar bilan aytganda,  $x \leftrightarrow y$  ekvivalensiyaga matematikada zaruriy va yetarli shartni ifodalovchi tasdiq mos keladi.

7- jadval

$x$	$y$	$x$	$y$
yo	yo		ch
yo	ch		yo
ch	yo		yo
ch	ch		ch

Berilgan  $x$  va  $y$  mulohazalarning ekvivalensiyasi  $x \leftrightarrow y$  uchun chinlik jadvali 7- jadval bo’ladi (2-jadvalning  $x$ ,  $y$  va  $b_9$  ustunlariga qarang).

**6- misol.** Ushbu tasdiqlarni tekshi-ramiz:  $x$  = “Berilgan natural son 3ga qoldiqsiz bo’linadi.”,  $y$  = “Berilgan natural sonning o’nli sanoq sistemasidagi yozuvini tashkil etuvchi raqamlar yig’indisi 3ga qoldiqsiz bo’linadi.”. Bu  $x$  va  $y$  mulohazalarning har biri elementar mulohaza bo’lib, ularning  $x \leftrightarrow y$  ekvivalensiyasi murakkab mu-lohaza sifatida quyidagicha ifodalanishi mumkin: “Berilgan natural sonning 3ga qoldiqsiz bo’linishi uchun uning o’nli sanoq sistemasidagi yozuvini tashkil etuvchi raqamlar yig’indisi 3ga qoldiqsiz bo’linishi yetarli va zarurdir.”. ■

Yuqorida keltirilgan inkor, kon’unksiya, diz’unksiya, implikatsiya va ekvivalensiya amallarining chinlik jadvallari **asosiy chinlik jadvallari** deb yuritiladi.

**3.1.6. Boshqa mantiqiy amallar.** Yuqorida bayon etilgan asosiy mantiqiy amallar 20 ta turli unar va binar amallarning 5 tasidir, xolos. Qolgan 15 ta mantiqiy amallarning ham matematik mantiqda o‘z o‘rnirlari bo‘lib, ularning ba’zilariga olimlarning nomlari qo‘yilgan. Jumladan,  $b_{14}$  binar mantiqiy amal Sheffer<sup>1</sup> amali yoki Sheffer shtrixi degan nom olgan. Bu amalni, ba’zan, antikon’yunksiya amali deb ham atashadi. Sheffer amalini belgilashda “|“ belgidan foydalaniadi. Berilgan  $x$  va  $y$  mulohazalarga Sheffer amalini qo‘llab  $x|y$  murakkab mulohaza hosil qilingan bo‘lsa,  $x|y$  yozuv “ $x$  Sheffer shtrixi  $y$ ” deb o‘qiladi.  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarga Sheffer amalini qo‘llash natijasi  $x|y$  mulohaza uchun chinlik jadvali 8- jadval bo‘ladi (2- jadvalning  $x$ ,  $y$  va  $b_{14}$  ustunlariga qarang).

Olimning nomi bilan atalgan yana bir mantiqiy amal  $b_8$  binar mantiqiy amal bo‘lib, bu amal haqidagi dastlabki ma’lumotlarni Pirs<sup>2</sup> e’lon qilgan. Bu amal **Pirs strelkasi** yoki **Pirs amali** degan nom olgan bo‘lib, uni, ba’zan, **antidiz’yunksiya amali**<sup>3</sup> deb ham atashadi.

Pirs amalini belgilashda “↓“ belgidan foydalaniadi. Berilgan  $x$  va  $y$  mulohazalarga Pirs amalini qo‘llab  $x \downarrow y$  murakkab mulohaza hosil qilingan bo‘lsa,  $x \downarrow y$  yozuv “ $x$  Pirs strelkasi  $y$ ” deb o‘qiladi.  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarga Pirs amalini qo‘llash natijasi  $x \downarrow y$  mulohaza uchun chinlik jadvali 9- jadval bo‘ladi (2- jadvalning  $x$ ,  $y$  va  $b_8$  ustunlariga qarang).

Qolgan 3 ta unar va 10 ta binar mantiqiy amallarga qisqacha to‘xtalib o‘tamiz. 1. Unar amallar.  $u_0$  va  $u_3$  amallar vositasida, mos ravishda, absolyut yolg‘on va absolyut chinni hosil qilish mumkin.  $u_1$  amali esa  $x$  mulohazaning qiymatini o‘zgartirmaydi (1- jadvalga qarang).

$x$	$y$	$x y$
yo	yo	ch
yo	ch	ch
ch	yo	ch
ch	ch	yo

<sup>1</sup> Bu amal Ukrainada tug‘ilgan AQShlik mantiqchi Henry Maurice Sheffer (1882-1964) nomi bilan bog‘liq.

<sup>2</sup> Pirs Charlz Sanders (Charles Sanders Peirce, 1839-1914) – AQShlik faylasuf, mantiqchi va matematik.

<sup>3</sup> Bu amalni, ba’zan, Dagger funksiyasi yoki Webb funksiyasi deb ham atashadi.

2. Binar amallar.  $b_0$  va  $b_{15}$  amallar vositasida, mos ravishda, absolyut yolg'on va absolyut chinni hosil qilish mumkin.  $b_{11}$  amali  $y$  dan  $x$  ga implikatsiya amalini ifodalaydi.  $b_2$  va  $b_4$  amallari, mos ravishda,  $y$  dan  $x$  ga va  $x$  dan  $y$  ga implikatsiya **inversiyasi** amallaridir.  $b_3$ ,  $b_5$ ,  $b_{10}$  va  $b_{12}$  amallar faqat bitta operandga bog'liqdir.  $b_6$  amaliga ikki modulli qo'shish amali degan nom berilgan bo'lib, bu amalni belgilashda  $\oplus$  belgidan foydalaniadi. Berilgan  $x$  va  $y$  mulohazalarga ikki modulli qo'shish amalini qo'llab  $x \oplus y$  murakkab mulohaza hosil qilinadi.

*9-jadval*

$x$	$y$	$x \downarrow y$
yo	yo	ch
yo	ch	yo
ch	yo	yo
ch	ch	yo

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

- Quyidagi gaplarning qaysilari mulohaza bo'lishini aniqlang:
  - "Qarshi shahri O'zbekiston Respublikasida joylashgan.";
  - "Bir piyola suv bering.";
  - " $\sqrt{5 + 4\sqrt{3 - 30}}$ ";
  - "Oy Mars planetasining yo'ldoshidir.";
  - " $a > 0$ ";
  - "Yashasin ozodlik!";
  - "Soat necha bo'ldi?".
- Quyidagi mulohazalarning chin yoki yolg'on ekanligini aniqlang:
  - $2 \in \{x | 2x^3 - 3x^2 + 1 = 0, x \in \mathbb{R}\}$ ;
  - $\{1\} \in N$ ;
  - "Yoshi o'z otasining yoshidan katta odam yo'q.".
- Quyidagi implikatsiyalarning qaysi birlari chin?
  - agar  $2 \times 2 = 4$  bo'lsa, u holda  $2 < 3$  bo'ladi;
  - agar  $2 \times 2 = 4$  bo'lsa, u holda  $2 > 3$  bo'ladi;
  - agar  $2 \times 2 = 5$  bo'lsa, u holda  $2 < 3$  bo'ladi;
  - agar  $2 \times 2 = 5$  bo'lsa, u holda  $2 > 3$  bo'ladi.
- "Qodirova talabadir." mulohazasi  $a$  bilan, "Qodirova ingliz tilini biladi." mulohazasi esa  $b$  deb belgilangan bo'lsin. U holda  $\bar{a}$ ,  $\bar{b}$ ,  $a \wedge b$ ,  $b \wedge a$ ,  $a \vee b$ ,  $b \vee a$ ,  $a \rightarrow b$ ,  $b \rightarrow a$ ,  $a \leftrightarrow b$  va  $b \leftrightarrow a$  ko'rinishdagi murakkab mulohazalarni so'zlar vositasida ifodalang hamda mumkin bo'lgan barcha vaziyatlarda bu mulohazalarning chin yoki yolg'on bo'lishini tekshirib ko'ring.
- Mulohaza bo'lishi mumkin bo'lgan va mumkin bo'lmagan gaplarga 10tadan misol keltiring.

6. Quyidagi murakkab mulohazalarga mos elementar mulohazalarni qandaydir harflar bilan belgilab, ularni mantiqiy algebra amallari vositasida ifodalang:

- a) "100 natural sondir va u 10ga qoldiqsiz bo'linadi.";
- b) "Botirning yoshi o'z singlisining yoshidan katta emas.";
- c) "Agar fuqaro o'rtta ma'lumotga ega bo'lsa, u holda u oliv o'quv muassasalaridan birida o'qishi mumkin.".

7. Quyidagi mulohazalarni elementar va murakkab mulohazalarga ajrating va murakkab mulohazalardagi bog'lovchilarni toping:

- a) "Natural son 10ga qoldiqsiz bo'linishi uchun uning o'nli sanoq sistemasidagi yozuvini 0 raqami bilan tugashi zarur va yetarlidir.";
- b) "Sanamning yoshi o'z opasining yoshidan katta emas."
- d) "O'zbek alifbosida 38 ta harf bor."
- e) "Agar fuqaro o'rtta ma'lumotga ega bo'lsa, u holda u oliv o'quv muassasalaridan birida o'qishi mumkin.".

8. Sheffer shtrixi ishtirot etgan mulohazaga misol keltiring.

9. Pirs strelkasi ishtirot etgan mulohazaga misol keltiring.

10. Ikkilik sanoq sistemasida yozilgan natural sonlar ustida qo'shish va ko'paytirish amallarini mos ravishda mantiqiy yig'indi (diz'yunksiya) va mantiqiy ko'paytma (kon'yunksiya) amallari bilan solishtiring.

### ***Mustaqil ishlash uchun savollar***

1. Mulohazalar algebrasi deganda nimani tushunasiz?
2. Mulohaza nima?
3. Qanday mulohaza absolyut chin mulohaza deb ataladi?
4. Qanday mulohaza absolyut yolg'on mulohaza deb ataladi?
5. O'zgarmas mulohazalar qanday qiymatlar qabul qilishlari mumkin?
6. O'zgaruvchi mulohazalar qanday qiymatlar qabul qilishlari mumkin?
7. Elementar va murakkab mulohaza tushunchalari bir-biridan nima bilan farq qiladi?
8. Mantiqiy amallar deganda nimani tushunasiz?
9. Nega mulohazalar algebrasi mulohazalar mantiqi deb ham yuritiladi?
10. Qiymatlar satri deganda nimani tushunasiz?
11. 1- va 2- jadvallarda keltirilgan amaldan boshqa unar va binar bormi?

12. Chinlik jadvali nima?
13. Qaysi amallar asosiy mantiqiy amallar deb yuritiladi?
14. Mulohazaning inkori deganda nimani tushunasiz?
15. Kon'yunksiya amali qanday bajariladi?
16. Diz'yunksiya amaliga o'zbek tilining qaysi bog'lovchisi mos keladi?
17. Nima uchun implikatsiya amalini bajarganda operandlar o'rirlari muhim hisoblanadi?
18. Implikatsiya amali uchun asos va oqibat tushunchalarini bilasizmi?
19. Mulohazalarning ekvivalensiyasi deganda nimani tushunasiz?
20. Sheffer amali qaysi amalga nisbatan teskari amal hisoblanadi?
21. Pirs amali qaysi amalga nisbatan teskari amal hisoblanadi?
22. Asosiy chinlik jadvallarini bilasizmi?

### 3.2. Formula va teng kuchlilik tushunchalari

*Mulohaza. Mantiqiy amallar. Formula. Elementar formula. Chinlik jadvali.*

*Mantiqiy amallarni bajarish imtiyozlari. Qavslar haqidagi kelishuv. Teng kuchli va teng kuchlimas formulalar. Teng kuchlilik. Teng kuchlimaslik. Ekvivalentlik.*

*Ekvivalentmaslik. Tenglik. Tenglama. Ayniyat. Mantiqiy ifoda.*

Oldingi paragrafda asosan mantiqiy amallar o'rganildi. Endi mantiqiy amallar orasidagi bog'lanishlar bilan shug'ullanamiz. Bunday bog'lanishlardan biri bilan tanishmiz: ekvivalensiya ikki tomonli implikatsiyadir, aniqrog'i, berilgan  $x$  va  $y$  mulohazalarning  $x \leftrightarrow y$  ekvivalensiyasi ikkita  $x \rightarrow y$  va  $y \rightarrow x$  implikatsiyalarning  $(x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x)$  kon'yunksiyasi shaklida ifodalanadi.

Dastlab mulohazalar algebrasining formula tushunchasiga murojaat qilib, intuitiv ravishda, uni berilgan elementar mulohazalardan inkor, diz'yunksiya, kon'yunksiya, implikatsiya, ekvivalensiya mantiqiy amallarining chekli kombinatsiyasi va, zarur bo'lganda, mulohazalar ustida mantiqiy amallarning bajarilish tartibini ko'rsatuvchi qavslar vositasida hosil qilingan murakkab mulohaza deb tushunamiz. Bu yerda qavslarni ishlatish qoidalari sonlar bilan ish ko'rvuchi (oddiy) algebradagidek saqlanadi.

**1-misol.** Ushbu  $x$ , ch,  $yo \leftrightarrow (yo \vee y)$ ,  $x \leftrightarrow \bar{y} \rightarrow x$ ,  $[x_1 \vee (\bar{x}_2 \wedge x_3) \wedge x_1] \rightarrow x_4$ ,  $\bar{y} \rightarrow x$ ,  $(x \rightarrow \bar{y}) \wedge (y \rightarrow z) \rightarrow (z \rightarrow x)$ ,  $[x_1 \wedge (x_3 \rightarrow x_2)] \vee (x_4 \leftrightarrow x_2) \vee yo$  va  $(\bar{x} \vee y) \wedge (x \vee \bar{y})$  ko'rinishda yozilgan murakkab mulohazalarning har biri formuladir, lekin  $[x_1 \vee (x_2 \rightarrow x_3) \wedge] \leftrightarrow x_1$  va  $(x \rightarrow \bar{y}) \wedge (z \rightarrow (\bar{z} \rightarrow y))$

yozuvlarni formula sifatida qabul qilish mumkin emas, chunki ularning birinchisida kon'yunksiya belgisidan keyin yopuvchi "J" qavs yozilgan, ikkinchisida esa ikkinchi ochuvchi "( qavsga mos yopuvchi )" qavs yozilmagan. ■

Formula tushunchasiga matematik induksiya usuliga tayangan holda quyidagicha qat'iy ta'rif beriladi.

**1- ta'rif.** 1) *Agar  $x$  elementar mulohaza bo'lsa, u holda  $x$  formuladir;*

2) *agar  $A$  formula bo'lsa, u holda  $\bar{A}$  formuladir;*

3) *agar  $A$  va  $B$  formulalar bo'lsa, u holda  $(A \wedge B)$ ,  $(A \vee B)$ ,  $(A \rightarrow B)$  va  $(A \leftrightarrow B)$  formulalardir;*

4) *1-, 2- va 3- bandlarda qidirish tashqari boshqa formula yo'q.*

1- ta'rifga ko'ra ixtiyoriy formulaga, uning qiymati sifatida, vaziyatga qarab, {ch, yo} to'plamning biror elementi mos qo'yiladi. Formula tarkibidagi o'zgarmas va o'zgaruvchi (elementar) mulohazalarning har biri elementar formulalar deb hisoblanadi. Formula qiymatining  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilarga (elementar mulohazalarga) bog'liqligini ta'kidlash kerak bo'lgan holda  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ko'rinishdagi yozuvdan foydalaniladi.

Tabiiyki, formula tushunchasiga berilgan 1- ta'rif asosida ish yuritsa, tuzilgan formula tarkibida qavslar ko'p bo'ladi. Matematik mantiqda formula tarkibidagi qavslar sonini kamaytirish maqsadida, odatda, quyidagi kelishuvlardan foydalaniladi:

1) biror formula inkor ishorasi ostida bo'lsa, u qavssiz yoziladi (masalan,  $(x \vee y) \wedge z$  formulani  $x \vee y \wedge z$  ko'rinishda yozish mumkin).

2) kon'yunksiya amali diz'yunksiya, implikatsiya va ekvivalensiya amallariga nisbatan formulalarni mustahkamroq bog'laydi deb hisoblanadi (masalan,  $x \vee (yz)$  formulani  $x \vee yz$ ,  $xy \rightarrow (yz)$  formulani  $xy \rightarrow yz$ ,  $(xy) \leftrightarrow (zu)$  formulani esa  $xy \leftrightarrow zu$  ko'rinishda yozish mumkin).

3) diz'yunksiya amali implikatsiya va ekvivalensiya amallariga nisbatan formulalarni mustahkamroq bog'laydi deb hisoblanadi (masalan,  $x \rightarrow (y \vee z)$  formulani  $x \rightarrow y \vee z$ ,  $x \vee y \leftrightarrow (z \vee y)$  formulani esa  $x \vee y \leftrightarrow z \vee y$  ko'rinishda yozish mumkin).

4) implikatsiya amali ekvivalensiya amaliga nisbatan formulalarni mustahkamroq bog'laydi deb hisoblanadi (masalan,  $x \leftrightarrow (y \rightarrow z)$  formulani  $x \leftrightarrow y \rightarrow z$  ko'rinishda yozish mumkin).

Bu kelishuvlar, yuqorida ta'kidlanganidek, formulalar tarkibidagi qavslar sonini kamaytirish imkonini beradi. Masalan,  $((x \leftrightarrow y) \rightarrow (x \wedge z)) \leftrightarrow (((x \wedge \bar{y}) \vee (\bar{x} \wedge y)) \vee (x \rightarrow z))$  formulani  $(x \leftrightarrow y) \rightarrow xz \leftrightarrow \bar{x}\bar{y} \vee \bar{x}y \vee (x \rightarrow z)$  ko'rinishda yozish mumkin.

Umuman olganda, matematik mantiqda **mantiqiy amallarni bajarish imtiyozlari** va qavslar **haqidagi kelishuv** deb ataluvchi qoidalalar qabul qilingan.

Qavslarsiz yozilgan mantiqiy amallarni bajarish imtiyozlari (ketma-ketligi) navbat bilan inkor ( $\neg$ ), kon'yunksiya ( $\wedge$ ), diz'yunksiya ( $\vee$ ), implikatsiya ( $\rightarrow$ ) amallariga berilgan, eng so'nggi imtiyozga esa ekvivalensiya ( $\leftrightarrow$ ) amali egadir.

Qavslar haqidagi kelishuv deganda quyidagi qoidalarga amal qilish nazarda tutiladi:

1. Agar formulada tashqi qavslar yozilmagan bo'lsa, u holda ular o'z joylariga tiklanadi.

2. Agar formulada ikkita bir xil imtiyozga ega mantiqiy amallar qavslarsiz ketma-ket yozilgan bo'lsa, u holda yozilish tartibiga ko'ra chapda joylashgan amal uchun qavslar o'z joylariga tiklanadi.

3. Agar formulada turli xil imtiyozlarga ega mantiqiy amallar qavslarsiz ketma-ket yozilgan bo'lsa, u holda ularni bajarish ketma-ketligini anglatuvchi qavslar mantiqiy amallarni bajarish imtiyozlarini hisobga olgan holda navbat bilan o'z joylariga tiklanadi.

**2- misol.**  $x \vee \bar{y} \wedge y \leftrightarrow z \rightarrow (z \rightarrow x)$  ko'rinishda yozilgan formulani tahlil qilaylik. Bu formuladagi amallarni bajarish tartibi faqat bir joyda qavslar bilan aniqlangan. Mantiqiy amallarni bajarish imtiyozlari va qavslar haqidagi kelishuvga ko'ra berilgan formulani  $((x \vee (\bar{y} \wedge y)) \leftrightarrow (z \rightarrow (z \rightarrow x)))$  ko'rinishda ifodalash mumkin. ■

Tabiiyki, ixtiyoriy formula uchun *chinlik jadvali*<sup>1</sup> tuzish mumkin. Berilgan formulaga mos chinlik jadvalini tuzishda shu formula tarkibidagi amallarga e'tibor bergan holda asosiy chinlik jadvallaridan ketma-ket foydalanish mumkin.

**3- misol.**  $(x \wedge y) \rightarrow \overline{\bar{x} \vee y}$  formulaning chinlik jadvali 1- jadval bo'ladi. ■

<sup>1</sup> Formulalar uchun "chinlik jadvali" iborasi o'mida "qiymatlar jadvali" iborasi qo'llanilishi ham mumkin.

1-jadval

$x$	$y$	$\bar{x}$	$x \wedge y$	$\bar{x} \vee y$	$\bar{x} \vee y$	$(x \wedge y) \rightarrow \bar{x} \vee y$
yo	yo	ch	yo	ch	yo	ch
yo	ch	ch	yo	ch	yo	ch
ch	yo	yo	yo	yo	ch	ch
ch	ch	yo	ch	ch	yo	yo

2- ta'rif. Agar berilgan ikkita formula tarkibida ishtirok etuvchi elementar mulohazalarning har bir qiymatlar satri uchun bu formulalarning qiymatlari bir xil bo'lsa, u holda ular teng kuchli formulalar deb ataladi.

3- ta'rif. Agar berilgan ikkita formula tarkibida ishtirok etuvchi elementar mulohazalarning qiymatlar satrlaridan hech bo'lmaganda bittasi uchun bu formulalarning qiymatlari har xil bo'lsa, u holda ular teng kuchlimas formulalar deb ataladi.

Teng kuchli va teng kuchlimas iboralari na faqat formulalarga nisbatan, balki ixtiyoriy mantiqiy mulohazalarga nisbatan ham qo'llanilishi mumkin. Ba'zan, teng kuchli va teng kuchlimas iboralari o'rniда, mos ravishda, ekvivalent va ekvivalentmas iboralari ishlatalidi. Ekvivalentlik tushunchasi ekvivalensiya tushunchasiga ohangdosh bo'lgani uchun, ularni bir-biridan farq qilish maqsadida ko'proq teng kuchlilik iborasidan foydalanamiz.

Berilgan formulalarning teng kuchliliginu ifodalashda " $\equiv$ " belgidan, teng kuchlimasligini ifodalashda esa " $\not\equiv$ " belgidan foydalilaniladi. Masalan, agar berilgan  $A$  va  $B$  formulalar teng kuchli formulalar bo'lsa, u holda  $A \equiv B$  deb,  $A$  va  $B$  formulalar teng kuchlimas formulalar bo'lganda esa,  $A \not\equiv B$  deb yoziladi. Ba'zan, formulalarning teng kuchliliginu ifodalashda " $=$ " belgidan, teng kuchlimasligini ifodalashda esa " $\neq$ " belgidan ham foydalilaniladi.

Berilgan formulalarning teng kuchli yoki teng kuchlimas bo'lishini aniqlashda, odatda, ular uchun tuzilgan chinlik jadvallaridan foydalilaniladi.

2-jadval

$x$	$x \vee x$
yo	yo
ch	ch

**4- misol.**  $x$  va  $x \vee x$  formulalar teng kuchli formulalardir. Haqiqatdan ham, berilgan formulalarda faqat bitta  $x$  elementar mulohaza ishtiroy etgani uchun ikkita qiymatlar satriga ega chinlik jadvalini tuzamiz (2- jadvalga qarang). 2- ta'rifga asosan  $x \vee x \equiv x$ . ■

3- jadval

$x$	$y$	$\bar{x}$	$A \equiv \bar{x} \vee y$	$B \equiv x \rightarrow y$
yo	yo	ch	ch	ch
yo	ch	ch	ch	ch
ch	yo	yo	yo	yo
ch	ch	yo	ch	ch

**5- misol.** Berilgan  $\bar{x} \vee y$  va  $x \rightarrow y$  formulalarni mos ravishda  $A$  va  $B$  bilan belgilaymiz:  $A \equiv \bar{x} \vee y$ ,  $B \equiv x \rightarrow y$ . 3- chinlik jadvalidan ko'rinib turibdiki,  $A$  va  $B$  formulalar tarkibidagi  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarning to'rtala qiymatlar satrlari uchun bu formulalarning mos qiymatlari bir xil. Demak, 2-ta'rifga asosan  $A \rightarrow B$ , ya'ni  $\bar{x} \vee y \equiv x \rightarrow y$ . ■

**6- misol.**  $A \equiv (x \vee \bar{x}) \wedge y$  va  $B \equiv y$  formulalar berilgan bo'sin. 4- chinlik jadvalini tuzamiz.  $A$  va  $B$  formulalar tarkibida ishtiroy etuvchi  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarning to'rtala qiymatlar satrlari uchun bu formulalarning mos qiymatlari bir xil.

Demak, berilgan  $A$  va  $B$  formulalar ekvivalent formulalardir, ya'ni  $(x \vee \bar{x}) \wedge y \equiv y$ . ■

4- jadval

$x$	$B = y$	$\bar{x}$	$x \vee \bar{x}$	$A = (x \vee \bar{x}) \wedge y$
yo	yo	ch	ch	yo
yo	ch	ch	ch	ch
ch	yo	yo	ch	yo
ch	ch	yo	ch	ch

**7- misol.**  $A \equiv (x \vee \bar{x}) \wedge y$  va  $B \equiv x$  formulalar teng kuchlimas formulalardir. Haqiqatdan ham, 5- chinlik jadvalidan ko'rinib turibdiki, berilgan  $A$  va  $B$  formulalar tarkibida ishtiroy etuvchi  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarning to'rtta qiymatlar satrlaridan ikkitasi (2- va 3- satrlari) uchun bu formulalarning mos qiymatlari har xil. Demak, 3- ta'rifga asosan, berilgan  $(x \vee \bar{x}) \wedge y$  va  $x$  formulalar ekvivalentmas formulalardir, ya'ni  $A \not\equiv B$ . ■

$B \equiv x$	$y$	$\bar{x}$	$x \vee \bar{x}$	$A \equiv (x \vee \bar{x}) \wedge y$
yo	yo	ch	ch	yo
yo	ch	ch	ch	ch
ch	yo	yo	ch	yo
ch	ch	yo	ch	ch

Odatda, mulohazalar algebrasida ekvivalensiya bilan teng kuchlilik orasidagi farqni anglash maqsadida, ular oddiy algebradagi, mos ravishda, tenglama va ayniyat bilan qiyoslanadi. Tenglamada (masalan,  $x$  va  $y$  o'zgaruvchilarga nisbatan  $2x + y = 10$  tenglamada) o'zgaruvchilarning ayrim (masalan,  $x = 4$ ,  $y = 2$ ) qiymatlari uchun tenglik o'rinni bo'lib, boshqa (masalan,  $x = 1$ ,  $y = 2$ ) qiymatlari uchun bu tenglik o'rinni bo'lmasligi mumkin. Shunga o'xshash, ekvivalensiyada ishtirok etuvchi (masalan,  $x_1 \leftrightarrow (x_2 \wedge x_3)$  ekvivalensiyadagi  $x_1$ ,  $x_2$  va  $x_3$ ) o'zgaruvchilarning o'rinnlariga qandaydir (masalan,  $x_1 = \text{ch}$ ,  $x_2 = \text{ch}$ ,  $x_3 = \text{ch}$ ) qiymatlar qo'yganda ekvivalensiya ch qiymat qabul qilib, boshqa (masalan,  $x_1 = \text{yo}$ ,  $x_2 = \text{ch}$ ,  $x_3 = \text{ch}$ ) qiymatlari uchun yo qiymatga erishishi mumkin.

Oddiy algebrada ayniyat deb shunday tenglik tushuniladiki (masalan,  $a^2 - b^2 = (a - b)(a + b)$  tenglik), bu tenglik, unda qatnashgan barcha o'zgaruvchilarning mumkin bo'lgan barcha qiymatlari uchun o'rinnlidir. Shunga o'xshash, matematik mantiqdagi teng kuchlilik shunday mulohazaki (masalan,  $x \leftrightarrow y \equiv (x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x)$  mulohaza), bu mulohaza, unda qatnashgan barcha o'zgaruvchilarning mumkin bo'lgan barcha qiymatlari uchun to'g'ridir.

Matematik mantiqda formula tushunchasi bilan bir qatorda mantiqiy ifoda tushunchasi ham qo'llaniladi. Mantiqiy ifoda shunday murakkab mulohazaki, uning tarkibida berilgan elementar mulohazalardan inkor, diz'yunksiya, kon'yunksiya, implikatsiya, ekvivalensiya mantiqiy amallari bilan bir qatorda mulohazalar algebrasidagi boshqa amallarning ham chekli kombinatsiyasi va, zarur bo'lganda, mulohazalar ustida mantiqiy amallarning bajarilish tartibini ko'rsatuvchi qavslar qatnashishi mumkin. Mantiqiy ifoda tushunchasiga ham formula tushunchasiga matematik induksiya usuliga tayangan holda berilgan ta'rifga o'xshash qat'iy ta'rif berilishi mumkin. Mantiqiy ifodalarning teng kuchliligi tushunchasini ham formulalar teng kuchliligi tushunchasiga o'xshash aniqlash mumkin.

Oddiy algebrada aynan teng qiymatga ega ifodalarni bir-biri bilan almashtirish mumkin bo'lganidek, mulohazalar algebrasida ham mantiqiy

ifoda tarkibidagi qismiy mantiqiy ifodalarni (formulalarni, mulohazalarni) ularga teng kuchli bo'lgan ifodalar (formulalar, mulohazalar) bilan almashtirish, ya'ni o'rniga qo'yish usulidan foydalanish mumkin. Bu esa murakkab ifodalarni (formulalarni, mulohazalarni) soddalashtirish imkonini beradi.

Yuqorida tenglama bilan ekvivalensiya va ayniyat bilan teng kuchlilik orasida o'xshashlik borligini ko'rdik. Endi tenglik bilan ekvivalensiya orasida farq ham borligini ko'rsatamiz. Ma'lumki, oddiy algebrada hech qanday almashtirish yordamida tenglikni arifmetik amallar (qo'shish, ayirish, ko'paytirish, bo'lish) vositasida ifodalab bo'lmaydi. Mulohazalar algebrasida esa ekvivalensiyani boshqa mantiqiy amallar vositasida ifodalash mumkin. Masalan, ekvivalensiyani implikatsiya va kon'yunksiya amallari vositasida ifodalash mumkin: berilgan  $x$  va  $y$  elementar mulohazalar uchun  $x \leftrightarrow y \equiv (x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x)$  teng kuchlilik o'rnliligi 6- chinlik jadvalidan ham ko'rinish turibdi.

6-jadval

$x$	$y$	$x \rightarrow y$	$y \rightarrow x$	$x \leftrightarrow y$	$(x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x)$
yo	yo	ch	ch	ch	ch
yo	ch	ch	yo	yo	yo
ch	yo	yo	ch	yo	yo
ch	ch	ch	ch	ch	ch

Mulohazalar algebrasini oddiy algebra bilan qiyoslashda davom etib, oddiy algebrada tenglik uchun quyidagi xossalari (aksiomalar) o'rnliligini eslatamiz:

- 1) ixtiyoriy  $a \in R$  son uchun  $a = a$  (refleksivlik);
- 2) ixtiyoriy ikkita  $a \in R$  va  $b \in R$  sonlar uchun agar  $a = b$  bo'lsa, u holda  $b = a$  bo'ladi (simmetriklik);
- 3) ixtiyoriy uchta  $a \in R$ ,  $b \in R$  va  $c \in R$  sonlar uchun agar  $a = b$  va  $b = c$  bo'lsa, u holda  $a = c$  bo'ladi (tranzitivlik).

Shunga o'xshash, mulohazalar algebrasidagi teng kuchlilik (ekvivalentlik) ham refleksivlik, simmetriklik va tranzitivlik xossalariiga ega:

- 1) ixtiyoriy  $x$  mulohaza uchun  $x \equiv x$ ;
- 2) ixtiyoriy ikkita  $x$  va  $y$  mulohazalar uchun, agar  $x \equiv y$  bo'lsa, u holda  $y \equiv x$  bo'ladi;
- 3) ixtiyoriy uchta  $x$ ,  $y$  va  $z$  mulohazalar uchun agar  $x \equiv y$  va  $y \equiv z$  bo'lsa, u holda  $x \equiv z$  bo'ladi.

## *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Quyidagi formulalarning chinlik jadvallarini tuzing:

- a)  $\bar{x}_1 \vee \bar{x}_2$ ; b)  $x \wedge \bar{y} \rightarrow (y \vee \bar{x} \rightarrow \bar{z})$ ; d)  $(x_1 \wedge x_2) \vee x_3$ ;
- e)  $(x \vee y) \rightarrow (x \wedge \bar{y} \vee \bar{x} \rightarrow \bar{y})$ ; f)  $(x_1 \rightarrow \bar{x}_2) \rightarrow (\overline{x_1 \vee x_2} \wedge \overline{x_3})$ ;
- g)  $(\bar{x} \vee z) \wedge (y \rightarrow (u \rightarrow x))$ ; h)  $(x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow z) \rightarrow z$ ;
- i)  $x_1 \rightarrow (x_2 \rightarrow (\dots \rightarrow x_n))$ ,  $n = 3, 4, 5, 6$ ;
- j)  $x_1 \vee x_2 \vee \dots \vee x_n \rightarrow \bar{y}_1 \wedge \bar{y}_2 \wedge \dots \wedge \bar{y}_n$ ,  $n = 1, 2, 3$ .

2. Quyidagi teng kuchliliklarni isbotlang:

- a)  $x \leftrightarrow y \equiv \bar{x} \leftrightarrow \bar{y}$ ; b)  $xy \vee \bar{x}y \vee \bar{x}\bar{y} \equiv x \rightarrow y$ ;
- d)  $x \rightarrow \bar{y} \equiv y \rightarrow \bar{x}$ ; e)  $x \rightarrow (y \rightarrow z) \equiv x \wedge y \rightarrow z$ ;
- f)  $x \vee \bar{x} \equiv y \vee \bar{y}$ ; g)  $x \vee \bar{x} \equiv y \vee \bar{y}$ ;
- h)  $x \vee (x \wedge y) \equiv x$ ; i)  $(x \vee \bar{x}) \rightarrow y \equiv (x \wedge \bar{x}) \vee y$ ;
- j)  $x \vee (y \wedge z) \equiv (x \vee y) \wedge (x \vee z)$ ;
- k)  $x \equiv (x \wedge y \wedge z) \vee (x \wedge y \wedge \bar{z}) \vee (x \wedge \bar{y} \wedge z) \vee (x \wedge \bar{y} \wedge \bar{z})$ .
3. Quyidagi formulalarни soddalashtiring:
- a)  $(x \rightarrow x) \rightarrow x$ ; b)  $x \rightarrow (x \rightarrow y)$ ; d)  $\overline{\bar{x} \cdot \bar{y}} \vee (x \rightarrow y) \cdot x$ ;
- e)  $(x \leftrightarrow y) \wedge (x \vee y)$ ; f)  $x \wedge \bar{y} \rightarrow (y \vee \bar{x} \rightarrow z)$ ;
- g)  $(x \wedge y \wedge z) \vee (x \wedge y) \vee (x \wedge \bar{y} \wedge z) \vee (x \wedge \bar{y} \wedge \bar{z}) \vee (\bar{x} \wedge \bar{z})$ .

## *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Formula tushunchasiga intuitiv ravishda qanday ta’rif beriladi?
2. Formula tushunchasiga matematik induksiya usuliga tayangan holda qat’iy ta’rif qanday beriladi?
3. Elementar formula deganda nimani tushunasiz?
4. Qavslarsiz ketma-ket yozilgan mantiqiy amallarni bajarish imtiyozlarini bilasizmi?
5. Qavslar haqidagi kelishuvga ko‘ra qanday qoidalarga amal qilinadi?
6. Teng kuchli formulalar deganda nimani tushunasiz?
7. Qanday holda formulalar teng kuchlimas bo‘ladi?
8. Odatda berilgan formulalarning teng kuchli yoki teng kuchlimas o‘lishini aniqlashda qaysi usuldan foydalaniladi?

9. Mantiqiy ifoda nima?  
 10. Ekvivalensiya bilan teng kuchlilik orasida qanday o'xshashlik va farqlarni bilasiz?

### 3.3. Tavtologiya, aynan yolg'on va bajariluvchi formulalar

*Elementar mulohaza. Formula. Aynan chin, aynan yolg'on formulalar. Tavtologiya. Bajariluvchi formula. Bajarilmaydigan formula. Mantiqiy ekvivalent formulalar. Mantiq qonunlari. Yechilish muammosi. Yechuvchi usul.*

**3.3.1. Tavtologiya<sup>1</sup>.** Tabiiyki, berilgan formula uning tarkibida qatnashuvchi elementar mulohazalarning mumkin bo'lgan barcha qiymatlar satrlari ucnun turli qiymatlar, jumladan, faqat ch yoki faqat yo qiymat qabul qilishi mumkin.

**1- ta'rif.** *Tarkibidagi elementar mulohazalarning mumkin bo'lgan barcha qiymatlar satrlarida faqat ch qiymat qabul qiluvchi formula tavtologiya deb ataladi.*

1-jadval

$x$	$y$	$x \rightarrow y$	$x \wedge (x \rightarrow y)$	$x \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow y$
yo	yo	ch	yo	ch
yo	ch	ch	yo	ch
ch	yo	yo	yo	ch
ch	ch	ch	ch	ch

Tavtologiya iborasi o'mida aynan chin yoki doimo chin formula iborasi ham qo'llanilishi mumkin. Tavtologiya, ko'pincha,  $J$  yoki 1 bilan belgilanadi. Aynan chin formula, uning tarkibida ishtirot etuvchi o'zgaruvchilarning qiymatlariga bog'liq bo'lmay, faqat bitta (ch) qiymat qabul qiladi.

Berilgan formula tavtologiya bo'lishi yoki bo'lmasligi, odatda, uning qiymatlar jadvali vositasida aniqlanadi.

**1- misol.**  $D \equiv x \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow y$  formula tavtologiyadir. Bu tasdiqning to'griligini tekshirish uchun 1- jadvalni ( $D$  formulaning qiymatlar jadvalini) tuzamiz.

Berilgan  $D$  formula uning tarkibida qatnashuvchi  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarning mumkin bo'lgan hamma qiymatlar satrlarida faqat ch qiymat qabul qilgani uchun, u tavtologiyadir, ya'ni

<sup>1</sup> Bu so'z yunoncha ταύτο (shuning o'zi) va λέγειν (so'z) so'zlaridan tuzilgan bo'lib, "tautologiya" shuning o'zini so'zlayman ma'nosini beradi.

$$x \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow y \equiv J . \blacksquare$$

**2- misol.** Berilgan  $B \equiv (\bar{x} \vee y) \rightarrow (x \rightarrow y) \rightarrow z$  formulani tekshirish uchun uning chinlik jadvalini tuzamiz (2- jadvalga qarang).

2- jadval

$x$	$y$	$z$	$\bar{x}$	$\bar{x} \vee y$	$x \rightarrow y$	$(\bar{x} \vee y) \rightarrow (x \rightarrow y)$	$B$
yo	yo	yo	ch	ch	ch	ch	yo
yo	yo	ch	ch	ch	ch	ch	ch
yo	ch	yo	ch	ch	ch	ch	yo
yo	ch	ch	ch	ch	ch	ch	ch
ch	yo	yo	yo	yo	yo	ch	yo
ch	yo	ch	yo	yo	yo	ch	ch
ch	ch	yo	yo	ch	ch	ch	yo
ch	ch	ch	yo	ch	ch	ch	ch

2- jadvaldan ko‘rinib turibdiki,  $(\bar{x} \vee y) \rightarrow (x \rightarrow y) \equiv J$ , lekin  $B \not\equiv J$ . ■

Aynan chin formulalar mantiqda katta ahamiyatga ega bo‘lib, ular mantiq qonunlarini ifodalaydi. Shu sababli, mantiq algebrasida **yechilish muammosi** deb yuritiluvchi chekli miqdordagi amal yordamida berilgan ixtiyoriy mantiqiy formulaning aynan chin yoki aynan chin emasligini aniqlash masalasi dolzarb muammo hisoblanadi. Yechilish muammosi faqat mulohazalar algebrasi uchungina emas, balki boshqa mantiqiy sistemalar uchun ham qo‘yilishi mumkin. Yechilish muammosi mulohazalar algebrasi uchun ijobjiy hal etiladi (ushbu bobning 5-paragrafiga qarang). Tabiiyki, yechilish muammosini turli usullar yordamida hal qilish mumkin. Bunday usullarni **yechuvchi usullar** deb ataymiz. Yechuvchi usul iborasi o‘rnida **yechish protsedurasi** yoki **yechish algoritmi** iboralari ham qo‘llanilishi mumkin.

Yechish protsedurasi sifatida chinlik jadvalini qo‘llashga asoslangan usulni olish mumkin, chunki chinlik jadvali har bir muayan formula uchun yechilish muammosini to‘liq hal qilish imkonini beradi. Agar berilgan formulaga mos keladigan chinlik jadvalning oxirgi ustunida faqat ch bo‘lsa, u holda bu formula aynan chin, agar oxirgi ustunda hech bo‘lmasa bitta yo bo‘lgan holda esa formula aynan chin emas bo‘ladi. Tabiiyki, amalda bu usulni har doim ham qo‘llab bo‘lavermaydi, chunki u

quyidagi asosiy kamchilikka ega. Agar berilgan formulada  $n$  ta elementar o'zgaruvchi mulohazalar qatnashsa, u holda bu formulaning chinlik jadvali  $2^n$  ta satrga ega bo'ladi va  $n$  ning yetarli katta qiymatlarida bu yechish protsedurasini, hattoki, komputer yordamida ham oxiriga yetkazib bo'lmaydi. Lekin, prinsip jihatdan olganda, "chinlik jadvalini qo'llashga asoslangan usul yordamida chekli miqdordagi amallar bajarib yechilish muammosini hal qilish mumkin" degan tasdiq to'g'ridir. Ushbu bobning keyingi paragraflarida boshqa bir yechuvchi protsedurani keltiramiz. Bu yechuvchi protsedura berilgan formulani normal shaklga keltirish usuliga asoslangan. Normal shakllar matematik mantiqning boshqa masalalarida ham ishlatalidi.

**3.3.2. Aynan yolg'on formulalar.** Formula uning tarkibida ishtirot etuvchi elementar mulohazalarning mumkin bo'lgan barcha qiymatlar satrlari ucnun faqat yo qiymat qabul qilishi ham mumkin.

**2- ta'rif.** *Tarkibidagi elementar mulohazalarning mumkin bo'lgan barcha qiymatlar satrlarida faqat yo qiymat qabul qiluvchi formula aynan yolg'on (doimo yolg'on) yoki bajarilmaydigan formula deb ataladi.*

1- va 2- ta'riflardan yaqqol ko'rinish turibdiki, aynan yolg'on formula tavtologiyaning inkoridir, va, aksincha, tavtologiya aynan yolg'on formulaning inkoridir. Shuning ucnun aynan yolg'on formulani  $\bar{J}$  yoki 0 bilan belgilash joizdir.

Aynan yolg'on formula ham, aynan chin formula kabi, o'z tarkibida ishtirot etuvchi o'zgaruvchilarining qiymatlariga bog'liq emas, u faqat bitta (yo) qiymat qabul qiladi. Berilgan formulaning bajarilmaydigan formula bo'lishi yoki bo'lmasligi ham, odatda, uning qiymatlar jadvali yordamida aniqlanadi.

**3- misol.**  $A \equiv (\bar{x} \vee y) \wedge \overline{x \rightarrow y}$  formula aynan yolg'on formuladir. Haqiqatdan ham, asosiy chinlik jadvallari yordamida  $A$  formulaning chinlik jadvalini tuzsak, natijada 3- jadvalga ega bo'lamiz.

3-jadval

$x$	$y$	$\bar{x}$	$\bar{x} \vee y$	$x \rightarrow y$	$\overline{x \rightarrow y}$	$(\bar{x} \vee y) \wedge \overline{x \rightarrow y}$
yo	yo	ch	ch	ch	yo	yo
yo	ch	ch	ch	ch	yo	yo
ch	yo	yo	yo	yo	ch	yo
ch	ch	yo	ch	ch	yo	yo

3- jadvalning oxirgi ustuniga ko'ra  $(\bar{x} \vee y) \wedge x \rightarrow y \equiv \bar{J}$ . ■

3- ta'rif. Agar  $A$  va  $B$  formulalar uchun  $A \rightarrow B$  formula tavtologiya bo'lsa, u holda  $B$  formula  $A$  formulaning mantiqiy xulosasi deb ataladi.

4- ta'rif. Agar  $A$  va  $B$  formulalar uchun  $A \leftrightarrow B$  formula tavtologiya bo'lsa, u holda berilgan formulalar mantiqiy ekvivalent formulalar deb ataladi.

4- misol. 1- misolda  $D \equiv x \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow y$  formula tavtologiya bo'lishini ko'rgan edik (1- jadvalga qarang). Shu sababli, 3- ta'rifga ko'ra,  $y$  formula  $x \wedge (x \rightarrow y)$  formulaning mantiqiy xulosasidir.

2- jadvalga ko'ra (2- misolga qarang)  $\bar{x} \vee y$  va  $x \rightarrow y$  formulalar mantiqiy ekvivalent formulalar bo'ladi hamda, shu bilan birga,  $x \rightarrow y$  formula  $\bar{x} \vee y$  formulaning mantiqiy xulosasidir degan tasdiqlar to'g'ridir. Albatta,  $\bar{x} \vee y$  formula  $x \rightarrow y$  formulaning mantiqiy xulosasidir degan tasdiq ham to'g'ri. ■

1- teorema. Agar  $A$  va  $A \rightarrow B$  formulalarning har biri tavtologiya bo'lsa, u holda  $B$  formula ham tavtologiya bo'ladi.

I sboti.  $A$  va  $A \rightarrow B$  formulalarning har biri tavtologiya bo'lsin. Teorema tasdig'ining teskarisini, ya'ni  $A$  va  $B$  formulalar tarkibiga kiruvchi o'zgaruvchilarining hech bo'limganda bitta qiymatlar satrida  $B$  formula yo'qiyat qabul qilsin deb faraz qilamiz. U holda,  $A$  formula tavtologiya bo'lganligi uchun, o'zgaruvchilarining o'sha qiymatlar satr(lar)ida  $A$  ch qiymat qabul qiladi. Shu sababli  $A \rightarrow B$  formula yo'qiyat qabul qiladi. Bu esa  $A \rightarrow B$  formula tavtologiyadir degan tasdiqqa qarama-qarshidir. Demak,  $B$  tavtologiyadir. ■

2- teorema. Agar  $A_1$  formula tarkibiga bir yoki ko'p marta kirgan  $A$  formula o'rniga  $B$  formulani qo'yish natijasida  $B_1$  formula hosil qilinsa, u holda  $(A \leftrightarrow B) \rightarrow (A_1 \leftrightarrow B_1)$  formula tavtologiya bo'ladi.

I sboti. Agar tarkibidagi o'zgaruvchilarining biror qiymatlar satrida  $A$  va  $B$  formulalar turli qiymatlarga ega bo'lsa, u holda o'sha qiymatlar satrida  $A \leftrightarrow B$  formulaning qiymati yo'q bo'ladi va, natijada,  $A_1 \leftrightarrow B_1$  formulaning qiymati qanday bo'lishidan qat'i nazar,  $(A \leftrightarrow B) \rightarrow (A_1 \leftrightarrow B_1)$  formula ch qiymat qabul qiladi.

Agar tarkibidagi o'zgaruvchilarining qandaydir qiymatlar satrida  $A$  va  $B$  formulalar bir xil qiymat qabul qilsa, u holda o'sha qiymatlar satrida

$A_1$  va  $B_1$  formulalar ham bir xil qiymat qabul qiladi, chunki teoremaning shartiga asosan  $B_1$  formula  $A_1$  formuladan  $A$  formulaning o‘rniga  $B$  formulani qo‘yish natijasida hosil qilingan. Demak, bu holda  $A \leftrightarrow B$  va  $A_1 \leftrightarrow B_1$  formulalarning ikkalasi ham ch qiymat qabul qiladi. Shuning uchun  $(A \leftrightarrow B) \rightarrow (A_1 \leftrightarrow B_1)$  formula ham ch qiymat qabul qiladi.

Shunday qilib, yuqorida qaralgan mumkin bo‘lgan ikkala holda ham  $(A \leftrightarrow B) \rightarrow (A_1 \leftrightarrow B_1)$  formula ch qiymat qabul qiladi. Demak,  $(A \leftrightarrow B) \rightarrow (A_1 \leftrightarrow B_1)$  formula tautologiya bo‘ladi. ■

2- teoremaga ko‘ra, agar  $A_1$  formula tarkibiga bir yoki ko‘p marta kirgan  $A$  formula o‘rniga  $B$  formulani qo‘yish natijasida  $B_1$  formula hosil qilinsa, u holda  $A$  va  $B$  formulalarning mantiqiy ekvivalentligidan  $A_1$  va  $B_1$  formulalarning ham mantiqiy ekvivalentligi chiqadi.

**3.3.3. Bajariluvchi formulalar.** Endi berilgan formula uning tarkibida qatnashuvchi elementar mulohazalarning ba’zi qiymatlar satrlari ucun ch, ba’zilari ucun esa yo qiymat qabul qilish holini qaraymiz.

**5- ta’rif.** *Tarkibidagi elementar mulohazalarning kamida bitta qiymatlar satrida ch qiymat qabul qiluvchi aynan chin bo‘lmagan formula bajariluvchi formula deb ataladi.*

**5- misol.**  $x \rightarrow y$ ,  $x \wedge (x \rightarrow y)$ ,  $\bar{x}$ ,  $\bar{x} \vee y$  va  $x \rightarrow y$  formulalar bajariluvchi formulalardir, lekin  $x \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow y$ ,  $(\bar{x} \vee y) \rightarrow (x \rightarrow y)$  va  $(\bar{x} \vee y) \wedge \underline{x \rightarrow y}$  formulalar bajariluvchi formulalar emas (1-, 2- va 3-jadvallarga qarang). ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Quyidagilarning qaysilari aynan chin, qaysilari aynan yolg‘on formula bo‘lishini aniqlang:

- |                                                                                                        |                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| a) $\underline{\underline{x \vee y}} \rightarrow \underline{\underline{x \wedge y}}$ ;                 | b) $\overline{p} \rightarrow (p_1 \rightarrow p_2)$ ;                             |
| d) $\underline{(x \rightarrow y)} \rightarrow (\bar{y} \rightarrow \bar{x})$ ;                         | e) $((p \wedge q) \leftrightarrow q) \leftrightarrow (q \rightarrow p)$ ;         |
| f) $\underline{\underline{p_1 \rightarrow (p_2 \rightarrow p_1)}}$ ;                                   | g) $((p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow r)) \rightarrow (p \rightarrow r)$ ; |
| h) $(x \rightarrow y) \wedge (x \rightarrow \bar{y}) \rightarrow \bar{x}$ ;                            | i) $x \wedge (x \rightarrow y) \wedge (x \rightarrow \bar{y})$ ;                  |
| j) $x \vee \bar{x} \rightarrow y \wedge \bar{y}$ ;                                                     | k) $(x \rightarrow (y \rightarrow z)) \rightarrow (x \wedge y \rightarrow z)$ ;   |
| l) $(x \rightarrow (y \rightarrow z)) \rightarrow ((x \rightarrow y) \rightarrow (x \rightarrow z))$ . |                                                                                   |

2. Quyidagi formulalarning har biri bajariluvchi formula bo‘lishini ko‘rsating:

$$a) (y \vee \bar{x}) \wedge (z \vee \bar{x});$$

$$b) a \wedge (b \wedge c \rightarrow a \wedge b);$$

$$c) x \rightarrow y \wedge z;$$

$$d) ((a \vee b) \vee c \wedge \bar{c}) \wedge ((a \vee \bar{b}) \vee c \wedge \bar{c}).$$

3. Quyidagi formulalarni tautologiyalar, doimo yolg'on va bajariluvchi formulalar guruhlariga ajrating:

$$a) (x \rightarrow y) \rightarrow \bar{x} \wedge y \vee \bar{y};$$

$$b) \overline{\overline{ab}} \leftrightarrow \bar{a} \vee a \wedge b;$$

$$c) (x \leftrightarrow y) \wedge (\bar{x}\bar{y} \vee \bar{x}y);$$

$$d) a \wedge b \rightarrow (a \rightarrow \bar{b})$$

$$e) x \vee y \rightarrow (x \leftrightarrow y);$$

$$f) (a \rightarrow c) \wedge (b \rightarrow c) \rightarrow (a \rightarrow b)$$

$$g) x \vee y \rightarrow z$$

$$h) x \wedge y \wedge z \vee \bar{x} \wedge y \wedge z \vee x \wedge \bar{y} \wedge z.$$

4. Quyidagilarni aynan chin va aynan yolg'on formulalar guruhlariga ajrating:

$$a) (x \rightarrow z) \rightarrow ((y \rightarrow z) \rightarrow (x \vee y \rightarrow z));$$

$$b) (p_1 \rightarrow p_2) \rightarrow ((p_1 \vee p) \rightarrow (p_2 \vee p));$$

$$d) (p_1 \rightarrow (p_2 \rightarrow p_3)) \rightarrow ((p_1 \rightarrow p_2) \rightarrow (p_1 \rightarrow p_3));$$

$$f) (p_1 \rightarrow p_2) \rightarrow ((p_1 \wedge p) \rightarrow (p_2 \wedge p));$$

$$g) x \wedge y \rightarrow x; \quad h) x \rightarrow (x \vee y);$$

$$i) (x \rightarrow y) \rightarrow (\bar{y} \rightarrow \bar{x}); \quad j) (\bar{y} \rightarrow \bar{x}) \rightarrow (x \rightarrow y);$$

$$k) (x_1 \wedge \dots \wedge x_n) \wedge (x_1 \vee \dots \vee x_n \rightarrow \bar{y}) \wedge y;$$

$$l) x_1 \rightarrow (x_2 \rightarrow \dots \rightarrow (x_{n-1} \rightarrow (x_n \rightarrow y \vee \bar{y}))) \dots .$$

5. Agar  $x$  elementar mulohazaning qiymati ch bo'lsa, u holda  $\bar{x} \wedge y \rightarrow z$  va  $\bar{x} \rightarrow (y \vee z)$  implikatsiyalarning qiymatlarini aniqlang.

6. Agar  $x \rightarrow y$  implikatsiyaning qiymati ch bo'lsa, u holda  $x \rightarrow (x \rightarrow y)$ ,  $\overline{x \rightarrow y} \rightarrow y$  va  $(x \rightarrow y) \rightarrow z$  implikatsiyalarning qiymatlarini aniqlang.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Tautologiya nima?
2. Berilgan formula tautologiya bo'lishi yoki bo'lmasligi, odatda, qanday aniqlanadi?
3. Qanday muammo mantiq algebrasida yechilish muammosi deb yuritiladi?
4. Yechilish muammosini hal qilish usullari nima deb ataladi?

5. Yechish protsedurasi sifatida chinlik jadvalini qo'llashga asoslangan usulning asosiy kamchiligi nimada?
6. Aynan yolg'on formula deganda nimani tushunasiz?
7. Tavtologiya bilan aynan yolg'on formula orasida qanday bog'lanish bor?
8. Qanday holda biror formula boshqa formulaning mantiqiy xulosasi deb ataladi?
9. Qanday formulalar mantiqiy ekvivalent formulalar deb ataladi?
10. Agar  $A$  va  $A \rightarrow B$  formulalarning har biri tavtologiya bo'lsa, u holda  $B$  formula haqida mima deyish mumkin?
11. Agar  $A_1$  formula tarkibiga bir yoki ko'p marta kirgan  $A$  formula o'rniغا unga teng kuchli  $B$  formulani qo'yish natijasida  $B_1$  formula hosil qilinsa, u holda  $(A \leftrightarrow B) \rightarrow (A_1 \leftrightarrow B_1)$  formula haqida mima deyish mumkin?
12. Bajariluvchi formula deganda nimani tushunasiz?
13. Agar  $x \rightarrow y$  implikatsiya ch qiymat,  $x \leftrightarrow y$  ekvivalensiya esa yo qiymat qabul qilishi ma'lum bo'lsa, u holda  $y \rightarrow x$  implikatsiyaning qiymati haqida mima deyish mumkin?
14. Agar  $x \leftrightarrow y$  ekvivalensiya ch qiymat qabul qilishi ma'lum bo'lsa, u holda  $\bar{x} \leftrightarrow y$  va  $x \leftrightarrow \bar{y}$  ekvivalensiyalarning qiymatlari haqida mima deyish mumkin?

### 3.4. Asosiy teng kuchliliklar. Teng kuchli formulalarga doir teoremlar

*Asosiy teng kuchliliklar. Kon'yunksiya, diz'yunksiya, inkor amallari qatnashgan mulohazalar. Kommutativlik, assotsiativlik va distributivlik qonunlari. Qaramaqarshilik, uchinchisini istisno qilish, idempotentlik va yutilish qonunlari.*

**3.4.1. Asosiy teng kuchliliklar.** Bu paragrafda oddiy algebrada ma'lum bo'lgan ayrim ayniyatlarga o'xshash mantiqiy teng kuchliliklarni va teng kuchli formulalarga doir ayrim teoremlarni keltiramiz.

Ma'lumki, haqiqiy sonlarni qo'shish va ko'paytirish amali uchun quyidagi tasdiqlar o'rnlidir:

- 1) ixtiyoriy ikkita  $x \in R$  va  $y \in R$  sonlar uchun  $x + y = y + x$  bo'ladi (qo'shishning kommutativlik qonuni);
- 2) ixtiyoriy uchta  $x \in R$ ,  $y \in R$  va  $z \in R$  sonlar uchun  $(x + y) + z = x + (y + z)$  bo'ladi (qo'shishning assotsiativlik qonuni);

3) ixtiyoriy ikkita  $x \in R$  va  $y \in R$  sonlar uchun  $xy = yx$  bo‘ladi (ko‘paytirishning kommutativlik qonuni);

4) ixtiyoriy uchta  $x \in R$ ,  $y \in R$  va  $z \in R$  sonlar uchun  $(xy)z = x(yz)$  bo‘ladi (ko‘paytirishning assotsiativlik qonuni);

5) ixtiyoriy uchta  $x \in R$ ,  $y \in R$  va  $z \in R$  sonlar uchun  $x(y + z) = xy + xz$  bo‘ladi

(ko‘paytirishning yig‘indiga nisbatan distributivlik qonuni).

Mulohazalar algebrasida bu ayniyatlarga o‘xshash, ixtiyoriy mantiqiy  $x$ ,  $y$  va  $z$  o‘zgaruvchilar uchun quyidagi teng kuchliliklar o‘rinlidir:

$$x \vee y \equiv y \vee x, \quad (1)$$

$$(x \vee y) \vee z \equiv x \vee (y \vee z), \quad (2)$$

$$x \wedge y \equiv y \wedge x, \quad (3)$$

$$(x \wedge y) \wedge z \equiv x \wedge (y \wedge z), \quad (4)$$

$$x \wedge (y \vee z) \equiv (x \wedge y) \vee (x \wedge z). \quad (5)$$

Bu teng kuchliliklarning to‘g‘riligini tekshirish uchun chinlik jadvalidan foydalanish mumkin. Yuqoridagi (1) – (4) teng kuchliliklarning to‘g‘riligini tekshirishni o‘quvchiga havola qilib, faqat (5) teng kuchlilikning to‘g‘riligini tasdiqlaydigan chinlik jadvalini keltirish bilan kifoyalanamiz (1- jadvalga qarang). (1) – (4) teng kuchliliklardan ko‘rinib turibdiki, diz‘yunksiya va kon‘yunksiya mantiqiy amallari, oddiy algeb-

I- jadval

$x$	$y$	$z$	$y \vee z$	$x \wedge y$	$x \wedge z$	$x \wedge (y \vee z)$	$(x \wedge y) \vee (x \wedge z)$
yo	yo	yo	yo	yo	yo	yo	yo
yo	yo	ch	ch	yo	yo	yo	yo
yo	ch	yo	ch	yo	yo	yo	yo
yo	ch	ch	ch	yo	yo	yo	yo
ch	yo	yo	yo	yo	yo	yo	yo
ch	yo	ch	ch	yo	ch	ch	ch
ch	ch	yo	ch	ch	yo	ch	ch
ch	ch	ch	ch	ch	ch	ch	ch

radagi qo‘sish va ko‘paytirish amallari kabi, kommutativlik va assotsiativlik xossalariiga egadir.

Mulohazalar algebrasida, oddiy algebradan farqli o‘larоq, kon‘yunksiyaning diz‘yunksiyaga nisbatan distributivlik xossasi ((5) teng kuchlilik)

bilan bir qatorda diz'yunksiyaning kon'yunksiyaga nisbatan distributivlik xossasi ham o'rnildir. Diz'yunksiyaning kon'yunksiyaga nisbatan distributivlik xossasini ifodalovchi

$$x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z) \quad (6)$$

teng kuchlilikning to'g'riligini 2- chinlik jadvali tasdiqlaydi.

2-jadval

$x$	$y$	$z$	$y \wedge z$	$x \vee y$	$x \vee z$	$x \vee (y \wedge z)$	$(x \vee y) \wedge (x \vee z)$
yo	yo	yo	yo	yo	yo	yo	yo
yo	yo	ch	yo	yo	ch	yo	yo
yo	ch	yo	yo	ch	yo	yo	yo
yo	ch	ch	ch	ch	ch	ch	ch
ch	yo	yo	yo	ch	ch	ch	ch
ch	yo	ch	yo	ch	ch	ch	ch
ch	ch	yo	yo	ch	ch	ch	ch
ch	ch	ch	ch	ch	ch	ch	ch

Shuni ta'kidlash kerakki, oddiy algebrada (6) teng kuchlilikka o'xshash tenglik ayniyat bo'lmaydi, ya'ni  $x + yz = (x + y)(x + z)$  tenglik ixtiyoriy  $x \in R$ ,  $y \in R$  va  $z \in R$  sonlar uchun bajarilmasligi mumkin.

Yuqorida ifodalangan o'xshashliklar asosida kon'yunksiya amali iborasi o'mida mantiqiy ko'paytma amali iborasi, diz'yunksiya amali iborasi o'mida esa mantiqiy yig'indi amali iborasi ham qo'llaniladi<sup>1</sup>.

Mulohazalar algebrasini oddiy algebra bilan qiyoslashda davom etib  $x \leftrightarrow y \equiv (x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x)$  teng kuchlilik o'rnliliginini eslatamiz<sup>2</sup>. Bu teng kuchlilik berilgan  $x$  va  $y$  mulohazalarning  $x \leftrightarrow y$  ekvivalensiysi ikkita  $x \rightarrow y$  va  $y \rightarrow x$  implikatsiyalarning  $(x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x)$  kon'yunksiyasi shaklida ifodalanishi mumkinligini anglatadi. Boshqacha qilib aytganda, ekvivalensiya ( $\leftrightarrow$ ) belgisini implikatsiya ( $\rightarrow$ ) va kon'yunksiya ( $\wedge$ ) belgilari vositasida ifodalash mumkin. Oddiy algebrada esa, hech qanday almashtirish yordamida tenglik (=) belgisini arifmetik amallar (qo'shish (+), ayirish (-), ko'paytirish (×), bo'lish (/)) vositasida ifodalab bo'lmaydi.

<sup>1</sup> Ushbu bobning 1- paragrafiga qarang.

<sup>2</sup> Ushbu bobning 2- paragrafiga qarang.

Endi implikatsiyani boshqa mantiqiy amallar vositasida ifodalash masalasi bilan shug'ullanamiz. 3- chinlik jadvalidan ko'rinish turibdiki,  $x \rightarrow y$  va  $\bar{x} \vee y$  formulalar teng kuchlidir.

3-jadval

$x$	$y$	$\bar{x}$	$x \rightarrow y$	$\bar{x} \vee y$
yo	yo	ch	ch	ch
yo	ch	ch	ch	ch
ch	yo	yo	yo	yo
ch	ch	yo	ch	ch

Demak, (1) – (6) teng kuchliliklar qatoriga yana bitta

$$x \rightarrow y \equiv \bar{x} \vee y \quad (7)$$

teng kuchlilik qo'shiladi. (7) teng kuchlilik implikatsiya ( $\rightarrow$ ) belgisini inkor ( $\neg$ ) va diz'yunksiya ( $\vee$ ) belgilari vositasida ifodalash mumkinligini anglatadi.

Yuqoridagi mulohazalar asosida  $, \rightarrow, \vee, \wedge, \neg$  belgilar ishtirok etgan ixtiyoriy mantiqiy ifodani (formulani) faqat  $\vee, \wedge, \neg$  belgilar qatnashgan teng kuchli mantiqiy ifoda (formula) bilan almashtirish mumkin, degan xulosaga kelamiz. Ravshanki, bunga o'xhash xulosani oddiy algebrada tasdiqlash mumkin emas. Ixtiyoriy mantiqiy ifodani faqat  $\vee, \wedge, \neg$  belgilar qatnashgan teng kuchli mantiqiy ifoda bilan almashtirish mumkinligi mulohazalar algebrasining ko'plab amaliy tatlbiqlarga egaligidan darak beradi.

Mantiqiy ifodada ishtirok etuvchi  $\vee$  belgini  $\wedge$  va  $\neg$  belgilari orqali hamda  $\wedge$  belgini  $\vee$  va  $\neg$  belgilari orqali ifodalash mumkin. Bu tasdiq ikki karra inkorni o'chirish qonuni va de Morgan qonunlari deb ataluvchi teng kuchliliklarga asoslanadi. Ikki karra inkorni o'chirish qonuni

$$\overline{\bar{x}} \equiv x, \quad (8)$$

de Morgan qonunlari esa

$$\overline{x \vee y} \equiv \bar{x} \wedge \bar{y}, \quad (9)$$

$$\overline{x \wedge y} \equiv \bar{x} \vee \bar{y} \quad (10)$$

teng kuchliliklar bilan ifodalananadi. Bu qonunlarning o'rnliligi esa chinlik jadvallari yordamida osongina tekshiriladi.

Mantiqiy ifodada ishtirok etuvchi  $\vee$  belgini  $\wedge$  va  $\neg$  belgilari orqali ifodalash uchun

$$x \vee y \equiv \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}} \quad (11)$$

va, shunga o'xshash,  $\wedge$  belgini  $\vee$  va  $\neg$  belgilari orqali ifodalash uchun  
 $x \wedge y \equiv \bar{x} \vee \bar{y}$  (12)

teng kuchliliklardan foydalaniladi. (11) va (12) teng kuchliliklarni isbotlashni o'quvchiga havola qilamiz.

Shunday qilib, mulohazalar algebrasining ixtiyoriy mantiqiy ifodasini unga teng kuchli va tarkibida mantiqiy amal belgilari sifatida faqat  $\wedge$  va  $\neg$  yoki faqat  $\vee$  va  $\neg$  belgilar qatnashgan mantiqiy ifoda bilan almashtirish mumkin. Shunga o'xshash, mulohazalar algebrasining ixtiyoriy mantiqiy ifodasini unga teng kuchli va tarkibida mantiqiy amal belgilari sifatida faqat  $\rightarrow$  va  $\neg$  belgilar qatnashgan mantiqiy ifoda bilan almashtirish imkoniyati borligini ko'rsatish mumkin.

Shuni ta'kidlash kerakki, mulohazalar algebrasining ixtiyoriy mantiqiy ifodasini unga teng kuchli va tarkibida mantiqiy amal belgisi sifatida faqatgina Sheffer shtrixi bo'lgan mantiqiy ifoda bilan almashtirish imkoniyati ham bor. Bu tasdiq, mulohazalar algebrasining ixtiyoriy mantiqiy ifodasini unga teng kuchli va tarkibida mantiqiy amal belgilari sifatida faqat  $\wedge$  va  $\neg$  belgilar qatnashgan mantiqiy ifoda bilan almashtirish mumkinligi hamda

$$\bar{x} \equiv x|x, x \wedge y \equiv (x|y)|(x|y)$$

teng kuchliliklarga asoslanadi. Sheffer amali ta'rifidan foydalanib, chinlik jadvali yordamida, yuqoridagi ikkita va quyidagi uchta teng kuchliliklarning o'rnlilagini osongina tekshirish mumkin:

$$x \vee y \equiv \bar{x}|\bar{y}, x \rightarrow y \equiv x|\bar{y}, x \leftrightarrow y \equiv (x|\bar{y}) \wedge (\bar{x}|y).$$

Bu uchta teng kuchlilik oldingi ikkita teng kuchlilik bilan birgalikda yuqorida ifodalangan mulohazalar algebrasining ixtiyoriy mantiqiy ifodasini unga teng kuchli va tarkibida mantiqiy amal belgisi sifatida faqatgina Sheffer shtrixi bo'lgan mantiqiy ifoda bilan almashtirish mumkinligi haqidagi tasdiqning to'g'riligiga yana bir asosdir.

**1- misol.**  $(x \rightarrow y)(y \rightarrow x) \rightarrow (\bar{x} \leftrightarrow \bar{y})$ , mantiqiy ifodani tarkibida mantiqiy amal belgilari sifatida faqat  $\wedge$ ,  $\vee$  va  $\neg$  belgilar qatnashadigan qilib almashtirish talab etilgan bo'lsin. Avvalo,  $x \leftrightarrow y \equiv (x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow x)$  teng kuchlilik yordamida  $\leftrightarrow$  belgisini  $\rightarrow$  va  $\wedge$  belgilari orqali, (7) teng kuchlilik vositasida  $\rightarrow$  belgisini  $\vee$  va  $\neg$  belgilari orqali ifodalaymiz hamda (8) teng kuchlilikdan foydalanamiz:

$$(x \rightarrow y)(y \rightarrow x) \rightarrow (\bar{x} \leftrightarrow \bar{y}) \equiv (x \rightarrow y)(y \rightarrow x) \rightarrow (\bar{x} \rightarrow \bar{y})(\bar{y} \rightarrow \bar{x}) \equiv \\ \equiv (\bar{x} \vee y)(\bar{y} \vee x) \rightarrow (\bar{\bar{x}} \vee \bar{y})(\bar{y} \vee \bar{x}) \equiv \overline{(\bar{x} \vee y)(\bar{y} \vee x)} \vee \overline{(x \vee \bar{y})(y \vee \bar{x})}.$$

Kommunitativlik va distributivlik qonunlaridan foydalanib, berilgan ifoda uchun quyidagi teng kuchlilikni yozish mumkin:

$$(x \rightarrow y)(y \rightarrow x) \rightarrow (\bar{x} \leftrightarrow \bar{y}) \equiv xy \vee \bar{x}\bar{y} \vee x\bar{x} \vee \bar{y}y \vee \bar{x}\bar{y}. \blacksquare$$

"Mulohazalar algebrasining ixtiyoriy mantiqiy ifodasini unga teng kuchli va tarkibida mantiqiy amal belgisi sifatida faqat uchta (masalan,  $\neg$ ,  $\wedge$  va  $\vee$ ), yo faqat ikkita (masalan,  $\neg$  va  $\wedge$ ), yoki faqat bitta (masalan, Sheffer shtrixi) amal belgisi bo'lgan mantiqiy ifoda bilan almashtirishning hojati bormi?" degan tabiiy savol tug'iladi. Bu savolga, vaziyatga qarab, ham salbiy, ham ijobjiy javob berish mumkin.

Birinchidan, ishlatalishi ko'zda tutilgan formulalardan ko'rinish turib-diki, berilgan mantiqiy ifoda zarur almashtirishlar bajarilib, faqat uchta, yo faqat ikkita yoki faqat bitta mantiqiy amal belgisi qatnashgan mantiqiy ifodaga keltirilganda, u, odatda, dastlabki ifodaga nisbatan ko'p sondagi uch, yo ikki, yoki bir xil mantiqiy amallar qatnashgan ifodaga keladi. Shu sababli bunday mantiqiy ifodani ko'zdan kechirish qiyinlashadi.

Ikkinchidan, bunday almashtirish imkoniyati borligi mulohazalar algebrasining turli amaliy masalalarini hal etishda katta ahamiyatga ega bo'lishiga sabab bo'ladi, jumladan, uning elektrotexnikadagi tatbiqida bu imkoniyat muhim rol o'yndaydi, chunki u yerda ishlataladigan mantiqiy ifodalarda faqat uchta  $\vee$ ,  $\wedge$ ,  $\neg$  belgi qatnashadi. Bundan tashqari, mantiqiy xulosalarning qonuniyatlarini bayon etishda bu imkoniyatdan foydalanish mumkin.

To'g'riligini chinlik jadvalidan foydalanib osongina tekshirish mumkin bo'lgan quyidagi teng kuchliliklardan (qonunlardan) ixtiyoriy mantiqiy ifodani kerakli ko'rinishga keltirishda foydalanish mumkin.

$$x \wedge \bar{x} \equiv yo - \text{(qarama-qarshilik qonuni)}, \quad (13)$$

$$x \vee \bar{x} \equiv ch - \text{(uchinchisini istisno qilish qonuni)}, \quad (14)$$

$$x \wedge x \equiv x, x \vee x \equiv x - \text{(idempotentlik qonunlari)}, \quad (15)$$

$$x \wedge (x \vee y) \equiv x, x \vee x \wedge y \equiv x \text{ (yutilish qonunlari)}, \quad (16)$$

$$x \vee yo \equiv x, x \vee ch \equiv ch, x \wedge ch \equiv x, x \wedge yo \equiv yo. \quad (17)$$

(1)-(17) teng kuchliliklar asosiy teng kuchliliklar deb ataladi.

**4.2. Teng kuchli formulalarga doir teoremlar.** Endi teng kuchli formulalarga doir ayrim teoremlarni keltiramiz.

**1-teorema.** *A va B formulalar teng kuchli bo'lishi uchun  $\bar{A}$  va  $\bar{B}$  formulalar teng kuchli bo'lishi zarur va yetarli.*

**I sboti.** Berilgan A va B formulalar uchun  $A \equiv B$  bo'lsin. U holda A va B formulalar chinlik jadvalining ixtiyoriy satrida bu formulalarning

qiymatlari bir xil bo'ladi. Shuning uchun  $\bar{A}$  va  $\bar{B}$  formulalar chinlik jadvalining ixtiyoriy satrida ularning qiymatlari ham bir xildir. Demak,  $\bar{A} \equiv \bar{B}$ . Xuddi shunga o'xshash,  $\bar{A} \equiv \bar{B}$  teng kuchlilikdan  $A \equiv B$  teng kuchlilik kelib chiqishini ko'rsatish mumkin. ■

**2- teorema.** *A va B formulalar teng kuchli bo'lishi uchun  $A \leftrightarrow B$  formula tavtologiya bo'lishi zarur va yetarli.*

**I sboti.** 1. Berilgan  $A$  va  $B$  formulalar uchun  $A \equiv B$  bo'lsin. U holda ekvivalensiya ta'rifiga asosan,  $A \leftrightarrow B$  formula chinlik jadvalining barcha satrlaridagi qiymatlari ch bo'ladi. Demak,  $A \leftrightarrow B$  formula tavtologiyani ifodalaydi.

2.  $A \leftrightarrow B$  formula tavtologiya bo'lsin. U holda  $A \leftrightarrow B$  formula chinlik jadvalining  $A \leftrightarrow B$  ustunidagi barcha qiymatlari ch bo'ladi. Bundan, ekvivalensiya ta'rifiga ko'ra, chinlik jadvalining har bir satridagi  $A$  va  $B$  formulalarga mos qiymatlari bir xil, ya'ni  $A \equiv B$  teng kuchlilik o'rnliligi kelib chiqadi. ■

**2- misol.** De Morgan qonunlari va 2- teoremaga ko'ra  $x \vee y \leftrightarrow \bar{x} \wedge \bar{y}$  va  $x \wedge y \leftrightarrow \bar{x} \vee \bar{y}$  formulalarning har biri tavtologiyadir. ■

**3- teorema.** *Berilgan A va B formulalar uchun  $A \leftrightarrow B$  formula tavtologiya bo'lishi uchun  $\bar{A} \leftrightarrow \bar{B}$  formula tavtologiya bo'lishi zarur va yetarli.*

**I sboti.** 1. Berilgan  $A$  va  $B$  formulalar uchun  $A \leftrightarrow B$  formula tavtologiya bo'lsin. U holda, 2- teoremaga asosan,  $A \equiv B$  bo'ladi. Bundan, 1- teoremaga asosan,  $\bar{A} \equiv \bar{B}$  teng kuchlilik kelib chiqadi. Demak, ekvivalensiyaning ta'rifiga asosan,  $\bar{A} \leftrightarrow \bar{B}$  aynan tavtologiyadir.

2. Berilgan  $A$  va  $B$  formulalar uchun  $\bar{A} \leftrightarrow \bar{B}$  tavtologiya bo'lsin. Bundan  $\bar{A} \equiv \bar{B}$  kelib chiqadi va, o'z navbatida,  $A \equiv B$  bo'ladi. Demak,  $A \leftrightarrow B$  formula tavtologiyadir. ■

**4- teorema.** *Ixtiyoriy formulaning istalgan qismi o'rniga shu qismi bilan teng kuchli boshqa formulani qo'yishdan hosil bo'lgan yangi formula dastlabki formula bilan teng kuchlidir.*

**I sboti o'quvchiga** havola qilinadi. ■

**3- misol.**  $x \vee y \rightarrow z$  formula berilgan bo'lsin. Bu formula tarkibidagi  $x \vee y$  qismi o'rniga unga teng kuchli bo'lgan  $\bar{x} \wedge \bar{y}$  formulani qo'yish natijasida  $\bar{x} \wedge \bar{y} \rightarrow z$  formula hosil bo'ladi. Bu formulaga (7), (8) va (10) teng kuchliliklarni qo'llab, berilgan formulaga teng kuchli  $x \vee y \vee z$  formulani hosil qilish mumkin. Berilgan va oxirgi

formulalarning teng kuchlilikini chinlik jadvali vositasida ham ko'rsatish mumkin. Bu ish o'quvchiga havola qilinadi. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. (1) – (4) teng kuchliliklarning to'g'riligini tekshiring.
2. Ikki karra inkorni o'chirish va de Morgan qonunlarini isbotlang.
3.  $\overline{x \rightarrow y} \equiv x \wedge \overline{y}$  teng kuchlilikni isbotlang.
4.  $(\overline{x \vee y} \rightarrow \overline{x} \vee y) \wedge y$  formulani soddalashtiring.
5.  $x \rightarrow (y \rightarrow x)$  formulaning aynan chinligini isbotlang.
6. Quyidagi teng kuchliliklarni isbotlang:
  - a)  $x \vee \overline{x} \equiv y \vee \overline{y}$ ;      b)  $x \vee (y \wedge z) \equiv (x \vee y) \wedge (x \vee z)$ ;
  - d)  $x \vee (x \wedge y) \equiv x$ ;      e)  $(x \vee \overline{x}) \rightarrow y \equiv (x \wedge \overline{x}) \vee y$ ;
  - f)  $(x \vee y) \wedge (x \vee \overline{y}) \equiv x$ ;      g)  $x \vee (\overline{x} \wedge y) \equiv x \vee y$ ;
  - h)  $(x \vee y) \wedge (z \vee t) \equiv xz \vee yz \vee xt \vee yt$ ;
  - i)  $xy \vee zt \equiv (x \vee z)(y \vee z)(x \vee t)(y \vee t)$ ;
  - j)  $x_1 \wedge x_2 \wedge \dots \wedge x_n \rightarrow y \equiv x_1 \rightarrow (x_2 \rightarrow (\dots \rightarrow (x_n \rightarrow y) \dots))$ .
7. Quyidagi formulalarni soddalashtiring:
  - a)  $(x \rightarrow y) \wedge (y \rightarrow z) \rightarrow (z \rightarrow x)$ ;
  - b)  $(x \vee \overline{y} \rightarrow (z \rightarrow y \vee \overline{y} \vee x)) \wedge (x \vee \overline{x \rightarrow (x \rightarrow x)}) \rightarrow y$ ;
  - d)  $(x \wedge x \wedge \overline{x} \rightarrow y \wedge \overline{y} \rightarrow z) \vee x \vee (y \wedge z) \vee (y \wedge \overline{z})$ ;
  - e)  $(x \wedge (y \vee z \rightarrow y \vee z)) \vee (y \wedge x \wedge \overline{y}) \vee x \vee (y \wedge x \wedge \overline{x})$ .
8. Agar  $F$  aynan yolg'on formula bo'lsa, u holda  $x \wedge \overline{y} \rightarrow F \equiv x \rightarrow y$  bo'lishini isbot qiling.
9. (11) va (12) teng kuchliliklarni isbotlang.
10. Barcha asosiy mantiqiy amallarni quyidagi amallar orqali ifodalang:
  - a) diz'yunksiya, kon'yunksiya va inkor;
  - b) kon'yunksiya va inkor;
  - d) diz'yunksiya va inkor;
  - e) implikatsiya va inkor.
11. 4-teoremani isbot qiling.
12.  $\overline{x \vee y} \rightarrow z$  va  $x \vee y \vee z$  formulalarning teng kuchlilikini chinlik jadvali vositasida ko'rsating.

## *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Asosiy teng kuchliliklar deganda nimani tushunasiz?
2. Oddiy algebrada ma'lum bo'lgan ayniyatlarga o'xhash qanday mantiqiy teng kuchliliklarini bilasiz?
3. Mulohazalar algebrasidagi diz'yunksiyaning kon'yunksiyaga nisbatan distributivlik xossasiga o'xhash oddiy algebrada yig'indining ko'-paytirishga nisbatan distributivlik qonuni bormi?
4. Nega  $\leftrightarrow$ ,  $\rightarrow$ ,  $\vee$ ,  $\wedge$ ,  $\neg$  belgilar ishtirot etgan ixtiyoriy mantiqiy ifodani (formulani) faqat  $\vee$ ,  $\wedge$ ,  $\neg$  belgilar qatnashgan teng kuchli mantiqiy ifoda (formula) bilan almashtirish mumkin?
5. Ikki karra inkorni o'chirish qonunini qanday isbotlash mumkin?
6. De Morgan qonunlarini bilasizmi?
7. Nima uchun mulohazalar algebrasining ixtiyoriy mantiqiy ifodasi una enga teng kuchli va tarkibida mantiqiy amal belgisi sifatida faqatgina Sheffer shtrixi bo'lgan mantiqiy ifoda bilan almashtirish mumkin?
8. Qarama-qarshilik, uchinchisini istisno qilish, va yutilish qonunlarini isbotlay olasizmi?
9. Teng kuchli formulalarga doir teoremlarning isbotlarini bilasizmi?

### **3.5. Formulalarning normal shakllari**

*Tavtologiya. Aynan yolg'on formula. Elementar kon'yunksiya va diz'yunksiyalar. KNSh. DNSh. Kon'yunktiv va diz'yunktiv hadlar.*

**3.5.1. Elementar kon'yunksiya va elementar diz'yunksiya tushunchalari.** Turli amaliy masalalarni yechishda mantiq algebrasining ahamiyati kattadir. Jumladan, kontakt va rele-kontaktli sxemalar bilan bog'liq muammolarni hal qilishda, diskret ravishda ish ko'rvuchi texnikaga oid masalalarni hamda matematik dasturlashning turli masalalarini yechishda mantiq algebrasi ko'p qo'llaniladi. Mantiq algebrasidan foydalanib amaliy masalalarni hal qilishda esa mantiqiy formulalarning normal shakllari deb ataluvchi yozuvlar katta ahamiyatga egadir.

Oldingi paragraflarda o'rganilgan teng kuchliliklar yordamida zarur almashtirishlar bajarib mulohazalar algebrasining berilgan ixtiyoriy formulasini turli ko'rinishlarda yozish mumkin. Masalan,  $\overline{a} \rightarrow bc$  formulani  $a \vee bc$  yoki  $(a \vee b)(a \vee c)$  ko'rinishlarda yoza olamiz. Ushbu paragrafda quyidagi teng kuchliliklardan foydalanib formulalarning normal shakllari o'rganiladi:

$$\left. \begin{array}{l} \overline{x \wedge y} \equiv \bar{x} \vee \bar{y}, \quad \overline{x \vee y} \equiv \bar{x} \wedge \bar{y}, \\ x \rightarrow y \equiv \bar{x} \vee y, \quad \overline{x \rightarrow y} \equiv x \wedge \bar{y}, \\ x \Leftrightarrow y \equiv (\bar{x} \vee y) \wedge (x \vee \bar{y}), \\ \overline{x \Leftrightarrow y} \equiv (x \wedge \bar{y}) \vee (\bar{x} \wedge y), \\ x \vee (y \wedge z) \equiv (x \vee y) \wedge (x \vee z), \\ x \wedge (y \vee z) \equiv (x \wedge y) \vee (x \wedge z). \end{array} \right\} \quad (1)$$

Formulalarning normal shakllarini o'rganish jarayonida (1) teng kuchliliklardan tashqari asosiy teng kuchliliklar qatoriga kiruvchi  $x \vee y \equiv y \vee x$ ,  $x \wedge y \equiv y \wedge x$ ,  $(x \vee y) \vee z \equiv x \vee (y \vee z)$ ,  $(x \wedge y) \wedge z \equiv x \wedge (y \wedge z)$  teng kuchliliklardan, ikki karra inkomi o'chirish qonunidan, yutilish qonunlarini ifodalovchi  $x \wedge (x \vee y) \equiv x$  va  $x \vee x \wedge y \equiv x$  teng kuchliliklardan,

$$\left. \begin{array}{l} A \wedge A \equiv A, A \vee A \equiv A, A \wedge J \equiv A, A \vee J \equiv J, \\ A \wedge \bar{J} \equiv \bar{J}, A \vee \bar{J} \equiv A, A \vee \bar{A} \equiv J, A \wedge \bar{A} \equiv \bar{J} \end{array} \right\} \quad (2)$$

teng kuchliliklardan ham foydalanamiz.

Faraz qilaylik,  $\sigma$  – ch yoki yo qiymat qabul qiluvchi qandaydir parametr bo'lsin. Quyidagi belgilashni kiritamiz:

$$x^\sigma = x\sigma \vee \bar{x}\bar{\sigma}.$$

Ravshanki,

$$x^\sigma = \begin{cases} x, & \text{agar } \sigma = \text{ch bo'lsa,} \\ \bar{x}, & \text{agar } \sigma = \text{yo bo'lsa,} \end{cases}$$

hamda faqat va faqat  $x = \sigma$  bo'lgandagina  $x^\sigma$  ch qiymat qabul qiladi.

**1- ta'rif.** Berilgan elementar mulohazalar (o'zgaruvchilar) yoki ularning inkorlari kon'yunksiyalaridan tashkil topgan formula shu o'zgaruvchilar elementar kon'yunksiyasi, bu o'zgaruvchilar yoki ularning inkorlari diz'yunksiyalaridan tashkil topgan formula esa shu o'zgaruvchilar elementar diz'yunksiyasi deb ataladi.

Tabiiyki, elementar kon'yunksiya (elementar diz'yunksiya) tarkibida faqat bitta o'zgaruvchi ishtirok etishi ham mumkin. Shu sababli, bitta (masalan,  $x$ ) o'zgaruvchining o'zi yoki uning inkoridan iborat  $x$  yoki  $\bar{x}$  ko'rinishdagi ifodalar elementar kon'yunksiya ham, elementar diz'yunksiya ham bo'la oladi.

Umuman olganda, berilgan  $n$  ta  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilar elementar kon'yunksiyasi

$$x_1^{\sigma_1} \wedge x_2^{\sigma_2} \wedge \dots \wedge x_n^{\sigma_n} \quad (3)$$

ko'inishdagi, bu o'zgaruvchilar elementar diz'yunksiyasi esa

$$x_1^{\sigma_1} \vee x_2^{\sigma_2} \vee \dots \vee x_n^{\sigma_n} \quad (4)$$

ko'inishdagi formuladir. Bu yerda  $\sigma_i$  ( $i = 1, n$ ) ch yoki yo qiymat qabul qiluvchi qandaydir parametrni ifodalaydi hamda  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilar orasida bir xillari bo'lishi ham mumkin.

**3.5.2. Formulaning normal shakllari.** Formulaning normal shakllari quyidagi ta'rif asosida aniqlanadi.

**2- ta'rif.** Berilgan formulaning kon'yunktiv normal shakli deb unga teng kuchli va elementar diz'yunksiyalarining kon'yunksiyalaridan tashkil topgan formulaga, diz'yunktiv normal shakli deb esa unga teng kuchli va elementar kon'yunksiyalarining diz'yunksiyalaridan tashkil topgan formulaga aytildi.

"Kon'yunktiv normal shakl" iborasini, qisqacha, KNSh, "diz'yunktiv normal shakl" iborasini esa, DNSh deb yozamiz.

(3) formula DNShning kon'yunktiv hadi, (4) formula esa KNShning diz'yunktiv hadi deb ham yuritiladi.

1- va 2- ta'riflarga ko'ra, teng kuchli almash tirishlar bajarib, mantiq algebrasining ixtiyoriy formulasini uchun turli KNShlar va DNShlar topilishi mumkin.

**1- misol.** Distributivlik va idempotentlik qonunlariga asoslanib,  $\bar{x} \wedge \bar{y} \wedge (x \rightarrow z)$  formulaning kon'yunktiv normal shakllari, masalan,  $(x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee z)$ ,  $(x \vee y \vee y) \wedge (\bar{x} \vee z)$  va  $(x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee z) \wedge (z \vee \bar{x})$  formulalar,  $(x \vee y) \wedge (x \vee z)$  formula uchun esa diz'yunktiv normal shakllar, masalan,  $x \vee yz$  va  $x \vee xz \vee yz$  formulalar bo'lishiga ishonch hosil qilish qiyin emas. ■

**1- teorema.** Mantiq algebrasining ixtiyoriy formulasini KNShga keltirish mumkin.

**Isboti.** Mantiq algebrasining ixtiyoriy formulasini tahlil qilib, agar berilgan formula KNShda bo'lmasa, u vaqtida quyidagi ikkita hollardan biri ro'y berishini ta'kidlaymiz:

a) berilgan formuladagi elementar mulohazalar faqat  $\neg$ ,  $\wedge$  va  $\vee$  belgilari bilangina birlashtirilgan bo'lsada,  $\wedge$  belgilari eng so'nggi amallarni ifodalamaydi;

b) berilgan formula tarkibidagi elementar mulohazalar  $\neg$ ,  $\wedge$  va  $\vee$  belgilardan tashqari  $\rightarrow$  va/yoki  $\leftrightarrow$  belgilar bilan ham birlashtirilgan.

a) holda, diz'yunksiyaning kon'yunksiyaga nisbatan distributivlik xossasini ifodalovchi  $a \vee (b \wedge c) \equiv (a \vee b) \wedge (a \vee c)$  teng kuchlilikdan foydalanib, ((1)ga qarang) berilgan formulani unga teng kuchli formulaga keltiramiz.

b) holda, (1) teng kuchliliklardan foydalanib, berilgan formulaga teng kuchli va tarkibidagi elementar mulohazalari faqat  $\neg$ ,  $\wedge$  va  $\vee$  belgilar bilangina birlashtirilgan formulani hosil qilamiz. Agar hosil qilingan formula KNShda bo'limasa, u vaqtida u, albatta, a) holda ifodalangan shaklda bo'ladi. a) hol uchun ifodalangan jarayonni chekli marta qo'llagandan so'ng (zarur bo'lsa (2) teng kuchliliklardan ham foydalanib) berilgan formulaga teng kuchli KNShdag'i formulani hosil qilamiz. ■

Teoremaning yuqorida keltirilgan isboti konstruktiv xususiyatga ega, ya'ni bu isbotdan mantiq algebrasining berilgan formulasi uchun KNShni hosil qilishda algoritm sifatida foydalanish mumkin.

**2- misol.** Ushbu  $((x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y})) \vee (x \wedge (\bar{x} \vee y))$  formulaning biror KNShini topish talab etilgan bo'lsin. Berilgan formulani  $P$  bilan belgilab (1) va (2) formulalardan foydalansak, quyidagi larga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned} P &\equiv (((x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y})) \vee x) \wedge (((x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y})) \vee (\bar{x} \vee y)) \equiv \\ &\equiv ((x \vee y) \vee x) \wedge ((\bar{x} \vee \bar{y}) \vee x) \wedge \\ &\quad \wedge ((x \vee y) \vee (\bar{x} \vee y)) \wedge ((\bar{x} \vee \bar{y}) \vee (\bar{x} \vee y)) \equiv \\ &\equiv (x \vee x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee x \vee \bar{y}) \wedge (x \vee \bar{x} \vee y \vee y) \wedge (\bar{x} \vee \bar{x} \vee \bar{y} \vee y) \equiv \\ &\equiv (x \vee y) \wedge [J \vee \bar{y}] \wedge (J \vee y) \wedge (\bar{x} \vee J) \equiv \\ &\equiv (x \vee y) \wedge J \wedge J \wedge J \equiv x \vee y. \end{aligned}$$

Demak,  $P \equiv x \vee y$ . Berilgan formulaning topilgan KNShida  $x$  va  $y$  o'zgaruvchilarning bittagina elementar diz'yunksiyasi bor, ya'ni berilgan formula uchun KNSh bittagina  $x \vee y$  diz'yunktiv haddan iboratdir. ■

**3- misol.**  $Q \equiv \overline{x \vee y} \leftrightarrow x \wedge y$  formulani KNShga keltirish maqsadida 2- misoldagidek ish yuritib,

$$\begin{aligned} Q &\equiv (\overline{x \vee y} \vee (x \wedge y)) \wedge ((\overline{x \vee y}) \vee (\overline{x \wedge y})) \equiv \\ &\equiv ((x \vee y) \vee (x \wedge y)) \wedge ((\bar{x} \wedge \bar{y}) \vee (\bar{x} \wedge \bar{y})) \equiv \end{aligned}$$

$$\equiv ((x \vee y \vee x) \wedge (x \vee y \vee y)) \wedge ((\bar{x} \vee \bar{x} \vee \bar{y}) \wedge (\bar{y} \vee \bar{x} \vee \bar{y})) \equiv \\ \equiv (x \vee y) \wedge (x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y}) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y}) \equiv (x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y})$$

teng kuchliliklarga ega bo'larmiz. Shunday qilib,  $(x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y})$  formula berilgan  $Q$  formula uchun KNSh bo'lib, u ikkita  $x \vee y$  va  $\bar{x} \vee \bar{y}$  diz'yunktiv hadlarning kon'yunksiyasidan iboratdir. ■

**2- teorema.** Mantiq algebrasining formulasi tavtologiya bo'lishi uchun uning KNShidagi barcha elementar diz'yunktiv hadlarida kamida bittadan elementar mulohaza o'zining inkori bilan birga qatnashishi zarur va yetarli.

**I sboti.** 1. Mantiq algebrasining  $P$  formulasi

$$P \equiv A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_n \quad (5)$$

ko'rinishda berilgan bo'lib, uning KNShidagi barcha  $A_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) elementar diz'yunktiv hadlarida kamida bittadan elementar mulohaza bilan birga bu mulohazaning inkori ham qatnashsin. Faraz qilaylik,  $P$  formulaning  $A_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) hadida qandaydir  $x_i$ , elementar mulohaza bilan birga uning  $\bar{x}_i$ , inkori ham qatnashgan bo'lsin. U holda  $x \vee \bar{x} \equiv J$  va  $J \vee A \equiv J$  teng kuchliliklarga asosan barcha  $i = \overline{1, n}$  uchun  $A_i \equiv J$  o'rindir. Demak, agar barcha  $i = \overline{1, n}$  uchun  $A_i$  hadlar tarkibida kamida bitta elementar mulohaza bilan birga bu mulohazaning inkori ham qatnashgan bo'lsa, u holda  $P \equiv J \wedge J \wedge \dots \wedge J \equiv J$ , ya'ni  $P$  tavtologiya bo'ladi.

2. Mantiq algebrasining (5) ko'rinishda ifodalangan  $P$  formulasi tavtologiya bo'lsin. Teorema tasdig'iga teskari tasdiq o'rini deb faraz qilamiz. Ya'ni,  $P$  formula tarkibidagi  $A_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) elementar diz'yunktiv hadlardan hech bo'lmaganda bittasida hech qaysi bir elementar mulohaza o'zining inkori bilan birga qatnashmagan bo'lsin. Berilgan  $P$  formulaning KNShidagi hech qaysi bir elementar mulohaza o'zining inkori bilan birga qatnashmagan biror  $A_{i'}$  ( $1 \leq i' \leq n$ ) elementar diz'yunktiv hadini tahlil qilamiz. Bu formulada hech qaysi bir elementar mulohaza o'zining inkori bilan birga qatnashmaganligi sababli  $A_{i'}$  formula uchun tuzilgan chinlik jadvalining shunday satri topiladi, unda barcha elementar mulohazalar yo qiymatga ega bo'ladi va  $A_{i'}$  formula tarkibidagi barcha diz'yunksiya amallarini bajarish natijasi ham shu satr uchun yo bo'ladi. Shuning uchun,

kon'yunksiya amalining ta'rifiqà ko'ra,  $P$  formula uchun tuzilgan chinlik jadvalining o'sha satridagi qiymat yo bo'ladi. Bu esa teorema isbotining " $P$  formula tavtologiya bo'lsin" degan shartiga ziddir. ■

2-teorema berilgan formula tavtologiya yoki tavtologiya emasligini, chinlik jadvaliga murojaat qilmasdan, aniqlash imkonini beradi. Shuning uchun 2-teorema chinlik alomati deb yuritiladi. Chinlik alomatiga ko'ra, berilgan formulaning tavtologiya bo'lishi yoki bo'lmasligini aniqlash uchun, uni KNShga keltirish kerak. Agar formulaning KNShdagi barcha elementar dizyunksiyalar ifodasida hech bo'lmasganda bitta elementar mulohaza o'zining inkori bilan birga qatnashgan bo'lsa, u holda bu formula tavtologiya, aks holda esa tavtologiya emasligi aniqlanadi.

**4-misol.** 2-teoremadan foydalanib  $x \wedge \bar{x} \rightarrow y \wedge \bar{y}$  va  $x \wedge \bar{x} \wedge (y \wedge \bar{y} \rightarrow z)$  formulalarning tavtologiya bo'lishi yoki bo'lmasligini tekshiramiz. Berilgan formulalarni, mos ravishda,  $P$  va  $Q$  bilan belgilab, (1) va (2) formulalardan foydalansak, quyidagi KNShlarga ega bo'lamiz:

$$P = \underline{x \wedge \bar{x}} \vee y \wedge \bar{y} = \bar{x} \vee x \vee \bar{y} \vee y,$$

$$Q = (\bar{x} \vee x) \wedge (\underline{y \wedge \bar{y}} \vee z) = (\bar{x} \vee x) \wedge (\bar{y} \vee y \vee z).$$

Bu formulalarning KNShlarida kamida bittadan elementar mulohaza o'zining inkori bilan birga qatnashgani uchun berilgan formulalarning har biri tavtologiyadir. ■

**3-teorema.** Mantiq algebrasining ixtiyoriy formulasini DNShga keltirish mumkin.

**Isboti.** 1-teoremaga ko'ra mantiq algebrasining ixtiyoriy formulasini qandaydir  $\overline{A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_m}$  KNShga keltirish mumkin, bu yerda  $A_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ) – elementar dizyunksiyalar. Ravshanki, elementar dizyunksiyning inkori elementar konyunksiya bo'ladi. Shuning uchun berilgan formulaning inkori

$$\overline{A_1 \wedge A_2 \wedge \dots \wedge A_m} = \overline{\overline{A_1} \vee \overline{A_2} \vee \dots \vee \overline{A_m}}$$

DNShda bo'ladi, bunda  $\overline{A_i}$  ( $i = \overline{1, m}$ ) – elementar konyunksiyalar. ■

**4-teorema.** Mantiq algebrasining formulasi aynan yolg'on bo'lishi uchun uning DNShdagi barcha elementar kon'yunktiv hadlarida kamida bittadan elementar mulohaza o'zining inkori bilan birga qatnashishi zarur va yetarli.

**I s b o t i.** 1. Mantiq algebrasining  $P$  formulasi  $P \equiv A_1 \vee A_2 \vee \dots \vee A_n$  ko'rinishda berilgan bo'lib, uning DNShidagi barcha  $A_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) elementar kon'yunktiv hadlarida kamida bittadan elementar mulohaza bilan birga bu mulohazaning inkori ham qatnashsin. Berilgan  $P$  formulaning  $A_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) hadida qandaydir  $x_i$ , elementar mulohaza bilan birga uning  $\bar{x}_i$ , inkori ham qatnashgan bo'lsin deb faraz qilaylik. U holda  $x \wedge \bar{x} \equiv \bar{J}$  va  $\bar{J} \wedge A \equiv \bar{J}$  teng kuchliliklarga asosan barcha  $i = \overline{1, n}$  uchun  $A_i \equiv \bar{J}$  o'rindir. Demak, agar barcha  $i = \overline{1, n}$  uchun  $A_i$  hadlar tarkibida kamida bitta elementar mulohaza bilan birga bu mulohazaning inkori ham qatnashgan bo'lsa, u holda  $P \equiv \bar{J} \vee \bar{J} \vee \dots \bar{J} \vee \equiv \bar{J}$ , ya'ni  $P$  aynan yolg'on bo'ladi.

2. Mantiq algebrasining  $P$  formulasi aynan yolg'on bo'lsin. U holda  $P$  formulaning inkori doimo chin bo'ladi. Shuning uchun, 2- teoremagaga asosan,  $\bar{P}$  formulaning KNShdagi barcha elementar diz'yunksiyalarida kamida bittadan elementar mulohaza bilan birga uning inkori ham topiladi. Demak,  $\bar{\bar{P}} = P$  fopmulaning DNShdagi barcha kon'yunktiv hadlarida kamida bittadan elementar mulohaza o'zining inkori bilan birga qatnashadi. ■

4- teorema berilgan formulaning doimo yolg'on bo'lishi yoki bo'lmassligini, chinlik jadvaliga murojaat qilmasdan, aniqlash imkonini bergani uchun, uni yolg'onlik alomatiga deb atash mumkin.

#### 5- m i s o l . Berilgan

$$P \equiv (x \wedge \bar{x} \wedge y) \vee (y \wedge \bar{y} \wedge z) \vee (x \wedge y \wedge \bar{x} \wedge z \wedge \bar{z})$$

formulaning doimo yolg'on formula bo'lishini ko'rsatamiz.

Haqiqatdan ham,  $P$  formula DNShda yozilgan bo'lib, uning tarkibidagi 1- elementar kon'yunksiya ifodasida  $x$ , 2- ifodasida  $y$ , 3-sida esa  $x$  va  $z$  elementar mulohazalar o'zlarining inkorlari bilan birgalikda qatnashganlari uchun, yolg'onlik alomatiga asosan,  $P \equiv \bar{J}$ . ■

**5- t e o r e m a .** *Mulohazalar algebrasining ixtiyoriy formulasi uchun yechilish muammosi doimo ijobjiy hal bo'ladi.*

**I s b o t i.** Agar mulohazalar algebrasining berilgan formulasi KNShda bo'lmasa, uni KNShga keltirgandan so'ng, 2- teoremagaga asosan, bu formulaning tavtologiya bo'lishi yoki bo'lmassligi aniqlanadi. Agar berilgan formula tavtologiya bo'lmasa, uni DNShga keltirib, 4- teorema asosida, formulaning aynan yolg'on bo'lishi yoki bo'lmassligi aniqlanadi.

Agar tekshirilayotgan formula doimo chin va doimo yolg'on bo'lish shartlarini qanoatlantirmasa, u holda u bajariluvchi formula bo'ladi. Demak, mulohazalar algebrasining berilgan formulasi tavtologiya, aynan yolg'on yoki bajariluvchi formula bo'lishini chekli sondagi qadamlar jarayonida aniqlash mumkin. Shuning uchun mulohazalar algebrasining ixtiyoriy formulasi uchun yechilish muammosi doimo ijobiy hal bo'ladi. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Quyidagi formulalarning har biri uchun kamida ikkitadan KNSh va DNSh toping:

- a)  $a \vee (b \vee c \rightarrow a \vee b)$ ;
- b)  $\bar{x} \rightarrow y \vee z\bar{x} \rightarrow yz$ ;
- d)  $(x \leftrightarrow \bar{y}) \rightarrow (\bar{x} \wedge y) \vee \bar{y}$ ;
- e)  $x(x \leftrightarrow y)$ ;
- f)  $(x \leftrightarrow z) \rightarrow (\underline{y \rightarrow z}) \rightarrow (x \vee y \wedge z)$ ;
- h)  $(x \vee y) \wedge (y \vee z) \wedge (z \vee t) \wedge (t \vee x)$ .

2. Chinlik alomatini qo'llab ushbu bobning 3- paragrafidagi 1-topshiriqda ifodalangan formulalardan qaysilari tavtologiya bo'lishini aniqlang.

3. Yolg'onlik alomatini qo'llab ushbu bobning 3- paragrafidagi 1-topshiriqda ifodalangan formulalardan qaysilari aynan yolg'on bo'lishini aniqlang.

4. Chinlik va yolg'onlik alomatlaridan foydalanib ushbu bobning 3-paragrafidagi 3- topshiriqnini bajaring.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Formulalarning normal shakllarini o'rghanish jarayonida qaysi teng kuchliliklardan foydalaniadi?

2. Elementar kon'yunksiya va elementar diz'yunksiya deganda nimani tushunasiz?

3. Formulaning kon'yunktiv normal shakli bilan uning diz'yunktiv normal shakli tushunchalari orasida qanday o'xshashlik va farq bor?

4. DNShning kon'yunktiv hadi ifodasida bir xil o'zgaruvchilar bo'lishi mumkinmi?

5. KNShning diz'yunktiv hadi qanday aniqlanadi?

6. Mantiq algebrasining berilgan formulasi KNShga qanday keltiriladi?

7. Mantiq algebrasining formulasi tavtologiya bo'lishi uchun qanday zarur va yetarli shartlar bor?

- Mantiq algebrasining qanday formulasini DNShga keltirish mumkin?
- Mantiq algebrasining formulasini doimo yolg'on bo'lishi uchun qanday zarur va yetarli shartlar bor?
- Yechilish muammosi qanday shartlarda ijobiy hal bo'ladi?

### 3.6. Formulalarning mukammal normal shakllari

*Tavtologiya. Aynan yolg'on formula. Elementar kon'yunksiya va diz'yunksiyalar. KNSh. DNSh. Kon'yunktiv va diz'yunktiv hadlar. To'g'ri va to'liq elementar kon'yunksiya va diz'yunksiyalar. MKNSh. MDNSh. Formulani MKNShga, MDNShga keltirish algoritmi, to'liq MKNSh va MDNSh.*

**3.6.1. To'g'ri va to'liq elementar kon'yunksiya va diz'yunksiyalar.** Yuqorida teng kuchli almashtirishlar bajarib, mantiq algebrasining berilgan formulasini uchun turli KNShlar va DNShlar topish mumkinligi haqida ma'lumot berilgan edi. Formulalar uchun turli KNShlar va DNShlar orasida muayyan shartlarni qanoatlantiradiganlari muhim hisoblanadi. Quyida shunday shakllar o'rGANILADI.

**1- ta'rif.** Agar elementar kon'yunksiya (diz'yunksiya) ifodasida ishtirok etuvchi har bir elementar mulohaza shu ifodada faqat bir marta uchrasa, u holda bu ifoda to'g'ri elementar kon'yunksiya (diz'yunksiya) deb ataladi.

**1- misol.** Berilgan  $a \vee b \vee c$  va  $\bar{a} \vee d \vee f$  elementar diz'yunksiyalar to'g'ri elementar diz'yunksiyalar,  $\bar{a}bdc$  va  $\bar{a}\bar{e}cb$  elementar kon'yunksiyalar esa to'g'ri elementar kon'yunksiyalaridir. Lekin,  $a \vee u \vee u \vee c$  va  $u \vee \bar{u} \vee e \vee n$  elementar diz'yunksiyalar ifodasida  $u$  elementar mulohaza bir martadan ortiq qatnashganligi sababli, ularning hech biri to'g'ri elementar diz'yunksiya bo'la olmaydi.  $x_2$  elementar mulohaza  $x_1x_2x_3\bar{x}_2$  va  $x_2x_3\bar{x}_2x_4x_6$  elementar kon'yunksiyalar tarkibida bir martadan ortiq qatnashganligi sababli, bu ifodalarning hech qaysisi to'g'ri elementar kon'yunksiya bo'la olmaydi. ■

**2- ta'rif.** Agar berilgan elementar mulohazalarning har biri elementar kon'yunksiya (diz'yunksiya) ifodasida faqat bir matra qatnashsa, bu ifoda shu elementar mulohazalarga nisbatan to'liq elementar kon'yunksiya (diz'yunksiya) deb ataladi.

**2- misol.** Ushbu  $x_1x_2x_3$ ,  $x_1x_2x_3\bar{x}_2x_3$  va  $\bar{x}_1x_5\bar{x}_3x_2$  elementar kon'yunksiyalarning hech qaysi biri  $x_1, x_2, x_3, x_4$  elementar mulohazalarga nisbatan to'liq elementar kon'yunksiya emas, lekin ularning birinchisi  $x_1, x_2, x_3$  elementar mulohazalarga nisbatan, oxirgisi esa  $x_1, x_2, x_3, x_5$  elementar mulohazalarga nisbatan to'liq elementar kon'yunksiyadir.

Berilgan  $\bar{a} \vee b \vee d \vee c$  elementar diz'yunksiya  $a, b, c, d$  elementar mulohazalarga nisbatan to'liq elementar diz'yunksiyadir,  $x_1 \vee x_4 \vee x_3$  elementar diz'yunksiya esa  $x_1, x_3, x_4$  elementar mulohazalarga nisbatan to'liq elementar diz'yunksiya bo'lsa-da, u  $x_1, x_2, x_3, x_4$  elementar mulohazalarga nisbatan to'liq elementar diz'yunksiya bo'la olmaydi. ■

**3- ta'rif.** Agar formulaning KNShi (DNShi) ifodasida bir xil elementar diz'yunksiyalar (kon'yunksiyalar) bo'lmasa va barcha elementar diz'yunksiyalar (kon'yunksiyalar) to'g'ri hamda ifodada qatnashuvchi barcha elementar mulohazalarga nisbatan to'liq bo'lsa, u holda bu ifoda mukammal kon'yunktiv normal shakl (mukammal diz'yunktiv normal shakl) deb ataladi.<sup>1</sup>

**4- ta'rif.** Berilgan  $x_1, x_2, \dots, x_n$  elementar mulohazalarga nisbatan formulaning MKNShidagi har bir  $x_1^{\sigma_1} \vee x_2^{\sigma_2} \vee \dots \vee x_n^{\sigma_n}$  had diz'yunktiv konstituyent, uning MDNShidagi har bir  $x_1^{\sigma_1} \wedge x_2^{\sigma_2} \wedge \dots \wedge x_n^{\sigma_n}$  had esa kon'yunktiv konstituyent deb ataladi.

4- ta'rifda yerda  $\sigma_i$ , ( $i=1, n$ ) ch yoki yo qiymat qabul qiluvchi parametrnii ifodalaydi va  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilar orasida bir xillari yo'q.

**3 - misol.** Tarkibida faqat bitta asosiy mantiqiy amal qatnashgan formulalarning mukammal normal shakllari (MKNShlari va MDNShlari) 1-jadvalda keltirilgan.

Yuqoridagi tasdiqning to'g'riligini tekshirish o'quvchiga havola qilinadi.

1- jadvaldan ko'rinish turubdiki,  $\bar{x}$  formulaning MKNShi ham, MDNShi ham uning o'zidan iborat;  $x \wedge y$  formulaning MKNShida uchta ( $x \vee y$ ,  $\bar{x} \vee y$  va  $x \vee \bar{y}$ ) diz'yunktiv konstituyentlar bor, uning MDNShi esa bitta kon'yunktiv konstituyentdan (shu formulaning o'zidan) iborat; va hokazo. ■

1-jadval

Amal	MKNSh	MDNSh
$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
$x \wedge y$	$(x \vee y) \wedge (\bar{x} \vee y) \wedge (x \vee \bar{y})$	$x \wedge y$
$x \vee y$	$x \vee y$	$(x \wedge y) \vee (\bar{x} \wedge y) \vee (x \wedge \bar{y})$
$x \rightarrow y$	$\bar{x} \vee y$	$(x \wedge y) \vee (\bar{x} \wedge y) \vee (\bar{x} \wedge \bar{y})$
$x \leftrightarrow y$	$(\bar{x} \vee y) \wedge (x \vee \bar{y})$	$(x \wedge y) \vee (\bar{x} \wedge \bar{y})$

<sup>1</sup> "Mukammal kon'yunktiv normal shakl" iborasini, qisqacha, MKNSh, "mukammal diz'yunktiv normal shakl" iborasini esa, MDNSh deb yozamiz.

**1- teorema.** Elementar mulohazalarning tavtologiyadan farqli ixtiyoriy formulasi MKNShga keltirish mumkin.

Teoremaning quyidagi konstruktiv isboti tavtologiyadan farqli ixtiyoriy mantiqiy formulani MKNShga keltirish algoritmi sifatida ishlatalishi mumkin.

1. Berilgan formulani KNShga keltiramiz.

Buning uchun formulani faqat kon'yunksiya, diz'yunksiya va inkor mantiqiy amallari orqali ifodalaymiz (bunda inkor amali faqatgina o'zgaruvchilarga nisbatan qo'llanilgan bo'lishi kerak). Formulani KNShga keltirish jarayonida, vaziyatga qarab, zarur qoida va qonunlardan foydalangan holda mumkin bo'lgan soddashtirishlarni bajaramiz.

2. Agar KNSh ifodasida bittadan ko'p bir xil elementar diz'yunksiyalar topilsa, u holda  $A \wedge A \equiv A$  teng kuchlilikdan foydalaniib, ulardan faqat bittasini berilgan formulaning ifodasida qoldiramiz.

3. Agar KNSh ifodasidagi barcha elementar diz'yunksiyalar to'g'ri elementar diz'yunksiyalar bo'lsa, u holda algoritmning 4- bandiga o'tamiz, aks holda barcha elementar diz'yunksiyalarni to'g'ri elementar diz'yunksiyalarga aylantiramiz.

Buning uchun, vaziyatga qarab, quyidagi ikki jarayon qo'llanilishi mumkin:

a) agar biror elementar diz'yunksiya ifodasida birorta o'zgaruvchi o'zining inkori bilan birligida qatnashgan bo'lsa, u holda  $x \vee \bar{x} \equiv J$ ,  $A \wedge J \equiv A$  va  $J \wedge A \equiv A$  teng kuchliliklarga asosan bu elementar kon'yunksiyani KNSh ifodasidan olib tashlaymiz;

b) agar qandaydir elementar diz'yunksiya ifodasida biror o'zgaruvchi bir necha marta qatnashgan (barcha hollarda yo inkor ishorasi ostida yoki barcha hollarda inkor ishorasi ostida emas) bo'lsa, u holda  $x \vee x \equiv x$  teng kuchlilikka asosan ulardan faqatgina bittasini elementar diz'yunksiya ifodasida qoldiramiz.

Natijada, barcha elementar diz'yunksiyalar to'g'ri elementar diz'yunksiyalarga aylanadi.

4. Agar KNSh ifodasidagi barcha elementar diz'yunksiyalar to'liq elementar diz'yunksiyalar bo'lsa, u holda algoritmning 6- bandiga o'tamiz, aks holda barcha elementar diz'yunksiyalarni to'liq elementar diz'yunksiyalarga aylantiramiz. Agar KNShdagi biror elementar diz'yunksiya to'liq elementar diz'yunksiya bo'lmasa, ya'ni biror diz'yunktiv had ifodasidagi elementar mulohazalardan ba'zilari (yoki ularning inkorlari) topilmasa, u holda bunday elementar diz'yunksiyani quyidagi usul yordamida to'liq elementar diz'yunksiya holiga keltiramiz.

Masalan, tarkibida  $a, b, c, \dots, u, y, \dots, z$  elementar mulohazalar ishtirok etgan, tavtologiyadan farqli,  $F \equiv a \vee b \vee \bar{c} \vee \dots \vee u \vee \bar{y} \vee \dots \vee z$  elementar diz'yunksiya ifodasida faqat  $x$  o'zgaruvchi yoki uning inkori  $\bar{x}$  yo'q deb faraz qilaylik. U holda  $x \wedge \bar{x} \equiv \bar{J}$  va  $A \vee \bar{J} \equiv A$  teng kuchliliklardan foydalanib  $F$  elementar diz'yunksiyani ikkita to'liq elementar diz'yunksiyalar kon'yunksiyasiga keltiramiz:

$$\begin{aligned} F &\equiv (a \vee b \vee \bar{c} \vee \dots \vee u \vee \bar{y} \vee \dots \vee z) \vee (x \wedge \bar{x}) \equiv \\ &\equiv (a \vee b \vee \bar{c} \vee \dots \vee u \vee x \vee \bar{y} \vee \dots \vee z) \wedge \\ &\quad \wedge (a \vee b \vee \bar{c} \vee \dots \vee u \vee \bar{x} \vee \bar{y} \vee \dots \vee z). \end{aligned}$$

Agar biror elementar diz'yunksiya ifodasida  $m$  ta o'zgaruvchilar qatnashmayotgan bo'lsa, u holda bu jarayonni har bir o'zgaruvchi uchun (ya'ni,  $m$  marta) yoki  $m$  ta o'zgaruvchilar uchun birdaniga qo'llash natijasida bitta to'liq bo'lmasagan elementar diz'yunksiya o'mida unga teng kuchli  $2^m$  ta to'liq elementar diz'yunksiyalar kon'yunksiyalariga ega bo'lamiz.

5. Agar 4- band bajarilishi natijasida KNSh ifodasida bir xil elementar diz'yunksiyalar paydo bo'lsa, u holda algoritmnning 2- bandiga o'tamiz.

#### 6. Algoritm tugadi.

Demak, formulani MKNShga keltirish algoritmini qo'llash natijasida berilgan KNSh ifodasida bir xil elementar diz'yunksiyalar qatnashmaydi va barcha elementar diz'yunksiyalar to'g'ri va to'liq bo'ladi. 1- ta'rifga asosan bunday KNSh MKNShdir. ■

**4- misol.** Formulani MKNShga keltirish algoritmidan foydalanib  $x, y, z$  va  $u$  elementar mulohazalarning  $A \equiv (\bar{x} \rightarrow x) \wedge (y \rightarrow \bar{y}) \wedge \wedge (z \leftrightarrow u)$  formulasini MKNShga keltiramiz. Dastlab, algoritmnning 1-bandiga ko'ra, berilgan  $A$  formulani KNShga keltiramiz. Buning uchun, avvalo,  $a \rightarrow b \equiv \bar{a} \vee b$  va  $a \leftrightarrow b \equiv (\bar{a} \vee b) \wedge (a \vee \bar{b})$  teng kuchliliklardan foydalanib  $A$  formulani faqat kon'yunksiya, diz'yunksiya va inkor mantiqiy amallari orqali ifodalaymiz:

$$A \equiv (\bar{\bar{x}} \vee x) \wedge (\bar{y} \vee \bar{y}) \wedge ((\bar{z} \vee u) \wedge (z \vee \bar{u})).$$

Hosil bo'lgan formulaga  $\bar{\bar{x}} \equiv x$  teng kuchlilikni qo'llasak,  $A$  formula  $(x \vee x) \wedge (\bar{y} \vee \bar{y}) \wedge (\bar{z} \vee u) \wedge (z \vee \bar{u})$  KNShga keladi.

KNSh ifodasida barcha elementar diz'yunksiyalar turlicha bo'lganligi sababli algoritmnning 2- bandini bajarishga hojat yo'q.

KNSh ifodasidagi 1- va 2- elementar diz'yunksiyalar to'g'ri elementar diz'yunksiyalar bo'Imaganligi uchun algoritmning 3- bandida ifodalangan jarayonlarni bajarishga o'tamiz. KNSh ifodasidagi hech qaysi elementar diz'yunksiya ifodasida birorta ham o'zgaruvchi o'zining inkori bilan birgalikda qatnashmaganligi sababli 3- banddag'i a) hol bu yerda ro'y bermaydi. KNSh ifodasidagi 1- elementar diz'yunksiyada  $x$ , 2- elementar diz'yunksiyada esa  $\bar{y}$  ikki marta qatnashgani uchun b) holda bayon qilingandek ish yuritib,  $A$  formula uchun barcha elementar diz'yunksiyalari to'g'ri elementar diz'yunksiyalardan iborat  $x \wedge \bar{y} \wedge (\bar{z} \vee u) \wedge (z \vee \bar{u})$  KNShni hosil qilamiz. Ushbu bobning 5- paragrafidagi 2- teoremag'a asosan,  $A$  formula tautologiya emas.

Algoritmning 4- bandini bajaramiz. Ko'rinish turibdiki, KNShdagi 1- elementar diz'yunksiyada  $y$ ,  $z$  va  $u$ , 2- elementar diz'yunksiyada  $x$ ,  $z$  va  $u$ , 3- va 4- elementar diz'yunksiyalarda esa  $x$  va  $y$  o'zgaruvchilar yoki ularning inkorlari yo'q. Shularni e'tiborga olib, KNSh ifodasidagi to'rtala elementar diz'yunksiyalarni to'liq elementar diz'yunksiyalar shakliga keltirish maqsadida 4- bandda ifodalangan jarayonni qo'llaymiz. Natijada 1- elementar diz'yunksiya ( $x$ ) uchun

$$\begin{aligned}
x &\equiv x \vee (y \wedge \bar{y}) \equiv (x \vee y) \wedge (x \vee \bar{y}) \equiv \\
&\equiv ((x \vee y) \vee (z \wedge \bar{z})) \wedge ((x \vee \bar{y}) \vee (z \wedge \bar{z})) \equiv \\
&\equiv (x \vee y \vee z) \wedge (x \vee y \vee \bar{z}) \wedge (x \vee \bar{y} \vee z) \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z}) \equiv \\
&\equiv ((x \vee y \vee z) \vee (u \wedge \bar{u})) \wedge ((x \vee y \vee \bar{z}) \vee (u \wedge \bar{u})) \wedge \\
&\quad \wedge ((x \vee \bar{y} \vee z) \vee (u \wedge \bar{u})) \wedge ((x \vee \bar{y} \vee \bar{z}) \vee (u \wedge \bar{u})) \equiv \\
&\equiv (x \vee y \vee z \vee u) \wedge (x \vee y \vee z \vee \bar{u}) \wedge \\
&\quad \wedge (x \vee y \vee \bar{z} \vee u) \wedge (x \vee y \vee \bar{z} \vee \bar{u}) \wedge \\
&\quad \wedge (x \vee \bar{y} \vee z \vee u) \wedge (x \vee \bar{y} \vee z \vee \bar{u}) \wedge \\
&\quad \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee u) \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee \bar{u}),
\end{aligned}$$

2- elementar diz'yunksiya ( $\bar{y}$ ) uchun<sup>1</sup>

$$\begin{aligned}
\bar{y} &\equiv (x \vee \bar{y} \vee z \vee u) \wedge (x \vee \bar{y} \vee z \vee \bar{u}) \wedge \\
&\quad \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee u) \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee \bar{u}) \wedge \\
&\quad \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee z \vee u) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee z \vee \bar{u}) \wedge
\end{aligned}$$

<sup>1</sup> Bu yerda va keyingi elementar diz'yunksiyalar uchun oraliq teng kuchliliklarni tushirib qoldirdik.

$$\wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee u) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee \bar{u}),$$

3- elementar diz'yunksiya ( $\bar{z} \vee u$ ) uchun

$$\begin{aligned}\bar{z} \vee u &\equiv (x \vee y \vee \bar{z} \vee u) \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee u) \wedge \\ &\quad \wedge (\bar{x} \vee y \vee \bar{z} \vee u) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee u)\end{aligned}$$

va 4- elementar diz'yunksiya ( $z \vee \bar{u}$ ) uchun

$$\begin{aligned}z \vee \bar{u} &\equiv (x \vee y \vee z \vee \bar{u}) \wedge (x \vee \bar{y} \vee z \vee \bar{u}) \wedge \\ &\quad \wedge (\bar{x} \vee y \vee z \vee \bar{u}) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee z \vee \bar{u})\end{aligned}$$

teng kuchliliklarga ega bo'lamiz.

Topilgan barcha KNShlari  $x, y, z$  va  $u$  elementar mulohazalarga nisbatan to'liq KNShlardir. Bu KNShlarni o'zaro solishtirib, ularning tarkibida bir xil elementar diz'yunksiyalar bor (masalan, 1- va 2-KNShlardagi  $x \vee \bar{y} \vee z \vee u$  elementar diz'yunksiya) bo'lgan vaziyat ro'y beraganligini aniqlaymiz. Shuning uchun, algoritmning 5- bandi boshqarishni uning 2- bandiga o'tkazadi.

Algoritmning 2- bandini bajarib,  $A$  formula uchun

$$\begin{aligned}&(x \vee y \vee z \vee u) \wedge (x \vee y \vee z \vee \bar{u}) \wedge (x \vee y \vee \bar{z} \vee u) \wedge \\ &\wedge (x \vee y \vee \bar{z} \vee \bar{u}) \wedge (x \vee \bar{y} \vee z \vee u) \wedge (x \vee \bar{y} \vee z \vee \bar{u}) \wedge \\ &\wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee u) \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee \bar{u}) \wedge (\bar{x} \vee y \vee z \vee u) \wedge \\ &\wedge (\bar{x} \vee y \vee z \vee \bar{u}) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee z \vee u) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee z \vee \bar{u}) \wedge \\ &\wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee u) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee \bar{z} \vee \bar{u})\end{aligned}$$

KNSh ifodasiga ega bo'lamiz.

Algoritmning 3- bandi boshqarishni uning 4- bandiga, 4- bandi esa 6- bandiga o'tkazadi, chunki oxirgi KNSh ifodasi uchun elementar diz'yunksiyalar to'g'ri va to'liq elementar diz'yunksiyalardir. Sunday qilib, berilgan  $A$  formula uchun oxirgi formula MKNShdir. ■

Ravshanki, agar formulaning MKNShi tarkibida qatnashuvchi barcha ifodalardagi  $\wedge$  belgi o'miga  $\vee$  belgi va, aksincha,  $\vee$  o'miga  $\wedge$  qo'yilsa, u holda MDNSh hosil bo'ladi. Xuddi shuningdek, agar formulaning MDNShi tarkibida qatnashuvchi barcha ifodalarda shunday o'zgartirishlar bajarilsa, u holda MKNSh hosil bo'ladi.

**2- teorema.** Elementar mulohazalarning aynan yolg'on bo'lmagan ixtiyoriy formulasini MDNShga keltirish mumkin.

**I sboti.** Elementar mulohazalarning aynan yolg'on formulasidan farqli berilgan formulasini  $A$  bilan belgilab, avvalo,  $\bar{A}$  formulani

MKNShga keltiramiz.  $\overline{\overline{A}} \equiv A$  teng kuchlilikdan foydalanib,  $\overline{A}$  formulaning MKNShi tarkibida qatnashuvchi barcha ifodalardagi  $\wedge$  belgi o'rniga  $\vee$  belgi va, aksincha,  $\vee$  o'rniga  $\wedge$  hamda elementar mulohazalar o'rinlariga mos ravishda ularning inkorlari, va, aksincha, elementar mulohazalarning inkorlari o'rinlariga mos ravishda ularning o'zları qo'yilsa, u holda  $A$  formulaning MDNShi hosil bo'ladi. ■

**5 - misol.** 2- teoremadan foydalanib, 4- misolda MKNShi topilgan  $A \equiv (\bar{x} \rightarrow x) \wedge (y \rightarrow \bar{y}) \wedge (z \leftrightarrow u)$  formulani MDNShga keltiramiz. Ushbu bobning 5- paragrafidagi 4- teoremaga asoslanib, berilgan  $A$  formulaning doimo yolg'on emasligiga ishonch hosil qilish qiyin emas. Avvalo mantiqiy formulani MKNShga keltirish algoritmidan foydalanib  $\overline{\overline{A}} \equiv \overline{(\bar{x} \rightarrow x) \wedge (y \rightarrow \bar{y}) \wedge (z \leftrightarrow u)}$  formulani MKNShga keltiramiz:

$$\begin{aligned}\overline{\overline{A}} &\equiv \overline{\bar{x} \rightarrow x} \vee \overline{y \rightarrow \bar{y}} \vee \overline{z \leftrightarrow u} \equiv \overline{\bar{x}x} \vee \overline{y\bar{y}} \vee \overline{zu} \equiv \\ &\equiv \overline{\bar{x}} \vee y \vee \overline{zu} \equiv (\overline{\bar{x}} \vee y \vee z \vee \overline{zu})(\overline{\bar{x}} \vee y \vee \overline{u} \vee \overline{zu}) \equiv \\ &\equiv (\overline{\bar{x}} \vee y \vee z \vee \overline{z})(\overline{\bar{x}} \vee y \vee z \vee u)(\overline{\bar{x}} \vee y \vee \overline{z} \vee \overline{u})(\overline{\bar{x}} \vee y \vee \overline{u} \vee u) \equiv \\ &\equiv (\overline{\bar{x}} \vee y \vee J)(\overline{\bar{x}} \vee y \vee z \vee u)(\overline{\bar{x}} \vee y \vee \overline{z} \vee \overline{u})(\overline{\bar{x}} \vee y \vee J) \equiv \\ &\equiv (\overline{\bar{x}} \vee y \vee z \vee u)(\overline{\bar{x}} \vee y \vee \overline{z} \vee \overline{u}).\end{aligned}$$

$\overline{\overline{A}}$  formulaning topilgan MKNShi tarkibida qatnashgan barcha  $\wedge$  belgilari o'rniga  $\vee$  belgi va, aksincha,  $\vee$  o'rniga  $\wedge$  hamda  $y, z$  va  $u$  elementar mulohazalar o'rinlariga mos ravishda  $\bar{y}, \bar{z}$  va  $\overline{u}$ , shunga o'xhash,  $\bar{x}, \bar{z}$  va  $\overline{u}$  inkorlar o'rinlariga mos ravishda  $x, y, z$  va  $u$  qo'yilsa, u holda  $A$  formulaning MDNShi  $\bar{x}\bar{y}\bar{z}u \vee x\bar{y}z$  hosil bo'ladi. ■

**5- ta'rif.** Agar formulaning MKNShi (MDNShi) ifodasida qatnashuvchi barcha elementar mulohazalardan tuzish mumkin bo'lgan barcha elementar diz'yunksiyalar (kon'yunksiyalar) shu ifodada ishtirok etsa, u holda bunday MKNSh (MDNSh) to'liq MKNSh (MDNSh) deb ataladi.

**6- misol.** Ushbu  $(x \vee y)(x \vee \bar{y})(\bar{x} \vee y)$  formula  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarga nisbatan MKNShda bo'lsada, u to'liq MKNShda emas.  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarga nisbatan to'liq MKNShi ifodasi  $(x \vee y)(x \vee \bar{y})(\bar{x} \vee y)(\bar{x} \vee \bar{y})$  ko'rinishga ega.

MDNShdagi  $xyz \vee x\bar{y}\bar{z} \vee \bar{x}yz \vee \bar{x}\bar{y}z$  formula  $x, y$  va  $z$  elementar mulohazalarga nisbatan to'liq MDNShda emas, lekin  $x\bar{y}z \vee \bar{x}yz \vee \bar{x}\bar{y}z \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z}$  formula bu elementar mulohazalarga nisbatan to'liq MDNShdagi formuladir. ■

## *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. 3- misoldagi teng kuchliliklarning to‘g‘riligini tekshiring.
2. Ushbu bobning 5- paragrafidagi 1- topshiriqda ifodalangan formulalarning har biri uchun MKNSh va MDNShini toping.
3. Quyidagi formulalarning har biri uchun MKNSh va MDNShini toping:
  - a)  $a(bc \rightarrow ab)$ ; b)  $x \rightarrow yz$ ; d)  $(x \rightarrow y) \rightarrow \bar{x}y \vee \bar{y}$ ;
  - e)  $x(x \leftrightarrow y)$ ; f)  $(a \rightarrow b) \rightarrow (b \rightarrow a)$ ; g)  $(x \vee \bar{z}) \leftrightarrow yz$ ;
  - h)  $(ab \rightarrow bc) \rightarrow (abc \leftrightarrow a)$ ; i)  $(a \rightarrow \bar{b}) \rightarrow (bc \rightarrow a\bar{c})$ ;
  - j)  $((\bar{x} \wedge y) \rightarrow (z \vee x)) \leftrightarrow ((x \vee \bar{y}) \rightarrow (\bar{z} \wedge x))$ .

## *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. To‘g‘ri elementar kon‘yunksiya va to‘g‘ri elementar diz‘yunksiya deganda nimalarni tushunasiz?
2. Berilgan elementar kon‘yunksiya (diz‘yunksiya) to‘liq elementar kon‘yunksiya (diz‘yunksiya) bo‘lishi uchun qanday shartlar bajarilishi kerak?
3. Formulaning mukammal kon‘yunktiv normal shakli deganda nimani tushunasiz?
4. Formulaning diz‘yunktiv normal shakli bilan uning mukammal diz‘yunktiv normal shakli orasida qanday farq bor?
5. Qanday vaziyatda mantiqiy formulani MKNShga keltirish algoritmini qo‘llash mumkin?
6. Formulanli MKNShga keltirish jarayonida agar qandaydir elementar diz‘yunksiya ifodasida biror o‘zgaruvchi bir necha marta qatnashgan (barcha hollarda yo inkor ishorasi ostida yoki barcha hollarda inkor ishorasi ostida emas) bo‘lsa, u holda nima qilinadi?
7. Formulanli MKNShga keltirish jarayonida agar elementar diz‘yunksiya ifodasida biror o‘zgaruvchi yoki uning inkori topilmasa, u holda bu o‘zgaruvchini formulanling tarkibiga qanday qilib kiritish mumkin?
8. Nima uchun formulani MKNShga keltirish algoritmining 3-bandida agar KNSh ifodasidagi barcha elementar diz‘yunksiyalar to‘g‘ri elementar diz‘yunksiyalar bo‘lsa, u holda algoritmining 6- bandiga o‘tilmasdan uning 4- bandiga o‘tiladi?
9. Qanday qilib berilgan formulanling inkori uchun aniqlangan MKNShdan uning MDNShi topiladi?
10. To‘liq MKNSh va to‘liq MDNSh deganda nimani tushunasiz?

### 3.7. Formulalarni tiklash

*Formula. Funksiya. Chinlik jadvali. Formulani tiklash, qatorga yoyish. Chinlik jadvali vositasida formulaning MKNShini (MDNShini) topish. n ta o'zgaruvchili formulalar va elementar kon'yunksiyalar soni.*

#### 3.7.1. Chinlik jadvali asosida formulalarni tiklash. Ushbu bobning

1- paragrafida chinlik jadvali tushunchasi o'rganilgan edi. Mantiq algebrasining berilgan ixtiyoriy formularni uchun chinlik jadvali tuzish mumkinligini ta'kidlab, ushbu paragrafda teskari masala bilan shug'ullanamiz, ya'ni berilgan chinlik jadvaliga asoslanib formulani topishni (tiklashni) o'rganamiz. Shuni ham ta'kidlash kerakki, bu masalaning yechimi, topilishi kerak bo'lган formulaga qo'yilgan shartlarga bog'liq ravishda, turlicha bo'lishi mumkin. Aniqlik uchun, dastlab, MDNShdagi formula tiklanishi kerak deb shart qo'yamiz.

Ravshanki, agar berilgan chinlik jadvali tarkibida ishtirok etayotgan elementar mulohazalar  $n$  ta bo'lsa, u holda izlanayotgan formula tarkibida o'sha elementar mulohazalar qatnashishlari shart<sup>1</sup>.

Bundan buyon, agar qandaydir  $F$  formula tarkibida  $x_1, x_2, \dots, x_n$  elementar mulohazalar qatnashsa, ya'ni  $F$  formula  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilarga bog'liq bo'lsa, u holda uni  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ko'rinishda ham yozamiz. Bundan tashqari,  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$  formulani  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilar funksiyasi<sup>2</sup>, o'zgaruvchilarni esa argumentlar deb ham yuritamiz.

$n=1$  bo'lganda chinlik jadvaliga asoslanib formulani tiklash masalasi trivialdir. Shuning uchun, dastlab,  $n=2$  bo'lgan holda berilgan chinlik jadvaliga asoslanib formulani tiklashni o'rganamiz. Tiklanayotgan formula tarkibida  $x$  va  $y$  elementar mulohazalar qatnashayotgan bo'lsin.

I- jadval

$x$	$y$	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
0	0	1	1	0	0	0	1
0	1	1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	1	0	0	0

<sup>1</sup> Agar topilgan formulani soddalashtirish imkoniyati bo'lsa, u holda bu elementar mulohazalardan ba'zilari (balki, ularning barchasi) formula soddalashgandan so'ng, uning tarkibida ishtirok etmasliklari ham mumkin.

<sup>2</sup> Ushbu bobning 9- paragrafida funksiya tushunchasi chuqurroq o'rganiladi.

O'zgaruvchilar soni  $n = 2$  bo'lganda berilgan chinlik jadvalidagi qiymatlar satrlari  $2^n = 2^2 = 4$  ta bo'ladi. Shuning uchun bu jadvalning qiymatlari turlicha bo'lgan barcha ustunlari  $2^4 = 16$  tadir.

Agar chinlik jadvalidagi qandaydir ustunning barcha satrlarida yo qiymatlar joylashgan bo'lsa (bunday ustun bitta:  $C_4^0 = 1$ ), u holda bu ustunga mos formula aynan yolg'on bo'ladi. Qolgan 15ta ustunlarga mos formulalarni (ikki argumentli funksiyalarni)  $F_i \equiv F_i(x, y)$ ,  $i = 1, 15$ , deb belgilaymiz.

Dastlab, chinlik jadvalining uchta satrida 0 va bitta satrida 1 qiymatga ega ustunlarini (bunday ustunlar  $C_4^1 = 4$  ta) qarab chiqamiz (1- jadvalga qarang). 1- jadvalga mos  $F_i$ ,  $i = 1, 4$ , formulalarni MDNShdagi formula sifatida tiklaymiz.

1- jadvaldagi  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  va  $F_4$  ustunlarning, mos ravishda, 4-, 3-, 2- va 1- satrlarida 1 qiymat va qolgan satrlarida 0 qiymat joylashgani sababli, ularni ifodalovchi formulalarda kon'yunksiya qatnashishi tabiiydir:

$$F_1 \equiv xy, F_2 \equiv \bar{x}\bar{y}, F_3 \equiv \bar{x}y, F_4 \equiv \bar{x}\bar{y}.$$

Demak,  $F_i$ ,  $i = \overline{1, 4}$ , formulalarning har biri ikki o'zgaruvchili kon'yunktiv konstituyentlardan iborat.

Endi  $x$  va  $y$  elementar mulohazalar qatnashgan chinlik jadvalining ikki satrida 0 qiymat va ikki satrida 1 qiymat joylashgan bo'lsin. Chinlik jadvalining bunday shartni qanoatlaniruvchi ustunlari  $C_4^2 = 6$  ta bo'ladi (2- jadvalga qarang). 2- jadvalga mos  $F_i$ ,  $i = 5, 10$ , formulalarni MDNShdagi formulalar sifatida topamiz.

2- jadval

$x$	$y$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	$F_7$	$F_8$	$F_9$	$F_{10}$
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0

2- jadvaldan ko'rinish turibdiki,  $F_i$ ,  $i = \overline{5, 10}$ , formulalarning har birini, tarkibida  $x$  va  $y$  elementar mulohazalar qatnashgan  $F_i$ ,  $i = 1, 4$ , kon'yunktiv konstituyentlar juftlari diz'yunksiyasi sifatida ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned} F_5 &\equiv F_1 \vee F_2 \equiv xy \vee x\bar{y}, \quad F_6 \equiv F_1 \vee F_3 \equiv xy \vee \bar{x}y, \\ F_7 &\equiv F_2 \vee F_3 \equiv x\bar{y} \vee \bar{x}y, \quad F_8 \equiv F_1 \vee F_4 \equiv xy \vee \bar{x}\bar{y}, \\ F_9 &\equiv F_2 \vee F_4 \equiv x\bar{y} \vee \bar{x}\bar{y}, \quad F_{10} \equiv F_3 \vee F_4 \equiv \bar{x}y \vee \bar{x}\bar{y}. \end{aligned}$$

Chinlik jadvalining bitta satrida 0 va uchta satrida 1 joylashgan ustunlari  $C_4^1 = 4$  ta (3-jadvalga qarang) bo'lgani uchun, bu ustunlarga mos keluvchi MDNShga ega  $F_i$ ,  $i=11, 14$ , formulalarni tiklaymiz. Bu formulalarni,  $F_i$ ,  $i=1, 4$ , kon'yunktiv konstituyentlardan uchtdan olib, ularning diz'yunksiyalari sifatida ifodalash mumkin. Agar chinlik jadvalidagi qandaydir ustunning barcha satrlarida 1 qiymat joylashgan bo'lsa (bunday ustun bitta, chunki  $C_4^4 = 1$ ), u holda bu ustunga mos

3-jadval										
$x$	$y$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_{11}$	$F_{12}$	$F_{13}$	$F_{14}$	
0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	
0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	
1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	
1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	

$$\begin{aligned} F_{11} &\equiv F_1 \vee F_2 \vee F_3 \equiv xy \vee x\bar{y} \vee \bar{x}y, \\ F_{12} &\equiv F_1 \vee F_2 \vee F_4 \equiv xy \vee x\bar{y} \vee \bar{x}\bar{y}, \\ F_{13} &\equiv F_1 \vee F_3 \vee F_4 \equiv xy \vee \bar{x}y \vee \bar{x}\bar{y}, \\ F_{14} &\equiv F_2 \vee F_3 \vee F_4 \equiv x\bar{y} \vee \bar{x}y \vee \bar{x}\bar{y}. \end{aligned}$$

formula ( $F_{15}$ ) tautologiya bo'ladi.  $F_{15}$  formula  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  va  $F_4$  kon'yunktiv konstituyentlar diz'yunksiyalari sifatida ifodalanishi mumkin:

$$F_{15} \equiv F_1 \vee F_2 \vee F_3 \vee F_4 \equiv xy \vee x\bar{y} \vee \bar{x}y \vee \bar{x}\bar{y}.$$

Bu formula ikki elementar mulohazali to'liq MDNShdan iborat.

Shunday qilib, ikkita elementar mulohaza uchun berilgan chinlik jadvallari asosida MDNShdagi mos formulalarni topish masalasi hal qilindi.

Ikkita elementar mulohaza uchun berilgan chinlik jadvallari asosida MKNShdagi mos formulalarni topish masalasini hal qilish o'quvchiga havola qilinadi<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Bu ishni chinlik jadvalidagi barcha satrlarida 1 qiymatlar joylashgan ustunni tahlil qilishdan boshlash tavsya qilinadi.

Endi tarkibida uchta ( $n=3$ ), masalan,  $x$ ,  $y$  va  $z$  elementar mulohazalar ishtirok etgan chinlik jadvali asosida mos formulalarini topish masalasini hal qilish bilan shug'ullanamiz. Bu yerda ham MDNShdagi formulalar tiklanishi kerak deb shart qo'yamiz.

$n=3$  bo'lganda berilgan chinlik jadvalidagi qiymatlar satrlari  $2^n = 2^3 = 8$  ta bo'lgani uchun, bu jadvalning qiymatlari turlicha bo'lgan barcha ustunlari  $2^{2^n} = 2^{2^3} = 2^8 = 256$  tadir.  $n=3$  bo'lganda ham, chinlik jadvalidagi qandaydir ustunning barcha satrlarida faqat 0 qiymat joylashsa (bunday ustun bitta:  $C_8^0 = 1$ ), bu ustunga mos formula aynan yolg'on bo'ladi. Qolgan 255 ta ustunga mos formulalarni (uch argumentli funksiyalarni)  $G_i \equiv G_i(x, y, z)$ ,  $i=1, 255$ , deb belgilaymiz.

Dastlab, chinlik jadvalining yettita satrida 0 va bitta satrida 1 qiymatga ega ustunlarini (bunday ustunlar  $C_8^1 = 8$  ta) qarab chiqamiz (4-jadvalga qarang). 4-jadvalga mos  $G_i$ ,  $i=1, 8$ , formulalarni MDNShdagi formula sifatida tiklaymiz.

4-jadvaldagi  $G_i$  ( $i=1, 8$ ) ustunning  $(9-i)$ -satrida 1 qiymat va qolgan satrlarida 0 qiymat joylashgani uchun, bu ustunni ifodalovchi formula uch o'zgaruvchili kon'yunktiv konstituyent sifatida ifodalanishi tabiiydir:

$$G_1 \equiv xyz, G_2 \equiv xy\bar{z}, G_3 \equiv x\bar{y}z, G_4 \equiv x\bar{y}\bar{z},$$

$$G_5 \equiv \bar{x}yz, G_6 \equiv \bar{x}y\bar{z}, G_7 \equiv \bar{x}\bar{y}z, G_8 \equiv \bar{x}\bar{y}\bar{z}.$$

4-jadval

$x$	$y$	$z$	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{z}$	$G_1$	$G_2$	$G_3$	$G_4$	$G_5$	$G_6$	$G_7$	$G_8$
0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Tarkibida  $x$ ,  $y$  va  $z$  o'zgaruvchilar qatnashgan chinlik jadvalining oltita satrida 0 qiymat va ikkita satrida 1 qiymat joylashgan bo'lsin. Chinlik jadvalining bunday shartni qanoatlantiruvchi ustunlari

$C_8^2 = \frac{8 \cdot 7}{1 \cdot 2} = 28$  ta bo'lishi ravshan. Bu ustunlarga mos MDNShdagi  $G_i$ ,

$i = \overline{9, 36}$ , formulalarni  $G_i$ ,  $i = \overline{1, 8}$ , kon'yunktiv konstituyentlar juftlari diz'yunksiyasi sifatida ifodalash mumkin:

$$G_9 \equiv G_1 \vee G_2 \equiv xyz \vee xy\bar{z}, \quad G_{10} \equiv G_1 \vee G_3 \equiv xyz \vee x\bar{y}z, \dots,$$

$$G_{36} \equiv G_7 \vee G_8 \equiv \bar{x}\bar{y}z \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z}.$$

Chinlik jadvalining beshta satrida 0 va uchta satrida 1 joylashgan ustunlari

$C_8^3 = \frac{8 \cdot 7 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 56$  ta. Bu ustunlarga mos MDNShdagi  $G_i$ ,  $i = \overline{37, 92}$ ,

formulalar

$G_i$ ,  $i = \overline{1, 8}$ , kon'yunktiv konstituyentlardan uchtadan olib, ularning diz'yunksiyalari sifatida tiklanishi mumkin:

$$G_{37} \equiv G_1 \vee G_2 \vee G_3 \equiv xyz \vee xy\bar{z} \vee x\bar{y}z,$$

$$G_{38} \equiv G_1 \vee G_2 \vee G_4 \equiv xyz \vee xy\bar{z} \vee x\bar{y}\bar{z},$$

$$\dots$$

$$G_{92} \equiv G_6 \vee G_7 \vee G_8 \equiv \bar{x}\bar{y}z \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z} \vee \bar{x}yz$$

Shunday usulda davom etib, qolgan  $G_i$ ,  $i = 93, 255$ , formulalar  $G_i$ ,  $i = \overline{1, 8}$ , kon'yunktiv konstituyentlardan 4 tadan, 5 tadan, 6 tadan, 7 tadan va 8 tadan olib, ularning diz'yunksiyalari kombinatsiyalari sifatida tiklanishi mumkin. Tabiiyki, chinlik jadvalidagi biror ustunning barcha satrlari da faqat 1 qiymat joylashgan bo'lsa (bunday ustun bitta, chunki  $C_8^8 = 1$ ), bu ustunga mos formula (uni  $G_{255}$  deb belgilagan bo'lsak) tautologiyadir.

$G_{255}$  formula 8ta  $G_i$ ,  $i = \overline{1, 8}$ , kon'yunktiv konstituyentlar diz'yunksiyalari sifatida quyidagicha to'liq MDNShda ifodalanishi mumkin.

Demak, uchta elementar mulohaza uchun ham berilgan chinlik jadvallari asosida MDNShdagi mos formulalarni topish masalasi hal qilindi. Shunga o'xshah, uchta elementar mulohaza uchun, berilgan chinlik jadvali asosida MKNShga ega mos formulalarni tiklash masalasi ham hal qilinishi mumkin<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Bu ishni ham chinlik jadvalidagi barcha satrlarida 1 qiymatlar joylashgan ustunni tahlil qilishdan boshlash ma'qul.

Yuqorida bayon qilingan usuldan foydalanib  $n$  ta  $x_1, x_2, \dots, x_n$  elementar mulohazalar uchun  $2^n$  ta satrga ega chinlik jadvallari asosida MDNSh va MDNShdagi mos formulalarni tiklash masalasi yechilishi mumkin:

$$G_{255} \equiv xyz \vee xy\bar{z} \vee x\bar{y}z \vee x\bar{y}\bar{z} \vee \bar{x}yz \vee \bar{x}y\bar{z} \vee \bar{x}\bar{y}z \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z}.$$

5-jadval

$x$	$y$	$z$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$
0	0	0	1	1	0	0	1
0	0	1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	1	0	0	1
0	1	1	0	0	1	1	1
1	0	0	1	1	0	0	0
1	0	1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	0	1	1	0
1	1	1	0	1	1	0	1

**1- misol.** Berilgan 5- chinlik jadvaliga asoslanib  $A_i \equiv A_i(x, y, z)$ ,  $i = \overline{1, 5}$ , formulalarni MDNShda yozish talab etilgan bo'lsin.

Izlangan formulalarni yuqorida bayon etilgan usuldan foydalanib (4-jadvalga qarang) quyidagicha tiklaymiz:

$$A_1 \equiv G_2 \vee G_4 \vee G_6 \vee G_8 \equiv xyz \vee xy\bar{z} \vee x\bar{y}\bar{z} \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z},$$

$$A_2 \equiv G_1 \vee G_3 \vee G_4 \vee G_6 \vee G_8 \equiv xyz \vee x\bar{y}z \vee x\bar{y}\bar{z} \vee \bar{x}\bar{y}z \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z},$$

$$A_3 \equiv G_1 \vee G_2 \vee G_5 \vee G_7 \equiv xyz \vee xy\bar{z} \vee \bar{x}yz \vee \bar{x}\bar{y}z,$$

$$A_4 \equiv G_2 \vee G_3 \vee G_5 \vee G_7 \equiv xy\bar{z} \vee x\bar{y}z \vee \bar{x}yz \vee \bar{x}\bar{y}z,$$

$$A_5 \equiv G_1 \vee G_3 \vee G_5 \vee G_6 \vee G_8 \equiv xyz \vee x\bar{y}z \vee \bar{x}yz \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z} \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z}. \blacksquare$$

**2- misol.** 5- chinlik jadvaliga asoslanib  $A_i$ ,  $i = \overline{1, 5}$ , formulalarni MKNShda tiklash talab etilgan bo'lsin. Dastlab, 6- chinlik jadvalini tuzamiz. 6- jadvaldagi yettita satrida 1 va bitta satrida 0 qiymatga ega ustunlarga mos  $B_i$ ,  $i = \overline{1, 8}$ , formulalarni MKNShdagi formula sifatida tiklaymiz. Bu jadvaldagi  $B_i$  ( $i = \overline{1, 8}$ ) ustunning  $i$ - satrida 0 qiymat va qolgan satrlarida 1 qiymat joylashgani uchun, bu ustunni ifodalovchi formula uch o'zgaruvchili diz'yunktiv konstituyent sifatida ifodalanishi mumkin:

$$B_1 \equiv x \vee y \vee z, B_2 \equiv x \vee y \vee \bar{z}, B_3 \equiv x \vee \bar{y} \vee z, B_4 \equiv x \vee \bar{y} \vee \bar{z},$$

$$B_5 \equiv \bar{x} \vee y \vee z, B_6 \equiv \bar{x} \vee y \vee \bar{z}, B_7 \equiv \bar{x} \vee \bar{y} \vee z, B_8 \equiv \bar{x} \vee \bar{y} \vee \bar{z}.$$

$x$	$y$	$z$	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{z}$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	$B_6$	$B_7$	$B_8$
0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Endi  $A_i$ ,  $i = \overline{1, 5}$ , formulalarni 5-chinlik jadvaliga asoslanib MKNShdagi formula sifatida tiklash qulay:

$$A_1 \equiv B_2 \wedge B_4 \wedge B_6 \wedge B_8 \equiv$$

$$\equiv (x \vee y \vee \bar{z}) \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z}) \wedge (\bar{x} \vee y \vee \bar{z}) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee \bar{z}),$$

$$A_2 \equiv B_2 \wedge B_4 \wedge B_7 \equiv (x \vee y \vee \bar{z}) \wedge (x \vee \bar{y} \vee \bar{z}) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee z),$$

$$A_3 \equiv B_1 \wedge B_3 \wedge B_5 \wedge B_6 \equiv$$

$$\equiv (x \vee y \vee z) \wedge (x \vee \bar{y} \vee z) \wedge (\bar{x} \vee y \vee z) \wedge (\bar{x} \vee y \vee \bar{z}),$$

$$A_4 \equiv B_1 \wedge B_3 \wedge B_5 \wedge B_8 \equiv$$

$$\equiv (x \vee y \vee z) \wedge (x \vee \bar{y} \vee z) \wedge (\bar{x} \vee y \vee z) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee \bar{z}),$$

$$A_5 \equiv B_2 \wedge B_5 \wedge B_7 \equiv (x \vee y \vee \bar{z}) \wedge (\bar{x} \vee y \vee z) \wedge (\bar{x} \vee \bar{y} \vee z). \blacksquare$$

3.7.2. Teng kuchlimas formulalar soni. Endi  $n$  ta elementar mulohazalarning o'zaro teng kuchlimas, ya'ni har xil formulalari sonini topish masalasini qaraymiz.

Agar berilgan formula tarkibida faqat bitta (masalan,  $x$ ) elementar mulohaza ishtirok etsa, u holda bu formula uchun tuzilgan chinlik jadvalining bir-biridan farqli mumkin bo'lgan qiymatlar satrlari ikkita bo'ladi. Shuning uchun  $n=1$  bo'lsa jami 4 ta ( $C_2^0 + C_2^1 + C_2^2 = 2^2 = 2^2 = 2^2$ ) turli formulalar bor. Bitta elementar mulohaza uchun bu 4 ta turli formulalarning tautologiya va aynan yolg'onidan farqli bo'lganlari (ya'ni, 2 tasi) bajariladigan formulalardir. Ularni MDNShda ham MKNShda ham, tautologiyani MDNShda, aynan yolg'on formulani esa MKNShda ifodalash mumkin.

O'zgaruvchilar soni  $n=2$  bo'lganda chinlik jadvalidagi qiymatlar satrlari  $2^n = 2^2 = 4$  ta bo'ladi. Yuqorida qaralgan chinlik jadvali asosida

formulani tiklash masalasini hal qilish jarayonida barcha mumkin bo‘lgan imkoniyatlar uchun chinlik jadvalining ustunlari tekshirilgan edi. Bu 16 ta ustunning hech qaysi ikkitasi bir xil bo‘lmaganligidan, ularga mos ikkita formula ham o‘zaro teng kuchli emas. Shuning uchun, umimiy soni  $C_4^0 + C_4^1 + C_4^2 + C_4^3 + C_4^4 = 2^4 = 2^{2^2} = 2^2$  bo‘lgan ikki o‘zgaruvchili turli formulalar bor.

Ikkita elementar mulohazalar uchun bu 16 ta turli formulaning tavoziya va aynan yolg‘ondan farqli bo‘lganlari (ya’ni, 14 ta bajariladigan formula) MDNShda ham MKNShda ham, tavoziya MDNShda, aynan yolg‘on formula esa MKNShda ifodalanishi mumkin.

O‘zgaruvchilar soni  $n=3$  bo‘lganda ham chinlik jadvali asosida formulani tiklash masalasini hal qilish jarayoniga tayanib uchta elementar mulohazaning 256 ta teng kuchlimas formulasi borligi, 256 esa  $\sum_{i=0}^8 C_8^i = 2^8 = 2^{2^3} = 2^{2^2}$  ko‘rinishda ifodalanishi mumkinligini ta’kidlaymiz.

Uchta elementar mulohaza uchun bu 256 ta turli formulaning 254 tasi (bajariladigan formulalar) MDNShda ham, MKNShda ham, tavoziya MDNShda, aynan yolg‘on formula esa MKNShda ifodalanishi mumkin.

Umuman olganda, matematik induksiya usulidan foydalanib (I bobga qarang) quyidagi tasdiqni isbotlash mumkin.

**Teorema.**  $n$  ta elementar mulohazalar uchun teng kuchlimas formulalar soni  $2^{2^n}$  ga teng.

**Isboti** o‘quvchiga havola qilinadi.

Tarkibida  $n$  ta elementar mulohaza ishtirok etgan  $2^{2^n}$  ta turli formulalardan ( $2^{2^n} - 2$ ) tasi bajariladigan formulalardir. Ular MDNShda ham MKNShda ham, tavoziya MDNShda, aynan yolg‘on formula esa MKNShda ifodalanishi mumkin.

**3.7.3. Formulani qatorga yoyish.** Yuqorida keltirilgan mulohazalardan  $n$  ta  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o‘zgaruvchilarga bog‘liq, aynan yolg‘on bo‘lmagan ixtiyoriy  $A \equiv A(x_1, x_2, \dots, x_n)$  formulani (funksiyani) MDNShda

$$A(x_1, x_2, \dots, x_n) \equiv \bigvee_{A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \in I} x_1^{\sigma_1} x_2^{\sigma_2} \dots x_n^{\sigma_n} \quad (1)$$

yozish mumkinligi kelib chiqadi. (1) teng kuchlilikning o‘ng tomonidagi (tagida  $A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \equiv 1$  yozilgan)  $\vee$  belgi  $n$  o‘zgaruvchili

$x_1^{\sigma_1} x_2^{\sigma_2} \dots x_n^{\sigma_n}$  kon'yunktiv konstituyentlar diz'yunksiyalarini bildiradi. Bu yerda diz'yunksiya amallari  $A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \equiv 1$  shartni qanoatlantiruvchi barcha kon'yunktiv konstituyentlarga nisbatan amalga oshiriladi.

(1) teng kuchlilikni quyidagicha ham yozish mumkin:

$$A(x_1, x_2, \dots, x_n) \equiv \bigvee_{(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)} A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) x_1^{\sigma_1} x_2^{\sigma_2} \dots x_n^{\sigma_n}.$$

Bu teng kuchlilikning o'ng tomonidagi diz'yunksiya amallari mumkin bo'lgan barcha  $2^n$  ta  $x_1^{\sigma_1} x_2^{\sigma_2} \dots x_n^{\sigma_n}$  kon'yunktiv konstituyentlar ustida bajarilishi ko'zda tutilsada, aslida, diz'yunksiyalar  $A(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \equiv 1$  shartni qanoatlantiruvchi kon'yunktiv konstituyentlarga nisbatan amalga oshiriladi.

(1) yozuvni matematik analizdagи funksiyaning darajali qatotga yoyilishi tushunchasiga qiyoslab,  $A(x_1, x_2, \dots, x_n)$  formulaning (funksiyaning) qatorga yoyilishi deb atash mumkin<sup>1</sup>.

Yuqorida keltirilgan mulohazalar asosida  $n$  ta  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilarga bog'liq, tautologiyadan farqli ixtiyoriy  $A \equiv A(x_1, x_2, \dots, x_n)$  formulani (funksiyani) quyidagi MKNShga keltirish mumkin:

$$A(x_1, x_2, \dots, x_n) \equiv \bigwedge_{A(\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \dots, \bar{\sigma}_n) = 0} x_1^{\sigma_1} \vee x_2^{\sigma_2} \vee \dots \vee x_n^{\sigma_n}. \quad (2)$$

(2) teng kuchlilikni

$$A(x_1, x_2, \dots, x_n) \equiv \bigwedge_{(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n)} A(\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \dots, \bar{\sigma}_n) \vee x_1^{\sigma_1} \vee x_2^{\sigma_2} \vee \dots \vee x_n^{\sigma_n}$$

ko'rinishda ham yozish mumkin. Bu teng kuchlilikning o'ng tomonidagi kon'yunksiya amallari mumkin bo'lgan barcha ( $2^n$  ta)  $x_1^{\sigma_1} \vee x_2^{\sigma_2} \vee \dots \vee x_n^{\sigma_n}$  diz'yunktiv konstituyentlar ustida bajarilishi ko'zda tutiladi, ammo, bu yerda kon'yunksiya amallari  $A(\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \dots, \bar{\sigma}_n) \equiv 0$  shartni qanoatlantiruvchi diz'yunktiv konstituyentlarga nisbatan amalga oshiriladi.

Shunday qilib, chinlik jadvalidan foydalanib (1) va (2) formulalar vositasida aynan chindan farqli istalgan funksiyani MKNSh va aynan yolg'ondan farqli istalgan funksiyani esa MDNSh ko'rinishida yozish mumkin.

<sup>1</sup> Il bobning 7- paragrafiga qarang.

## *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Ikkita elementar mulohaza uchun berilgan chinlik jadvallari asosida MKNShdagi mos formulalarni tiklang.

2. 5- chinlik jadvaliga asoslanib  $\bar{A}_i \equiv \bar{A}_i(x, y, z)$ ,  $i = \overline{1, 5}$ , formulalarni MDNShda va MKNShda yozing.

3. Tarkibidagi o'zgaruvchilarning faqat va faqat bittasi ch qiymatli bo'lgandagina ch qiymatga, qolgan hollarda esa yo qiymatga erishadigan  $R \equiv R(x, y, z)$  funksiyaning chinlik jadvalini tuzing va bu jadval asosida  $R$  funksiyani MDNShagi va MKNShagi formula sifatida tiklang.

4. Berilgan 7- chinlik jadvaliga asoslanib  $Q_i \equiv Q_i(x, y, z)$ ,  $i = \overline{1, 6}$ , formulalarni MDNShda va MKNShda yozing.

5.  $n$  argumentli teng kuchlimas funksiyalardan  $(2^n - 1)$ tasi MDNSh va bittasi MKNShda bo'lishini isbotlang.

7-jadval

$x$	$y$	$z$	$Q_1$	$Q_2$	$Q_3$	$Q_4$	$Q_5$	$Q_6$
1	1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0	1	1	1
0	1	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	0	1
0	0	1	1	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1

## *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Berilgan chinlik jadvaliga asoslanib formulani tiklash masalasining mohiyati nimada?

2. Chinlik jadvaliga asoslanib formulani tiklash masalasini hal qilishda topilishi kerak bo'lgan formulaga qo'yilgan shartning qanday ahamiyati bor?

3. Berilgan  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilar funksiyasi deganda nimani tushunasiz?

4.  $n$  ta elementar mulohazalar uchun teng kuchlimas formulalar soni qanday aniqlanadi?

5. Qanday tasdiqlarga asoslanib  $n$  o'zgaruvchili teng kuchlimas formulalardan  $(2^n - 1)$  tasi MKNShda va bittasi MDNShda bo'ladi deb aytish mumkin?

6. Funksiyaning qatorga yoyilishi deganda nimani tushunasiz?

### 3.8. Formulaning chinlik to'plami

*Elementar mulohaza. Formula. Mantiqiy amallar. Chinlik to'plami.  
Mulohazalar algebrasi. To'plamlar algebrasi.*

**3.8.1. Formulaning chinlik to'plami tushunchasi.** Ma'lumki, berilgan  $n$  ta o'zgaruvchi elementar mulohazalar uchun barcha bir-biridan farqli mumkin bo'lgan qiymatlar satrlari kombinatsiyalari  $2^n$  ta (ushbu bobning 1- paragrafiga qarang). Tarkibida  $n$  ta o'zgaruvchilar ishtirok etgan formula shu  $2^n$  ta qiymatlar satrlarining bir qismida 1, qolgan qismida esa 0 qiymatni qabul qiladi.

**1- ta'rif.** Berilgan formula tarkibidagi elementar mulohazalarning qiymatlaridan qandaydir tartibda tuzilgan va shu formulaning 1 qiymatiga mos keluvchi barcha kortejlar to'plami formulaning chinlik to'plami deb ataladi.

Ravshanki, tarkibidagi o'zgaruvchilarning soni qanday bo'lishidan qat'i nazar, aynan yolg'on formulaning chinlik to'plami bo'sh ( $\emptyset$ ) to'plamdan iboratdir.

$n$  ta elementar mulohazalarning mumkin bo'lgan barcha  $2^n$  ta teng kuchlimas formulalaridan  $C_{2^n}^1 = 2^n$  tasi qiymatlar satridagi  $n$  ta qiymatlardan faqat bittasi 1, qolgan  $(n-1)$  tasi esa 0 bo'lganda 1 qiymat qabul qiladi. Shuning uchun, bunday formulalarning har biri bir elementli chinlik to'plamiga ega.

Xuddi shuningdek,  $n$  ta elementar mulohazalarning mumkin bo'lgan barcha teng kuchlimas formulalaridan  $C_{2^n}^2$  tasi qiymatlar satridagi  $n$  ta qiymatlardan faqat ikkitasi 1, qolgan  $(n-2)$  tasi esa 0 bo'lganda 1 qiymat qabul qiladi. Shu sababli, bunday formulalarning har biri uchun chinlik to'plami ikkita kortejdan tashkil topgan bo'ladi.

Shu usulda davom etsak,  $2^n$  ta teng kuchlimas formulalardan  $C_{2^n}^3$  tasining har biri uch elementli chinlik to'plamiga,  $C_{2^n}^4$  tasining har biri to'rt elementli chinlik to'plamiga, va hokazo,  $C_{2^n}^{2^n-1} = 2^n$  tasining har biri  $(2^n - 1)$  elementli chinlik to'plamiga, bitta ( $C_{2^n}^{2^n} = 1$ ) formula esa  $2^n$  ta elementli chinlik to'plamiga egaligiga ishonch hosil qilamiz.

Tarkibida  $n$  ta elementar mulohazalar ishtirok etgan aynan chin formulaga mos chinlik to'plamini universal to'plam ( $U$ ) deb olsak, tarkibida shu elementar mulohazalar qatnashgan mumkin bo'lgan barcha formulalarning har biriga mos chinlik to'plamlar  $U$  to'plamning qismi.

to'plamlaridan iborat va bu  $U$  universal to'plam qismlari soni  $C_{2^n}^0 + C_{2^n}^1 + C_{2^n}^2 + \dots + C_{2^n}^{2^n-1} + C_{2^n}^{2^n} = 2^{2^n}$  bo'ladi.

Shunday qilib, tarkibida  $n$  ta elementar mulohazalar ishtirok etgan mumkin bo'lgan barcha formulalar bilan ularning chinlik to'plamlari orasida o'zaro bir qiymatli moslik o'rnatildi. Demak, barcha o'zaro teng kuchli formulalarga faqat bitta chinlik to'plami mos keladi.

**1- misol.** Ikkita ( $n=2$ )  $x$  va  $y$  elementar mulohazalarning  $x \wedge (x \rightarrow y) \rightarrow y$  formulasi aynan chindir (ushbu bobning 3-paragrafidagi 1- misolga qarang). Shuning uchun berilgan formulaning chinlik to'plami  $2^n = 2^2 = 4$  elementli  $\{(0,0), (0,1), (1,0), (1,1)\}$  universal to'plamdan iboratdir. ■

**2- misol.** Tarkibida uchta  $x$ ,  $y$  va  $z$  elementar mulohazalar qatnashgan  $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$  formula qiymatlar satrlarining faqat bittasida (aniqrog'i, 1,0,1 satrda) 1 qiymat, qolgan yettasida esa 0 qiymat qabul qiladi. Shuning uchun,  $\bar{x}\bar{y}\bar{z}$  formulaning chinlik to'plami  $\{(1,0,1)\}$ , ya'ni bitta  $(1,0,1)$  kortejdan tashkil topgan bo'ladi. ■

**3- misol.** Ushbu  $xyz \vee \bar{x}yz \vee x\bar{y}z$  formula tarkibida uchta kortej bo'lgan  $\{(1,1,1), (0,1,0), (1,0,1)\}$  chinlik to'plamiga egadir. ■

Agar qandaydir  $A$  formula  $P$  chinlik to'plamiga ega bo'lsa, u holda " $A$  formula  $P$  to'plamda chin qiymat qabul qiladi" (yoki, qisqacha, " $A$  formula  $P$  to'plamda chin") deb ham yuritiladi. Shunga o'xshash, " $A$  formula  $\bar{P}$  to'plamda yolg'on" deyish mumkin, bu yerda  $\bar{P} = U \setminus P$ , ya'ni  $P$  to'plamning to'ldiruvchisi. Agar  $A$  formula  $P$  to'plamda chin bo'lsa, u holda  $\bar{A}$  formula  $\bar{P}$  to'plamda chin,  $P$  to'plamda esa yolg'on bo'ladi. Xuddi shu kabi, aynan chin  $J$  formula  $U$  universal to'plamda chin va  $\bar{U} = \emptyset$  to'plamda yolg'on qiymat qabul qiladi. Aynan yolg'on  $\bar{J}$  formula esa, aksincha,  $\emptyset$  to'plamda chin va  $\bar{\emptyset} = U$  to'plamda yolg'ondir.

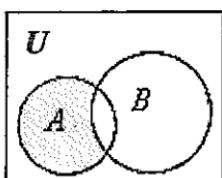
Formulalar bilan chinlik to'plamlari orasidagi yuqorida ifodalangan bog'lanish mulohazalar mantiqiga oid masalani to'plamlar nazariyasi masalasiga va, aksincha, to'plamlar nazariyasidagi masalani mulohazalar mantiqiga doir masalaga ko'chirish imkoniyatini beradi.

**3.8.2. Asosiy mantiqiy amallarning chinlik to'plamlari.** Chinlik to'plamlari mos ravishda  $A$  va  $B$  bo'lgan  $P$  va  $Q$  formulalar berilgan bo'lsin.

Kon'yunksiyaning chinlik to'plami.  $P$  va  $Q$  formulalar  $P \wedge Q$  kon'yunksiyasining chinlik to'plami  $A \cap B$  bo'ladi. Haqiqatdan ham, kon'yunksiya ta'rifiga asosan,  $P \wedge Q$  formula  $P$  va  $Q$  formulalarning ikkalasi ham chin bo'lgandagina chindir. Shuning uchun,  $P \wedge Q$  formulaning chinlik to'plami  $A$  va  $B$  to'plamlarning umumiy elementlaridan tuzilgan  $A \cap B$  kesishmasidan iborat bo'ladi. Demak, mulohazalar mantiqidagi kon'yunksiya amaliga ( $\wedge$  belgiga) to'plamlar nazariyasidagi kesishma amali ( $\cap$  belgi) mos keladi (I bobning 2-paragrafidagi 2- shaklga qarang).

**4- misol.**  $C \equiv xy\bar{z}$  va  $D \equiv xyz \vee \bar{x}\bar{y}z$  formulalarning chinlik to'plamlari, mos ravishda,  $R = \{(1,0,1)\}$  va  $S = \{(1,1,1), (0,1,0), (1,0,1)\}$  bo'lgani uchun (2- va 3- misollarga qarang)  $C \wedge D$  kon'yunksiyaning chinlik to'plami  $R \cap S = \{(1,0,1)\}$  bo'ladi. ■

Diz'yunksiyaning chinlik to'plami.  $P$  va  $Q$  formulalar  $P \vee Q$  diz'yunksiyasining chinlik to'plami  $A \cup B$  bo'ladi. Haqiqatdan ham, diz'yunksiya ta'rifiga asosan,  $P \vee Q$  formula  $P$  va  $Q$  formulalarning kamida bittasi chin bo'lgandagina chindir. Demak,  $A \cup B$  to'plamda  $P \vee Q$  formula chindir. Shunday qilib,  $P \vee Q$  formulaning chinlik to'plami  $A$  va  $B$  to'plamlarning barcha elementlaridan, ularni takrorlamasdan, tuzilgan  $A \cup B$  birlashmasidan iborat bo'ladi. Demak, mulohazalar mantiqidagi diz'yunksiya ( $\vee$ ) amaliga to'plamlar nazariyasidagi birlashma ( $\cup$ ) amali mos keladi (I bobning 2- paragrafidagi 1- shaklga qarang).



I- shakl

**5- misol.** 4- misolda aniqlangan  $C$  va  $D$  formulalar diz'yunksiyasi  $C \vee D$  uchun chinlik to'plami  $R \cup S = \{(1,1,1), (0,1,0), (1,0,1)\}$  bo'ladi. ■

Implikatsiyaning chinlik to'plami.  $P$  va  $Q$  formulalar  $P \rightarrow Q$  implikasiyaning chinlik to'plamini topamiz.  $\overline{P}$  formulaning chinlik to'plami  $\overline{A}$  va  $Q$  formulaning chinlik to'plami  $B$  bo'lgani uchun,  $P \rightarrow Q \equiv \overline{P} \vee Q$  teng kuchlilikka ko'ra,  $P \rightarrow Q$  formulaning chinlik to'plami  $\overline{A} \cup B$  bo'ladi. 1- shaklda tasvirlangan  $U$  to'plamning bo'yalmagan qismi  $P \rightarrow Q$  implikatsiyaning chinlik to'plamiga mos keladi.

**6- misol.** 4- misolda aniqlangan  $C$  va  $D$  formulalar tarkibida uchtadan  $x$ ,  $y$  va  $z$  elementar mulohazalar qatnashgani uchun,  $C \rightarrow D$  implikatsiyasining chinlik to'plamini topish maqsadida, dastlab

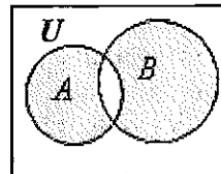
$U = \{(1,1,1), (1,1,0), (1,0,1), (1,0,0), (0,1,1), (0,1,0), (0,0,1), (0,0,0)\}$  universal to'plamni tuzamiz.  $C$  formulaning chinlik to'plami  $R = \{(1,0,1)\}$  bo'lgani uchun  $\bar{C}$  formulaning chinlik to'plami

$\bar{R} = U \setminus R = \{(1,1,1), (1,1,0), (1,0,0), (0,1,1), (0,1,0), (0,0,1), (0,0,0)\}$  bo'ladi. Endi  $\bar{R}$  to'plam bilan  $B$  formulaning  $S = \{(1,1,1), (0,1,0), (1,0,1)\}$  chinlik to'plami birlashmasini aniqlasak,  $\bar{R} \cup S = U$ , ya'ni  $C \rightarrow D$  formulaning chinlik to'plami universal to'plamdan iborat bo'ladi. Bu yerdan  $C \rightarrow D \equiv \bar{x}\bar{y}z \rightarrow (\bar{x}yz \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z} \vee x\bar{y}z) \equiv J$  xulosani hosil qilamiz. ■

Ekvivalensiyaning chinlik to'plami.  $P$  va  $Q$  formulalar  $P \leftrightarrow Q$  ekvivalensiyasining chinlik to'plamini aniqlash uchun  $P \leftrightarrow Q \equiv (\bar{P} \vee Q) \wedge (P \vee \bar{Q})$  teng kuchlilikdan foydalanamiz. Yuqorida qilingan xulosalarga ko'ra  $P \leftrightarrow Q$  formulaning chinlik to'plami  $(\bar{A} \cup B) \cap (\bar{A} \cup \bar{B})$  bo'ladi. 2- shaklda tasvirlangan  $U$  to'plamning bo'yalmagan qismi  $P \leftrightarrow Q$  ekvivalensiyaning chinlik to'plamiga mos keladi.

**7- misol.** 4- misolda aniqlangan  $C$  va  $D$  formulalar  $C \leftrightarrow D$  ekvivalensiyasining chinlik to'plamini topamiz. 6- misolda  $\bar{R} \cup S = U$  bo'lishi aniqlangan edi.  $R = \{(1,0,1)\}$  va  $\bar{S} = \{(1,1,0), (1,0,0), (0,1,1), (0,0,1), (0,0,0)\}$  to'plamlar yordamida  $R \cup \bar{S} = \{(1,1,0), (1,0,1), (1,0,0), (0,1,1), (0,0,1), (0,0,0)\}$  to'plamni topamiz. Demak,  $\{(1,1,0), (1,0,1), (1,0,0), (0,1,1), (0,0,1), (0,0,0)\}$  to'plam  $C \leftrightarrow D$  ekvivalensiyasining chinlik to'plamidir. ■

**3.8.3. Chinlik to'plami tushunchasining qo'llanilishi.** Chinlik to'plami tushunchasidan foydalanimulohazalar algebrasi bilan matematikaning boshqa sohalari, jumladan, to'plamlar algebrasi orasidagi bog'lanishlarni ifodalash mumkin. Mulohazalar algebrasidagi  $\wedge$  (kon'yunksiya),  $\vee$  (diz'yunksiya) va  $\neg$  (inkor) mantiqiy amallarga, mos ravishda, to'plamlar algebrasidagi  $\cap$  (kesishma),  $\cup$  (birlashma) va (to'ldirish) amallari to'g'ri keladi. Mulohazalar algebrasidagi 1 va 0 o'zgarmaslarga (konstantalarga) to'plamlar algebrasidagi  $U$  va  $\emptyset$



2-shakl

(universal va bo'sh) to'plamlar mos keladi. Demak, mulohazalar algebrasidagi biror ifodada (tasdiqda) belgisini  $\cap$  belgisiga,  $\vee$  ni  $U$  ga, inkor belgisini to'ldiruvchi belgisiga, 1ni  $U$  ga, 0ni  $\emptyset$  ga ( $\equiv$  ni = ga) almashtirsak, to'plamlar algebrasidagi ifoda (tasdiq) hosil bo'ladi va, aksincha almashtirishlar bajarsak, to'plamlar algebrasidagi ifodadan (tasdiqdan) mulohazalar algebrasidagi ifoda (tasdiq) hosil bo'ladi.

6- misolda chinlik to'plami tushunchasidan foydalanib  $\bar{x}\bar{y}\bar{z} \rightarrow (xyz \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z} \vee x\bar{y}\bar{z}) \equiv J$  teng kuchlilik o'rinni bo'lishi ko'rsatilgan edi. Yuqorida xulosalar asosida, mulohazalar algebrasining to'plam algebrasidagiga o'xhash tasdiqlarini keltirib chiqarish mumkin. Bunday o'xhashliklarning ayrimlarini keltiramiz.

8- misol.  $A$  va  $B$  formulalar uchun  $A \vee \bar{A} \vee B \equiv J$  teng kuchlilikning o'rinni bo'lishini ularga mos  $P$  va  $Q$  chinlik to'plamlaridan foydalanib isbotlaymiz.  $A \vee \bar{A} \vee B$  formulaning chinlik to'plami  $P \cup \bar{P} \cup Q = U \cup Q = U$ . Shu sababli,  $\bar{A} \vee A \vee B$  tautologiyadir. ■

1- teorema. Agar chinlik to'plamlari mos ravishda  $P$  va  $Q$  bo'lgan  $A$  va  $B$  formulalar uchun  $A \rightarrow B \equiv J$  teng kuchlilik o'rinni bo'lsa, u holda  $P \subseteq Q$  bo'ladi.

**I sboti.** Ma'lumki,  $A \rightarrow B$  formulaning chinlik to'plami  $U$  universal to'plamning  $P \cup Q$  qism to'plamidan iborat.  $\bar{P} \cup Q = P \setminus Q$  (I bobninig 2- paragrafidagi 10- topshiriqqa qarang) bo'lgani uchun  $A \rightarrow B \equiv J$  shartga ko'ra  $P \setminus Q = U$  bo'lishi kerak. Bundan  $P \setminus Q = \bar{U}$  yoki  $P \setminus Q = \emptyset$  kelib chiqadi. Bu esa  $P \subseteq Q$  ekanligini bildiradi. Demak,  $A \rightarrow B$  tautologiya bo'lishi uchun  $A$  formulaning chinlik to'plami  $B$  formula chinlik to'plamining qism to'plami bo'lishi shart. ■

2- teorema.  $A$  va  $B$  formulalar teng kuchli bo'lishi uchun  $A \leftrightarrow B$  formula tautologiya bo'lishi zarur va yetarli.

**I sboti.**  $A$  va  $B$  formulalarning chinlik to'plamlari, mos ravishda,  $P$  va  $Q$  bo'lsin.

a)  $A$  va  $B$  formulalar teng kuchli, ya'ni  $A \equiv B$  bo'lsin. U holda  $P = Q$  va, shu sababli  $A \leftrightarrow B$  ekvivalensianing chinlik to'plami

$$(\bar{P} \cup Q) \cap (P \cup \bar{Q}) = (\bar{P} \cup P) \cap (P \cup \bar{P}) = U \cap U = U$$

bo'ladi. Bundan  $A \leftrightarrow B$  formulalarning tautologiya ekanligi kelib chiqadi.

b)  $A \leftrightarrow B$  formula tavtologiya bo'lsin. U holda  $A \leftrightarrow B \equiv (A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow A) \equiv J$  teng kuchlilik o'rinali bo'lgani uchun, kon'yunksiya ta'rifiga asosan,  $A \rightarrow B \equiv J$  va  $B \rightarrow A \equiv J$  teng kuchliliklar o'rinalidir. 1- teoremaga ko'ra,  $P \subseteq Q$  va  $Q \subseteq P$ , ya'ni  $Q$   $P$  bo'lishi kelib chiqadi. Bu, o'z navbatida,  $A$  va  $B$  formulalarning mantiqiy ekvivalentligini tasdiqlaydi. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Ushbu bobning 2- paragrafidagi 1- topshiriqda ifodalangan formulalarning chinlik to'lamlarini tuzing.

2. Ushbu bobning 2- paragrafidagi 2- topshiriqda ifodalangan teng kuchliliklarni chinlik to'plami tushunchasidan foydalanib isbotlang.

3. Chinlik to'plami tushunchasidan foydalanib to'plam algebrasining sizga ma'lum bo'lgan tasdiqlaridan bir nechasini keltirib chiqaring (isbotlang).

4. Quyida berilgan formulalarning chinlik to'plamlarini toping:

$$a) A \equiv xy \vee x\bar{y} \vee \bar{x}y; \quad b) B \equiv (x \vee \bar{y})(\bar{x} \vee y)(\bar{x} \vee \bar{y});$$

$$d) C \equiv xyz \vee \bar{x}yz \vee x\bar{y}\bar{z};$$

$$e) D \equiv (x \vee y \vee \bar{z})(\bar{x} \vee y \vee z)(x \vee \bar{y} \vee \bar{z});$$

$$f) E \equiv \overline{xy} \leftrightarrow \bar{x} \vee xy; \quad g) F \equiv (x \leftrightarrow y) \wedge (\bar{x}\bar{y} \vee \bar{x}y);$$

$$h) G \equiv xy \rightarrow (x \rightarrow \bar{y}); \quad i) J \equiv x \vee y \rightarrow (x \leftrightarrow y);$$

$$j) L \equiv x \vee y \rightarrow z; \quad k) M \equiv (x \rightarrow z)(y \rightarrow z) \rightarrow (x \rightarrow y).$$

5. 4- topshiriqda berilgan formulalardan foydalanib  $A \vee B$ ,  $A \vee C$ ,  $A \vee D$ ,  $A \vee F$ ,  $A \wedge B$ ,  $A \wedge C$ ,  $A \wedge D$ ,  $A \wedge F$ ,  $A \rightarrow B$ ,  $A \rightarrow C$ ,  $A \leftrightarrow D$ ,  $A \leftrightarrow F$ ,  $C \rightarrow D$ ,  $C \rightarrow F$ ,  $C \rightarrow D$ ,  $C \leftrightarrow B$ ,  $C \leftrightarrow F$ ,  $F \leftrightarrow E$ ,  $A \rightarrow B \rightarrow C$ ,  $A \rightarrow F \rightarrow C$ ,  $E \rightarrow C$ ,  $E \rightarrow B$ ,  $E \rightarrow D$ ,  $G \rightarrow B$ ,  $E \leftrightarrow F$ ,  $(A \leftrightarrow F) \rightarrow C$ ,  $(A \leftrightarrow F) \rightarrow D$ ,  $A \leftrightarrow F \leftrightarrow E$ ,  $G \rightarrow C$ ,  $G \leftrightarrow D$ ,  $G \leftrightarrow F$ ,  $J \rightarrow B$ ,  $J \rightarrow C$ ,  $J \leftrightarrow D$ ,  $J \leftrightarrow F$ ,  $L \rightarrow B$ ,  $L \rightarrow C$ ,  $L \leftrightarrow D$ ,  $L \leftrightarrow F$ ,  $M \rightarrow B$ ,  $M \rightarrow C$ ,  $M \leftrightarrow D$ ,  $M \leftrightarrow F$ ,  $E \rightarrow F \rightarrow L$ ,  $M \rightarrow J \rightarrow G$ ,  $(L \leftrightarrow E) \rightarrow M$ ,  $(A \leftrightarrow G) \rightarrow F$ ,  $A \leftrightarrow M \leftrightarrow J$  formulalarning chinlik to'plamlarini toping.

6.  $f_1 \equiv \overline{xy \vee \bar{z}}$  va  $f_2 \equiv x(x\bar{y}\bar{z} \vee y\bar{v}\bar{z})$  funksiyalarga teng kuchli funksiyalarni toping.

## *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Formulaning chinlik to‘plami deganda nimani tushunasiz?
2. Tarkibida  $n$  ta elementar mulohazalar ishtiroy etgan formulaga hammasi bo‘lib nechta chinlik to‘plami mos keladi?
3. Barcha o‘zaro teng kuchli formulalarga nechta chinlik to‘plami mos keladi?
4. Nima uchun mulohazalar mantiqiga oid masalani to‘plamlar nazariyasi masalasiga va, aksincha, to‘plamlar nazariyasidagi masalani mulohazalar mantiqi masalasiga ko‘chirish mumkin?
5. Kon‘yunksiya, diz‘yunksiya, implikatsiya va ekvivalensiyaning chinlik to‘plamlari qanday aniqlanadi?
6. Implikatsiya amalini bajarish natijasida tavtologiya hosil bo‘lishi uchun mos chinlik to‘plamlari qanday shartga bo‘ysunishlari kerak?
7. Berilgan ikkita formula mantiqiy ekvivalent bo‘lishi uchun ularning ekvivalensiyasi tavtologiya bo‘lishi zarur va yetarliligi chinlik to‘plamaridan foydalanib qanday isbotlanadi?

### **3.9. Mulohazalar algebrasi funksiyalari. Bul algebrasi**

*Funksiya. Funksiyalar teng kuchliligi. 0 va 1 saqlovchi funksiyalar.  $n$  argumentli funksiyalar soni. Bir rangli superpozitsiya. Bul algebrasi.*

**3.9.1. Mulohazalar algebrasida funksiya tushunchasi.** Oddiy algebradagi funksiya tushunchasiga o‘xshash, mulohazalar algebrasida ham funksiya tushunchasi<sup>1</sup> kiritilishi mumkin. Ushbu paragrafda mulohazalar algebrasining funksiya tushunchasini chuqurroq o‘rganamiz.

Ma’lumki, oddiy algebrada funksiyaning qiymatlari turli usullar vositasida, masalan, jadval yordamida berilishi mumkin. Mulohazalar algebrasida ko‘pchilik tushunchalarni ifodalashda chinlik jadvallari qulay vosita hisoblanadi. Chinlik jadvallarida faqat ikkita o‘zgarmas (0 va 1) ishtiroy etadi. Shu tufayli  $E_2 = \{0, 1\}$  deb belgilaymiz.

**1- ta’rif. Argumentlari va o‘zi  $E_2$ , to‘plamdan qiymatlar qabul qiluvchi funksiya mulohazalar algebrasining funksiyasi deb ataladi.**

Argumentlari  $x_1, x_2, \dots, x_n$  bo‘lgan  $f$  funksiyani, odatdagidek,  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  shaklda belgilaymiz.  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  funksiya 1- chinlik jadvali vositasida berilishi mumkin.

---

<sup>1</sup> Ushbu bobning 7- paragrafiga qarang.

Bu jadvalning har bir satrida  $f$  funksiyaning  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilari  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  qiymatlari va funksiyaning bu qiymatlardan kortejlariga mos keluvchi  $f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  qiymatlari joylashgan bo'lib, bu yerda  $\alpha_j \in E_2$  ( $j = 1, n$ ). Ma'lumki,  $n$  ta o'zgaruvchili  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  funksiyaning chinlik jadvalida  $2^n$  ta qiymatlardan satri bo'lib, barcha teng kuchlimas funksiyalar soni  $2^{2^n}$  ga teng.

Mulohazalar algebrasida quyidagilar asosiy elementar funksiyalar deb yuritiladi:

$$\begin{aligned} f_1(x) &\equiv x, \quad f_2(x) \equiv \bar{x}, \\ f_3(x, y) &\equiv x \wedge y, \quad f_4(x, y) \equiv x \vee y, \\ f_5(x, y) &\equiv x \rightarrow y, \\ f_6(x, y) &\equiv x \leftrightarrow y, \\ f_7(x_1, x_2, \dots, x_n) &\equiv 1, \\ f_8(x_1, x_2, \dots, x_n) &\equiv 0. \end{aligned}$$

*I-jadval*

$x_1$	$x_2$	$\dots$	$x_n$	$f(x_1, x_2, \dots, x_n)$
0	0	$\dots$	0	$f(0, 0, \dots, 0)$
1	0	$\dots$	0	$f(1, 0, \dots, 0)$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
1	1	$\dots$	0	$f(1, 1, \dots, 0)$
1	1	$\dots$	1	$f(1, 1, \dots, 1)$

**2- ta'rif.** Agar  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  funksiya uchun  $f(0, 0, \dots, 0) \equiv 0$  bo'lsa, u holda u **0 saqlovchi funksiya**,  $f(1, 1, \dots, 1) \equiv 1$  bo'lganda esa **1 saqlovchi funksiya** deb ataladi.

"0 saqlovchi funksiya" iborasi o'rnida "yolg'on qiymat saqlovchi funksiya", "1 saqlovchi funksiya" iborasi o'rnida esa "chin qiymat saqlovchi funksiya" iborasi qo'llanilishi ham mumkin.  $n$  ta argumentli 0 saqlovchi funksiyalar soni  $2^{2^n-1}$  ga, 1 saqlovchi funksiyalarning soni ham  $2^{2^n-1}$  ga teng bo'lishini isbotlash qiyin emas.

**3.9.2. Funksiyalar teng kuchliligi.** Mulohazalar algebrasida teng kuchli formulalar tushunchasi kiritilgan edi. Bu yerda ham  $n$  argumentli funksiyalar teng kuchliligi tushunchasini kiritish mumkin.

**3- ta'rif.**  $f$  va  $g$  funksiyalar mulohazalar algebrasining funksiyalari,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilar esa ularning hech bo'lmaganda bitta-sining argumentlari bo'lsin. Agar  $x_1, x_2, \dots, x_n$  argumentlarning barcha qiymatlari satrlari uchun  $f$  va  $g$  funksiyalarning mos qiymatlari bir xil bo'lsa, u holda  $f$  va  $g$  funksiyalar teng kuchli funksiyalar deb ataladi.

Agar berilgan funksiyalar teng kuchli bo'lmasa, u holda ular teng kuchlimas funksiyalar deb yuritiladi.

Berilgan  $f$  va  $g$  funksiyalarning teng kuchliligi  $f \equiv g$  shaklda yoziladi. Agar  $f$  va  $g$  funksiyalar teng kuchlimas funksiyalar bo'lsa, u holda  $f \not\equiv g$  yozuvdan foydalaniлади.

**4-ta'rif.** Agar  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  funksiyaning qandaydir  $x_i$  argumentti uchun  $f(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_n) \equiv f(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n)$  shart qolgan  $x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n$  argumentlarning mumkin bo'gan ixtiyoriy qiymatlarida bajarilsa, u holda  $x_i$  uning soxta argumenti,  $x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n$  argumentlarning mumkin bo'gan qiymatlaridan hech bo'lmasa bittasi uchun  $f(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 1, x_{i+1}, \dots, x_n) \not\equiv f(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_n)$  shart bajarilganda esa  $x_i$  uning muhim argumenti deb ataladi.

**1-misol.** Berilgan  $f(x, y) \equiv x \vee (xy)$  funksiya uchun  $y$  soxta argumentdir, chunki  $f(x, 0) \equiv f(x, 1)$  shart  $x$  argumentning ixtiyoriy (0 yoki 1) qiymatida bajariladi. Lekin,  $x$  o'zgaruvchi  $f(x, y)$  funksiyaning muhim argumentidir, chunki  $f(0, y) \equiv 0 \not\equiv f(1, y) \equiv 1$  shart  $y$  o'zgaruvchining barcha (0 va 1) qiymatlarida o'rnlidir. ■

Mulohazalar algebrasida o'rqli bo'lgan qonun va qoidalariga asoslanib, funksiyaning qiymatini o'zgartirmasdan, uning argumentlari safiga istalgancha soxta argumentlarni kiritish va bu safdan istalgancha soxta argumentlarni olib tashlash mumkin.

**3.9.3. Funksiyalar superpozitsiyasi.** Endi formula tushunchasini funksiyalar superpozitsiyasi tushunchasi bilan bog'liq holda o'rganamiz.

$\Phi = \{\varphi_1(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k_1}), \varphi_2(x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2k_2}), \dots, \varphi_m(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mk_m})\}$  mulohazalar algebrasi funksiyalarining chekli sistemasi bo'lsin.

**5-ta'rif.** Quyidagi ikki usulning biri vositasida hosil qilinadigan  $\psi$  funksiyaga  $\Phi$  sistemadagi  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$  funksiyalarning elementiar superpozitsiyasi yoki bir rangli superpozitsiyasi deb ataladi:

a) biror  $\varphi_j \in \Phi$  funksiyaning  $x_{ji}$  argumentini qayta nomlash usuli, ya'ni  $\varphi_j(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{j{i-1}}, y, x_{j{i+1}}, \dots, x_{jk_j})$ , bu yerda  $y$  o'zgaruvchi,  $x_{jk_j}$  o'zgaruvchilarning birortasi bilan mos tushishi mumkin;

b) biror  $\varphi_j \in \Phi$  funksiyaning biror  $x_{ji}$  argumenti o'rniiga boshqa  $\varphi_m(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mk}) \in \Phi$  funksiyani qo'yish usuli, ya'ni

$$\varphi_j(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{j{i-1}}, \varphi_m(x_{m1}, x_{m2}, \dots, x_{mk}), x_{j{i+1}}, \dots, x_{jk_j}).$$

5-ta'rifda keltirilgan usullardan birortasini berilgan  $\Phi$  sistema funksiyalariga qo'llash natijasida hosil qilingan yangi funksiyalar  $\Phi^{(1)}$

sistemasiini bir rangli superpozitsiyalar sinfi deb,  $\Phi^{(1)}$  sinfi funksiyalariga qo'llash natijasida hosil qilingan funksiyalar  $\Phi^{(2)}$  sistemasiini ikki rangli superpozitsiyalari sinfi deb, va, hokazo,  $k$  rangli superpozitsiyalar  $\Phi^{(k)}$  sinfi deb ataluvchi sinflarni hosil qilamiz.

Umuman olganda,  $\Phi^{(k+1)} = (\Phi^{(k)})^{(1)}$ .

**1- izoh.** 5- ta'rifning a) qismiga asosan bir xil chinlik jadvaliga ega bo'lib, lekin o'zgaruvchilarining belgilanishi bilan farq qiladigan funksiyalar bir-birining superpozitsiyasi bo'ladi.

**2- izoh.** 5- ta'rifning a) qismiga asosan biror  $x_{ji}$  o'zgaruvchini shu funksiyaning boshqa  $x_{jk}$  ( $i \neq k$ ) o'zgaruvchisi bilan qayta nomlasak, natijada o'zgaruvchilari soni kam funksiyaga ega bo'lamiz. Bu holda  $x_{ji}$  va  $x_{jk}$  o'zgaruvchilar aynan tenglashtirildi deb aytamiz. Masalan,  $x \vee y$  va  $x \wedge \bar{y}$  funksiyalardagi  $y$  ni  $x$  bilan qayta nomlasak, u vaqtida  $x \vee x = x$  va  $x \wedge \bar{x} = 0$  funksiyalarni hosil qilamiz.

**3- izoh.** 5- ta'rifning a) qismiga asosan agar  $\Phi \subset \Phi^{(1)}$  bo'lsa, u holda  $\Phi^{(r)} \subset \Phi^{(r+1)}$  va, umuman,  $r \leq s$  bo'lganda  $\Phi^{(r)} \subseteq \Phi^{(s)}$  bo'ladi.

**6- ta'rif.**  $x, \bar{x}, xy, x \vee y, x \rightarrow y, x \leftrightarrow y$  asosiy elementar funksiyalarning superpozitsiyasi vositasida hosil qilingan ifoda formula deb ataladi.

**3.9.4. Bul algebrasi.** Ushbu bobning 4- paragrafida mulohazalar algebrasidagi asosiy teng kuchliliklarni ko'rib o'tgan edik. Endi bu teng kuchliliklardan foydalanib, mantiq fanini formallashtirgan va matematik mantiqning aksiomalar sistemasini yaratgan ingliz olimi Jorj Bul (kitobning kirish qismiga va I bobning 2- paragrafiga qarang) nomi bilan ataladigan algebrani o'rganamiz.

Mulohazalar algebrasida

$$\bar{\bar{x}} = x \quad (1)$$

teng kuchlilik o'rinni bo'lishi o'rganilgan edi. Mulohazalar algebrasining asosiy teng kuchliliklari tarkibiga kiruvchi

$$x \wedge y \equiv y \wedge x, \quad (2)$$

$$(x \wedge y) \wedge z \equiv x \wedge (y \wedge z), \quad (3)$$

$$x \vee y \equiv y \vee x, \quad (4)$$

$$(x \vee y) \vee z \equiv x \vee (y \vee z), \quad (5)$$

$$x \wedge (y \vee z) \equiv (x \wedge y) \vee (x \wedge z), \quad (6)$$

$$x \vee (y \wedge z) \equiv (x \vee y) \wedge (x \vee z), \quad (7)$$

teng kuchliliklar esa mantiq algebrasida kon'yunksiya va diz'yunksiya amallariga nisbatan kommutativlik va assotsiativlik qonunlari hamda diz'yunksiyaga nisbatan kon'yunksiya va kon'yunksiyaga nisbatan diz'yunksiyaning distributivlik qonuni o'rini bo'lishini bildiradi.

Ma'lumki, sonlar algebrasida kon'yunksiyaga nisbatan diz'yunksiyaning distributivlik qonuni o'rini emas, yuqorida ifodalangan boshqa barcha qonunlar esa amal qiladi. Shuning uchun mantiq algebrasi formulalari ustida xuddi sonlar algebrasi formulalari ustidagi kabi (kon'yunksiyaga nisbatan diz'yunksiyaning distributivlik qonuni ham o'rinnligini e'tiborga olgan holda) qavslarni ochish, qavslarga olish, umumiy ko'paytuvchini yoki qo'shiluvchini qavslardan tashqariga chiqarish amallarini bajarish mumkin.

Bundan tashqari, mantiq algebrasida, sonlar algebrasidan farqli o'laroq,

$$\overline{x \vee y} = \bar{x} \wedge \bar{y}, \quad (8)$$

$$\overline{x \wedge y} = \bar{x} \vee \bar{y}, \quad (9)$$

$$x \wedge (x \vee y) = x$$

teng kuchliliklarga asoslangan almashtirishlarni ham bajarish mumkin. Bu holat turli yo'naliшhاردаги umumlashtirishlarni bajarish imkonini beradi. Masalan, quyidagi umumlashtirishni keltirish mumkin.

Bo'sh bo'lmagan  $M$  to'plamda " $=$ " (tenglik) tushunchasi hamda ikkita binar " $+$ " (qo'shish), " $\cdot$ " (ko'paytirish) va bitta unar " $\neg$ " (inkor) amallari aniqlangan bo'lsin. Bundan tashqari, bu to'plamda 0 va 1 qiymatlar aniqlangan va ixtiyoriy tabiatli  $x$ ,  $y$  va  $z$  elementlar uchun quyidagi aksiomalar bajarilsin:

– kommutativlik qonunlari:  $x \cdot y = y \cdot x$ ,  $x + y = y + x$ ;

– assotsiativlik qonunlari:  $(x \cdot y) \cdot z = x \cdot (y \cdot z)$ ,

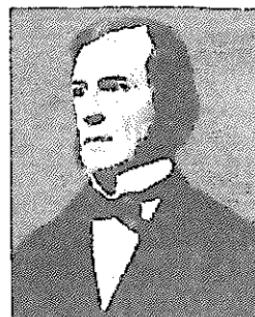
$$(x + y) + z = x + (y + z);$$

– distributivlik qonunlari:  $x \cdot (y + z) = (x \cdot y) + (x \cdot z)$ ,

$$x + (y \cdot z) = (x + y) \cdot (x + z);$$

– idempotentlik qonunlari:

$$x + x = x, \quad (10)$$



Jori Bul

$$x \cdot x = x, \quad (11)$$

$$1 \wedge x = x, \quad (12)$$

$$0 \vee x = x; \quad (13)$$

- inkorni inkor qilish qonuni: (1);

- de Morgan qonunlari:  $x + y = \bar{x} \cdot \bar{y}$ ,  $\bar{x} \cdot y = \bar{x} + \bar{y}$ ;

- yutilish qonunlari:  $x + (x \cdot y) = x$ ,  $x \cdot (x + y) = x$ .

**7- ta'rif.** Kon'yunksiya, diz'yunksiya, inkor amallari hamda 0 va 1 elementlari aniqlangan  $M$  to'plamda shu mantiqiy amallar va 0, 1 elementlar uchun (1)–(13) aksiomalar bajarilsa, bunday  $M$  to'plam Bul algebrasid deb ataladi.

$M$  to'plamning  $x$ ,  $y$  va  $z$  elementlarini mulohazalar deb, “+”, “.” va “ $\neg$ ” amallarni, mos ravishda, diz'yunksiya, kon'yunksiya va inkor hamda tenglik belgisini teng kuchlilik belgisi deb hisoblasak, mantiq algebrasidagi

$$\begin{aligned}\bar{\bar{x}} &\equiv x, \quad x \wedge y \equiv y \wedge x, \quad (x \wedge y)z \equiv x(y \wedge z), \quad x \vee y \equiv y \vee x, \\ (x \vee y) \vee z &\equiv x \vee (y \vee z), \quad x \wedge (y \vee z) \equiv (x \wedge y) \vee (x \wedge z), \\ x \vee (y \wedge z) &\equiv (x \vee y) \wedge (x \vee z), \quad \bar{x} \vee y \equiv \bar{x} \wedge \bar{y}, \quad \bar{x} \wedge y \equiv \bar{x} \vee \bar{y}, \\ x \vee x &= x, \quad x \wedge x = x, \quad 1 \vee x = 1, \quad 0 \wedge x = 0, \quad (x \wedge y) \vee x = x, \\ (x \vee y) \wedge x &= x, \quad x \vee \bar{x} = 1, \quad x \wedge \bar{x} = 0\end{aligned}$$

teng kuchliliklardan ko'rinib turibdiki,  $M$  to'plam Bul algebrasining barcha aksiomalarini qanoatlantiradi. Shuning uchun mantiq algebrasidir.

**2- misol.**  $M$  – qandaydir to'plam (masalan, to'g'ri chiziqda yotgan nuqtalar to'plami yoki natural sonlar to'plami) va  $\mu_M$  –  $M$  to'plamning barcha qism to'plamlaridan tashkil topgan to'plam, ya'ni  $M$  to'plamning buleani ( $\mu_M = 2^M$ ) bo'lsin.  $\mu_M$  buleandan olingan  $x$  va  $y$  to'plamlarning  $x \cap y$  kesishmasini  $x \wedge y$  orqali,  $x \cup y$  birlashmasini  $x \vee y$  orqali,  $\bar{x}$  orqali  $x$  to'plamning  $M$  to'plamigacha  $\bar{x}$  to'ldiruvchisini, 0 orqali  $\emptyset$  bo'sh to'plamni va 1 orqali  $M$  to'plamni belgilab olamiz. U vaqtida  $\mu_M$  to'plam Bul algebrasidir bo'ladi, chunki Bul algebrasidir ta'rifida ifodalangan barcha 13 aksioma bajariladi. ■

**3- misol.** Mulohazalar to'plami uchun  $\wedge$ ,  $\vee$  va  $\neg$  amallari hamda 0 va 1 elementlari aniqlanganligi uchun bu to'plam Bul algebrasidir bo'lishini

taxmin qilish mumkin. Lekin bunday bo'lishi uchun quyidagi aniqlikni kiritish kerak.  $A$  va  $B$  mulohazalar aynan teng bo'lishi uchun  $A \leftrightarrow B$  ekvivalentlik absolyut chin bo'lishi kerak. Ana shunday aniqlik kiritilgandan so'ng mulohazalar to'plami Bul algebrasiga misol bo'la oladi. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1.  $A(x, y, z, t) \equiv (x \vee y)(z \vee t)$  va  $B(x, y, z, t) \equiv xz \vee yz \vee xt \vee yt$  funksiyalarning teng kuchliligini isbotlang.
2.  $C(x, y, z, t) = xy \vee zt$  funksiyaga teng kuchli birorta funksiya toping.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Funksiya deb nimaga aytildi?
2. Funksiyalar superpozitsiyasi nimadan iborat?
3. Asosiy elementar funksiyalarni bilasizmi?
4. 0 saqlovchi funksiya deganda nimani tushunasiz?
5.  $n$  ta argumentli 1 saqlovchi funksiyalar qancha?
6. Berilgan funksiya bir vaqtning o'zida ham 0 saqlovchi, ham 1 saqlovchi funksiya bo'la oladimi?
7. Qanday shartlar bajarilsa, berilgan funksiyalar teng kuchli funksiyalar deb ataladi?
8. Funksiyaning soxta va muhim argumentlari orasida qanday farq bor?
9. Funksiyalarning elementar superpozitsiyasi deganda nimani tushunasiz?
10. Bul algebrasi deb nimaga aytildi?

### **3.10. Mantiq algebrasidagi ikki taraflama qonun**

*Ikki taraflama funksiya. O'z-o'ziga ikki taraflama funksiya. Ikki taraflama qonun.*

**3.10.1. Ikki taraflama funksiya.** Endi ikki taraflama (qo'shma) funksiya tushunchasini kiritamiz.  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  funksiyaga ikki taraflama bo'lgan funksiyani topish uchun  $f$  funksiyaning chinlik jadvalida hamma o'zgaruvchilarni ularning inkoriga almashtirish kerak, ya'ni hamma joyda 1 ni 0 ga va 0 ni 1 ga almashtirish kerak.

1- ta 'rif. *Quyidagicha aniqlangan*

$$f^*(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bar{f}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$$

funksiyaga  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  funksiyaning ikki taraflama funksiyasi deb aytildi.

**2-ta'rif.** Agar  $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f^*(x_1, x_2, \dots, x_n) = \overline{f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)}$  munosabat bajarilsa, u holda  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  o'z-o'ziga ikki taraflama funksiya deb ataladi.

Ta'rifga asosan,  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ikki taraflama funksiya ( $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ ) va ( $\bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_n$ ) qiymatlar satrida qarama-qarshi qiymatlar qabul qiladi.

**1-misol.** Mulohazalar algebrasining asosiy elementar funksiyalariga ikki taraflama bo'lgan funksiyalarni topamiz (1-jadvalga qarang). Demak, ta'rifga asosan,  $f_1(x)$  va  $f_2(x)$  funksiyalar o'z-o'ziga ikki taraflama funksiya bo'ladi. ■

**2-misol.**  $f(x, y, z) = xy \vee yz \vee xz$  funksiyaning o'z-o'ziga ikki taraflama funksiya ekanligini isbot qilamiz. Haqiqatdan ham

$$\begin{aligned} f^*(x, y, z) &= \overline{\bar{x}\bar{y} \vee \bar{y}\bar{z} \vee \bar{x}\bar{z}} = \overline{\bar{x}\bar{y}} \wedge \overline{\bar{y}\bar{z}} \wedge \overline{\bar{x}\bar{z}} = (x \vee y)(y \vee z)(x \vee z) = \\ &= [(x \vee y)y \vee (x \vee y)z](x \vee z) = [y \vee yz \vee xz](x \vee z) = \\ &= (y \vee xz)(x \vee z) = xy \vee yz \vee x(x \vee z)z = xy \vee yz \vee xz \end{aligned}$$

Demak,  $f(x, y, z) = f^*(x, y, z)$  ekanligi uchun  $f$  o'z-o'ziga ikki taraflama funksiyadir. ■

**Teorema.** Agar  $\Phi(x_1, \dots, x_n) = f(f_1(x_{11}, \dots, x_{1p_1}), \dots, f_m(x_{m1}, \dots, x_{mp_m}))$  bo'lsa, u holda  $\Phi^*(x_1, \dots, x_n) = f^*(f_1^*(x_{11}, \dots, x_{1p_1}), \dots, f_m^*(x_{m1}, \dots, x_{mp_m}))$  bo'ladi.

**Isboti.**  $\Phi^*(x_1, \dots, x_n) = \overline{\Phi(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)} =$   
 $= \overline{f}(f_1(\bar{x}_{11}, \dots, \bar{x}_{1p_1}), \dots, f_m(\bar{x}_{m1}, \dots, \bar{x}_{mp_m})) =$

1-jadval

Berilgan funksiya	Ikki taraflama funksiya
$f_1(x) = x$	$f_1^*(x) = x$
$f_2(x) = \bar{x}$	$f_2^*(x) = \bar{x}$
$f_3(x, y) = xy$	$f_3^* = x \vee y$
$f_4(x, y) = x \vee y$	$f_4^* = xy$
$f_5(x, y) = x \rightarrow y$	$f_5^* = \overline{y \rightarrow x}$
$f_6(x, y) = x \leftrightarrow y$	$f_6^* = \overline{x \leftrightarrow y}$
$f_7 = 1$	$f_7^* = 0$
$f_8 = 0$	$f_8^* = 1$

$$\begin{aligned}
&= \overline{\overline{f}}(\overline{\overline{f}}_1(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_{p_1}), \dots, \overline{\overline{f}}_m(\bar{x}_m, \dots, \bar{x}_{m p_m})) = \\
&= \overline{\overline{f}}(\overline{f}^*(x_1, \dots, x_{p_1}), \dots, \overline{f}^*(x_m, \dots, x_{m p_m})) = \\
&= f^*(f_1^*(x_1, \dots, x_{p_1}), \dots, f_m^*(x_m, \dots, x_{m p_m})). \blacksquare
\end{aligned}$$

**3.10.2. Ikki taraflama qonun.** 1- teoremaning isbotidan ikki taraflama qonun kelib chiqadi.

**Ikki taraflama qonun.**  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$  funksiyalarning superpozisiyasiga ikki taraflama bo‘lgan funksiya mos ravishda  $\varphi_1^*, \varphi_2^*, \dots, \varphi_m^*$  ikki taraflama funksiyalar superpozisiyasiga teng kuchlidir, ya’ni agar  $A = C[\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m]$  formula  $f(x_1, \dots, x_n)$  funksiyani realizatsiya etsa, u holda  $C[\varphi_1^*, \varphi_2^*, \dots, \varphi_m^*]$  formula  $f^*(x_1, \dots, x_n)$  funksiyani realizatsiya etadi.

Bu formula  $A$  formulaga ikki taraflama bo‘lgan formula deb atyiladi va u  $A^*$  deb belgilanadi. Demak,

$$A^* = C[\varphi_1^*, \varphi_2^*, \dots, \varphi_m^*].$$

Ushbu qonundan o‘z-o‘ziga ikki taraflama bo‘lgan funksiyalarning superpozitsiyasi yana o‘z-o‘ziga ikki taraflama funksiya bo‘lishi kelib chiqadi, ya’ni agar  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$  o‘z-o‘ziga ikki taraflama funksiya bo‘lsa, u holda  $\Phi^* = \varphi^*(\varphi_1^*, \dots, \varphi_m^*)$  funksiya ham o‘z-o‘ziga ikki taraflama bo‘ladi. Haqiqatan ham,

$$\Phi^* = \varphi^*(\varphi_1^*, \dots, \varphi_m^*) = \varphi(\varphi_1, \dots, \varphi_m) = \Phi.$$

Agar funksiya formula orqali ifodalangan va bu formula o‘z navbatida  $\wedge, \vee, \neg$  mantiq amallari orqali ifodalangan bo‘lsa, u holda bu funksiyaga (formulaga) ikki taraflama bo‘lgan funksiyani (formulani) topish uchun  $\vee$  belgini  $\wedge$  belgiga,  $\wedge$  ni ga, 1ni 0ga va 0ni 1ga almashtirish kifoya. Bu prinsipni teng kuchli formulalarga nisbatan ishlatganda, yana teng kuchli formulalar hosil qilamiz, ya’ni  $A(x_1, \dots, x_n) = B(x_1, \dots, x_n)$  bo‘lsa, u holda  $A^*(x_1, \dots, x_n) = B^*(x_1, \dots, x_n)$ .

Ushbu prinsipga tayanib mantiq algebrasining bir formulasidan boshqa formulasini, bir teoremasidan boshqa teoremasini, bir ta’rifidan esa boshqa ta’rifini hosil qilish mumkin.

**3- misol.** Ushbu bobning 9- paragrafida keltirilgan (2), (3), (6), (8), (10), (12) teng kuchli formulalarga ushbu prinsipi qo‘llasak, (4), (5), (7), (9), (11), (13) teng kuchli formulalar kelib chiqadi. ■

Mantiq algebrasida elementlari  $n$  ta argumentli o'z-o'ziga ikki taraflama funksiyalardan iborat bo'lgan to'plamni  $S$  bilan belgilaymiz, uning elementlari soni  $2^{2^n-1}$  ga tengdir.

Endi o'z-o'ziga ikki taraflama bo'lмаган funksiyalar haqidagi lemmani ko'rib chiqaylik.

**L e m m a .** Agar  $\varphi(x_1, \dots, x_n) \notin S$  bo'lsa, u holda undan argumentlarining o'rнига  $x$  va  $\bar{x}$  funksiyalarni qo'yish usuli bilan bir argumentli o'z-o'ziga ikki taraflama bo'lмаган funksiya, ya'ni konstantani hosil qilish mumkin.

**I s b o t i .**  $\varphi(x_1, \dots, x_n) \notin S$  bo'lgani uchun, shunday  $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  qiymatlar satri topiladiki,  $\varphi(\bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_n) = \varphi(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  bo'ladi.

$\varphi_i(x) = x^{\alpha_i}$  ( $i=1, n$ ) funksiyani kiritamiz va  $\varphi_i(x) = \varphi(\varphi_1(x), \dots, \varphi_n(x))$  deb belgilab olamiz. U holda quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$\begin{aligned}\varphi(0) &= \varphi(\varphi_1(0), \dots, \varphi_n(0)) = \varphi(0^{\alpha_1}, \dots, 0^{\alpha_n}) = \varphi(\bar{\alpha}_1, \dots, \bar{\alpha}_n) = \\ &\varphi(\alpha_1, \dots, \alpha_n) = \varphi(1^{\alpha_1}, \dots, 1^{\alpha_n}) = \varphi(\varphi_1(1), \dots, \varphi_n(1)) = \varphi(1).\end{aligned} \blacksquare$$

### 3.11. Mantiq algebrasidagi arifmetik amallar. Jegalkin ko'phadi

*Arifmetik amallar. Jegalkin ko'phadi. Mantiqiy amallarni arifmetik amallar orqali ifodalash. Chiziqli funksiya.*

**3.11.1. Mantiq algebrasidagi arifmetik amallar.**  $\{0, 1\}$  Bul algebrasidagi kon'yunksiya amali oddiy arifmetikadagi 0 va 1 sonlar ustidagi ko'paytma amaliga mos keladi. Ammo 0 va 1 sonlarini qo'shish natijasi  $\{0, 1\}$  to'plam doirasidan chetga chiqadi. Shuning uchun I.I.Jegalkin<sup>1</sup> 2 moduliga asosan qo'shish amalini kiritdi.  $x$  va  $y$  mulohazalarni 2 moduli bo'yicha qo'shishni  $x + y$  deb belgilaymiz. 2 moduli bo'yicha qo'shish, odatda, chinlik jadvali bilan beriladi (1-jadvalga qarang).

Chinlik jadvalidan ko'rinish turibdiki,  
 $x + y = x \leftrightarrow y$  bo'ladi. Mantiq algebrasidagi ko'paytma va 2 moduli bo'yicha qo'shish mantiq amallari uchun kommu-tativlik, assotsiativlik va distributivlik qonunlari o'z kuchini saqlaydi.

1-jadval

$x$	$y$	$x + y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

<sup>1</sup> Jegalkin Ivan Ivanovich (Жегалкин Иван Иванович 1869-1947) – sovet matematigi. I. I. Jegalkin XX asrnning 30- yillari boshida MDUda birinchi bo'lib matematik mantiq bo'yicha ilmiy seminar tashkil etgan.

Bul algebrasidagi asosiy mantiqiy amallarni kiritilgan arifmetik amallar orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\bar{x} = x + 1; \quad x \wedge y = xy; \quad x \vee y = xy + x + y;$$

$$x \rightarrow y = xy + x + 1; \quad x \leftrightarrow y = x + y + 1.$$

2 moduli bo'yicha qo'shish amalining ta'rifiga asosan  $x + x = 0$  va  $xx = x$  ( $x^n = x$ ).

**3.11.2. Jegalkin ko'phadi.** Mantiq algebrasidagi istalgan funksiyani yagona arifmetik ko'phad shakliga keltirish mumkin. Haqiqatan ham, biz oldingi paragraflarda istalgan funksiyani kon'yunksiya va inkor mantiqiy amallar orqali ifodalash mumkinligini ko'rgan edik. Yuqorida kon'yunksiya, diz'yunksiya va inkor mantiqiy amallarni arifmetik amallar orqali ifodaladik. Demak, istalgan funksiyani arifmetik ko'phad shakliga keltirish mumkin.

1- ta'rif.  $\sum x_{i_1} x_{i_2} \dots x_{i_k} + a$  ko'rinishdagi ko'phad Jegalkin ko'phadi deb ataladi, bu yerda hamma  $x_{i_j}$  o'zgaruvchilar birinchi darajada qatnashadi,  $(i_1, \dots, i_k)$  qiymatlar satrida hamma  $i_j$  lar har xil bo'ladi,  $a \in E_2 = \{0, 1\}$ .

2- ta'rif.  $x_{i_1} + x_{i_2} + \dots + x_{i_k} + a$  ko'rinishdagi funksiya chiziqli funksiya deb ataladi, bu yerda  $a \in E_2 = \{0, 1\}$ . Chiziqli funksiyaning ifodasidan ko'rinish turibdiki,  $n$  ta argumentli chiziqli funksiyalar soni  $2^{n+1}$  ga teng va bir argumentli funksiyalar doimo chiziqli funksiya bo'ladi.

Jegalkin ko'phadi ko'rinishidagi har bir funksiyaning argumentlari soxta emas argumentlar bo'ladi. Haqiqatan ham, agar  $x_1$  shunday argument bo'lsa, u holda ixtiyoriy  $f(x_1, \dots, x_n)$  funksiyani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$f(x_1, \dots, x_n) = x_1 \varphi(x_2, \dots, x_n) + \psi(x_2, \dots, x_n).$$

Bu yerda  $\varphi$  funksiya aynan 0ga teng emas, aks holda  $x_1$  argument  $f$  funksiyaning (ko'phadning) argumentlari safiga qo'shilmasdi.

Endi  $x_2, \dots, x_n$  argumentlarning shunday qiymatlarini olamizki,  $\varphi = 1$  bo'lsin. U holda  $f$  funksiyaning qiymati  $x_1$  argumentning qiymatiga bog'liq bo'ladi. Demak,  $x_1$  soxta argument emas.

Mantiq algebrasidagi hamma  $n$  argumentli chiziqli funksiyalar to'plamini  $L$  bilan belgilaymiz. Uning elementlari soni  $2^{n+1}$  ga teng bo'ladi.

**Teorema.** Agar  $f(x_1, \dots, x_n) \notin L$  bo'lsa, u holda undan argumentlari o'rniga 0 va 1 konstantalarni hamda  $x$  va  $\bar{x}$  funksiyalarini,

*ayrim holda f ustiga “—“ inkor amalini qo'yish usuli bilan  $x_1x_2$  funksiyani hosil qilish mumkin.*

### 3.12. Mantiq algebrasidagi monoton funksiyalar

*Monoton funksiya. Qiymatlar satrining oldin kelishi. Monoton funksiyalar superpozitsiyasi. KNSh (DNSh) ko'rinishidagi funksiyaning monoton funksiya bo'lish sharti.*

**3.12.1. Tartiblash.**  $0 < 1$  munosabati orqali  $\{0,1\}$  to'plamini tartiblashtiramiz.  $\alpha = (\alpha_1, \dots, \alpha_n)$  va  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n)$  qiymatlar satrlari bo'lsin.

**1-ta'rif.** Agar  $\alpha_i \leq \beta_i$  tengsizlik hech bo'lmaganda bitta i uchun bajarilsa yoki  $\alpha$  va  $\beta$  qiymatlar satrlari ustma-ust tushsa, u holda  $\alpha$  qiymatlar satri  $\beta$  qiymatlar satridan oldin keladi deb aytamiz va  $\alpha \prec \beta$  shaklda yozamiz.

**2-ta'rif.** Agar  $\alpha \prec \beta$  munosabatdan  $f(\alpha_1, \dots, \alpha_n) \leq f(\beta_1, \dots, \beta_n)$  tengsizlikning bajarilishi kelib chiqsa, u holda  $f(x_1, \dots, x_n)$  funksiya monoton funksiya deb ataladi.

**3-ta'rif** Agar  $\alpha \prec \beta$  munosabatdan  $f(\alpha_1, \dots, \alpha_n) > f(\beta_1, \dots, \beta_n)$  tengsizlikning bajarilishi kelib chiqsa, u holda  $f(x_1, \dots, x_n)$  nomonoton funksiya deb ataladi.

Asosiy elementar mantiqiy funksiyalardan  $0$ ,  $1$ ,  $x$ ,  $xy$ ,  $x \vee y$  funksiyalar monoton,  $\bar{x}$ ,  $x \rightarrow y$ ,  $x \leftrightarrow y$ ,  $x + y$  funksiyalar esa nomonoton funksiyalardir.

**1-teorema.** Monoton funksiyalarning superpozitsiyasidan hosil qilingan funksiya ham monoton funksiya bo'ladi.

**I sboti.**  $\Phi$  monoton funksiyalar sistemasi bo'lsin. Shu sistemadagi funksiyalar superpozitsiyasidan hosil qilingan funksiya monoton bo'lishini isbot qilish kerak. Matematik induksiya usulini qo'llaymiz. Baza: 0 rangli superpozitsiya uchun bu tasdiqning to'g'riligi ravshan, chunki  $\Phi$  sistemadagi hamma funksiyalar monoton funksiyalardir.

Induksion o'tish.  $k$  rangli superpozitsiya uchun teoremadagi tasdiq to'g'ri bo'lsin. Bu tasdiqning  $k+1$  rangli superpozitsiya uchun ham to'g'riligini isbotlaymiz.

$\varphi(y_1, \dots, y_l)$ ,  $\psi(y_1, \dots, y_l) \in \Phi^{(k)}$  bo'lsin. U holda

$$\varphi(x_1, \dots, x_{i-1}, y, x_{i+1}, \dots, x_k);$$

$$F(x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_k, y_1, \dots, y_l) = \\ \varphi(x_1, \dots, x_{i-1}, \psi(y_1, \dots, y_l), x_{i+1}, \dots, x_n)$$

funksiyalarning monoton ekanligini isbotlash kerak. Bu yerda  $y$  va  $y_i$  o'zgaruvchilar  $x_j$  o'zgaruvchilarning birortasi bilan mos kelishi mumkin.  $\varphi$  funksiyaning monotonligidan  $\varphi(x_1, \dots, x_{i-1}, y, x_{i+1}, \dots, x_k)$  funksiyaning monoton funksiya ekanligi kelib chiqadi.  $F$  funksiyaning monotonligini isbotlaymiz. Buning uchun  $F$  funksiyaning ikkita  $\gamma'$  va  $\gamma''$  taqqoslanadigan qiymatlar satrini ko'rib chiqamiz:

$$\gamma' = (\alpha'_1, \dots, \alpha'_{i-1}, \dots, \alpha'_{i+1}, \dots, \alpha'_n, \beta'_1, \dots, \beta'_l);$$

$$\gamma'' = (\alpha''_1, \dots, \alpha''_{i-1}, \dots, \alpha''_{i+1}, \dots, \alpha''_n, \beta''_1, \dots, \beta''_l)$$

va  $\gamma' \prec \gamma''$  bo'lsin. U holda  $F(\gamma') \leq F(\gamma'')$  bo'lishini ko'rsatish kerak. Ma'lumki,

$$F(\gamma') = \varphi(\delta'), \text{ bu yerda } j = i \text{ bo'lganda } \delta'_j = \alpha'_j, \delta'_i = \psi(\beta'_i);$$

$$F(\gamma'') = \varphi(\delta''), \text{ bu yerda } j = i \text{ bo'lganda } \delta''_j = \alpha''_j, \delta''_i = \psi(\beta''_i).$$

$\psi$  monoton funksiya va  $\gamma' \prec \gamma''$  munosabatdan  $\beta' \prec \beta''$  kelib chiqqani uchun  $\delta' \prec \delta''$  bo'ladi, ya'ni  $\varphi(\delta') = F(\gamma') \leq \varphi(\delta'') = F(\gamma'')$ , chunki  $\varphi$  monoton funksiyadir.

$\varphi(x_1, \dots, x_{i-1}, y, x_{i+1}, \dots, x_k) F(x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n, y_1, \dots, y_l) \in \Phi^{(k)}$  ekanligidan  $(k+1)$  rangli superpozitsiya uchun teoremadagi tasdiq isbotlandi. ■

Kon'yunksiya va diz'yunksiya monoton funksiya bo'lganligi uchun, 1-teoremaga asosan, ularning superpozitsiyasidan hosil qilingan funksiya ham monoton bo'ladi.

**2- teorema.** Agar  $f(x_1, \dots, x_n) \in M$  bo'lsa, u holda undan argumentlari o'rniga 0, 1 va x funksiyani qo'yish usuli bilan  $\bar{x}$  funksiyani hosil qilish mumkin.

### Muammol masala va topshiriqlar

1. Mulohazalar algebrasining asosiy elementar funksiyalariga ikki taraflama bo'lgan funksiyalarni toping.
2. Hamma ikki argumentli o'z-o'ziga ikki taraflama bo'lgan funksiyalarni toping.
3.  $n$  ta argumentli o'z-o'ziga ikki taraflama bo'lgan funksiyalarning sonini aniqlang.

4.  $f = (\bar{x} \vee y\bar{z})(xy \vee x\bar{z})$  va  $\varphi = (x \vee \bar{y})z\bar{t} \vee \bar{x}t$  funksiyalarga ikki taraflama bo'lgan funksiyalarini toping.

5. Quyidagi formulalarni Jegalkin ko'phadi ko'rinishiga keltiring:

a)  $x \rightarrow y \leftrightarrow z$ , b)  $x \vee y \vee z \vee t$ , d)  $x \leftrightarrow y \leftrightarrow z$ ,

e)  $x \vee y \vee z$ , f)  $xy \vee yz \vee xz$ , g)  $xy\bar{z} \vee x\bar{y}z \vee \bar{x}yz \vee \bar{x}\bar{y}\bar{z}$ .

6. Funksiyaning Jegalkin ko'phadi ko'rinishidagi ifodasi yagona ekanligini isbotlang.

7. Chiziqli funksiyalarning qaysilari o'z-o'ziga ikki taraflama funksiya bo'ladi?

8.  $xy \vee xz \vee yz = xy + xz + yz$  ekanligini isbotlang.

9. Jegalkin ko'phadi ko'rinishidagi funksiyaning hamma argumentlari soxta argumentlar emasligini isbotlang.

10. Nol (bir) saqlovchi monoton funksiyalar aynan birga (nolga) teng ekanligini isbotlang.

11. Ikki argumentli hamma monoton funksiyalarni toping.

12. Quyida keltirilgan funksiyalarning qaysi birlari monoton funksiya ekanligini aniqlang:

a)  $xy \vee xz \vee x\bar{z}$ , b)  $x \rightarrow (x \rightarrow y)$ , d)  $\overline{x \vee y} \leftrightarrow \bar{x} \vee \bar{y}$ ,

e)  $\overline{x \vee y} \leftrightarrow \bar{x}\bar{y}$ , f)  $xy \vee x \vee \bar{x}z$ , h)  $xy \vee yz \vee xz$ .

13. Aynan konstantadan (0 dan yoki 1 dan) farq qiluvchi funksiya monoton bo'lishi uchun uni kon'yunksiya va diz'yunksiya superpozitsiyasi orqali ifodalash yetarli va zarurligini isbotlang.

14. Monoton funksisyaga ikki taraflama bo'lgan funksiya monoton ekanligini isbot qiling.

15. Faqat va faqat yo konstantalar, yoki o'zgaruvchilar ustida inkor amali bo'limgan KNSh va DNSh ko'rinishida ifodalangan funksiyalar monoton bo'lishini ko'rsating.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Ikki taraflama funksiya va o'z-o'ziga ikki taraflama funksiya deganda nimani tushunasiz?

2. Mantiq algebrasidagi ikki taraflama qonun qanday ifodalanadi?

3. Mantiq algebrasidagi arifmetik amallarni bilasizmi?

4. Jegalkin ko'phadi nima?

5. Mantiq algebrasidagi monoton funksiyalar deganda nimani tushunasiz?

6. Chiziqli funksiyalarning qaysilari monoton funksiyalar bo'ladi?

### 3.13. Funksional yopiq sinflar. Post teoremasi

*To 'liq funksiyalar sistemasi. Ikki taraflama funksiyalar sistemasining to 'liq bo 'lish sharti. Yopiq sinflar. Xususiy funksional, maksimal funksional yopiq sinflar. Post teoremasi. To 'plam yopig 'i. Post jadvali.*

**3.13.1. Funksional yopiq sinflar.** Mantiq algebrasining  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  funksiyalar sistemasi berilgan bo'lsin.

**1- ta'rif.** Agar mantiq algebrasining istalgan funksiyasini  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  sistemadagi funksiyalar superpozitsiyasi orqali ifodalash mumkin bo'lsa, u holda  $\Phi$  sistema to'liq funksiyalar sistemasi deb ataladi.

Istalgan funksiyani MKNSh yoki MDNSh ko'rinishida ifodalash mumkinligidan  $\{xy, x \vee y, \bar{x}\}$  funksiyalar sistemasining to'liqligi kelib chiqadi.  $\{xy, x + y, 1\}$  funksiyalar sistemasi ham to'liq bo'ladi, chunki istalgan funksiyani Jegalkin ko'phadi ko'rinishiga keltirish mumkin.

**1- misol.** Quyidagilar to'liq funksiyalar sistemasi ekanligini isbotlaymiz:

- |                                       |                                |                          |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| a) $xy, \bar{x};$                     | b) $x \vee y, \bar{x};$        | d) $xy, x + y, 1;$       |
| e) $\underline{x \vee y};$            | f) $\underline{xy};$           | g) $x + y, x \vee y, 1;$ |
| h) $x + y + z, \underline{xy}, 0, 1;$ | i) $x \rightarrow y, \bar{x};$ | j) $x \rightarrow y, 0.$ |

a)  $x \vee y = \bar{x} \bar{y}$ , ya'ni diz'yunksiya amalini kon'yunksiya va inkor amallari orqali ifodalash mumkin. Demak,  $\{xy, \bar{x}\}$  funksiyalar sistemasi to'liqdir;

b)  $xy = \bar{x} \vee \bar{y}$  ekanligi ma'lum. Demak, istalgan mantiqiy funksiyani diz'yunksiya va inkor amallari orqali ifodalasa bo'ladi. Shuning uchun  $\{x \vee y, \bar{x}\}$  funksiyalar sistemasi to'liqdir;

d) mantiq algebrasining ixtiyoriy funksiyasini yagona Jegalkin ko'phadi ko'rinishiga keltirish mumkin bo'lgani uchun  $\{xy, x + y, 1\}$  funksiyalar sistemasi to'liqdir.

e) va f) mantiq algebrasidagi istalgan funksiyani  $\psi(x, y) = \overline{xy}$  va  $\varphi(x, y) = x \vee y$  Sheffer funksiyalari orqali ifodalash mumkin. Haqiqatan ham,  $\bar{x} = \varphi(x, x)$ ,

$$x \vee y = \underline{x \vee y} = \underline{\varphi(x, y)} = \varphi(\varphi(x, y), \varphi(x, y))$$

va

$$xy = \varphi(\bar{x}, \bar{y}) = \varphi(\varphi(x, x), \varphi(y, y))$$

asosiy mantiqiy amallarni Sheffer funksiyasi orqali ifodalash mumkin. Demak,  $\{x \vee y\}$  va  $\{xy\}$  funksiyalar sistemalari to'liqdir.

g)  $x \vee y = xy + x + y$  bo'lgani uchun  $x \vee y + (x + y) = xy$  bo'ladi.  $\{xy, x + y, 1\}$  to'liq sistema ekanligi d) bandda isbot qilingan edi, demak,  $\{x + y, x \vee y, 1\}$  sistema to'liqdir.

Xuddi shunday qolgan h), i) va j) funksiyalar sistemalarining to'liqligini ham isbot qilish mumkin. Bu ish o'quvchiga havola qilinadi. ■

**1-teorema.** Agar  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  funksiyalar sistemasi to'liq bo'lsa, u holda unga ikki taraflama bo'lgan  $\Phi^* = \{\varphi_1^*, \dots, \varphi_n^*\}$  funksiyalar sistemasi ham to'liq bo'ladi.

**Isboti.**  $\Phi^*$  sistemaning to'liqligini isbotlash uchun istalgan  $f(x_1, \dots, x_n)$  funksiyani  $\Phi^*$  sistemadagi funksiyalar superpozitsiyasi orqali ifodalash mumkinligini ko'rsatish kerak. Buning uchun avval  $f^*$  funksiyani  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  sistemadagi funksiyalar orqali ifodalaymiz ( $\Phi$  sistema to'liq bo'lgani uchun bu protsedurani bajarish mumkin). Keyin ikki taraflama qonunga asosan ikki taraflama funksiyalar superpozitsiyasi orqali  $f$  funksiyani hosil qilamiz. ■

**2-misol.** Quyidagilar to'liq funksiyalar sistemasi emasligini isbotlaymiz:

- a)  $\bar{x}, 1$ ;
- b)  $xy, x \vee y$ ;
- c)  $x + y, \bar{x}$ ;
- d)  $xy \vee yz \vee xz, \bar{x}$ ;
- e)  $xy \vee yz \vee xz, 0, 1$ .

a)  $\bar{x} = x + 1$  bo'lgani uchun  $\{\bar{x}, 1\}$  sistemadagi funksiyalar bir argumentli funksiyalar bo'ladi. Bizga ma'lumki, bir argumentli funksiyalarning superpozitsiyasi natijasida hosil qilingan funksiya ham bir argumentli funksiya bo'ladi. Natijada, bu sistemadagi funksiyalar orqali ko'p argumentli funksiyalarni ifodalab bo'lmaydi. Shuning uchun  $\{\bar{x}, 1\}$  – to'liq funksiyalar sistemasi emas.

b)  $\{xy, x \vee y\}$  sistemadagi funksiyalarning ikkalasi ham monotondir. Monoton funksiyalarning superpozitsiyasi orqali hosil qilingan funksiya ham monoton bo'lishi isbotlangan edi. Demak, bu ikkala funksiyaning superpozitsiyasi orqali monoton bo'lмаган funksiyalarni ifodalash mumkin emas va natijada,  $\{xy, x \vee y\}$  – to'liq funksiyalar sistemasi emas.

d)  $\{x + y, \bar{x}\}$  sistemadagi funksiyalar chiziqli funksiyalardir. Shuning uchun bu funksiyalar orqali chiziqlimas funksiyalarni ifodalab bo'lmaydi. Demak,  $\{x + y, \bar{x}\}$  – to'liq funksiyalar sistemasi emas.

e)  $\{xy \vee yz \vee xz, \bar{x}\}$  sistemadagi funksiyalar o‘z-o‘ziga ikki taraflama funksiyalardir. Bu funksiyalarning superpozitsiyasidan hosil qilingan har qanday funksiya ham o‘z-o‘ziga ikki taraflama funksiya bo‘ladi. Demak,  $\{xy \vee yz \vee xz, \bar{x}\}$  – to‘liq funksiyalar sistemasi emas.

f).  $\{xy \vee yz \vee xz, 0, 1\}$  sistemadagi funksiyalarning hammasi monoton funksiyalardir. Monoton emas funksiyalar bu sistemadagi funksiyalar orqali ifodalanmaydi. Demak,  $\{xy \vee yz \vee xz, 0, 1\}$  – to‘liq funksiyalar sistemasi emas. ■

2- misol tahlilidan quyidagi xulosa kelib chiqadi. Berilgan  $\Phi$  funksiyalar sistemasining to‘liq emasligini isbotlash uchun sistemadagi funksiyalarning shunday umumiy xususiyatini topish kerakki, bu xususiyat funksiyalar superpozitsiyasi natijasida saqlansin. Haqiqatan ham, u holda bunday xususiyatga ega bo‘lmagan funksiyani  $\Phi$  sistemadagi funksiyalar superpozitsiyasi orqali hosil qilib bo‘lmaydi.

Funksiyalarning bunday xususiyatlarini tekshirish uchun odatda funksional yopiq sinf tushunchasidan foydalанилади.

**2- ta’rif.** Agar  $A$  sistemadagi funksiyalar superpozitsiyasidan hosil bo‘lgan funksiya ham shu sistemaning elementi bo‘lsa, u holda bunday sistema superpozitsiyaga nisbatan yopiq sistema deb ataladi.

**3- ta’rif.** Mantiq algebrasining superpozitsiyaga nisbatan yopiq bo‘lgan har qanday funksiyalar sistemasi funksional yopiq sinf deb ataladi.

Ravshanki, muayyan xususiyatga ega bo‘lgan funksiyalar sistemasi funksional yopiq sinfni tashkil etadi va, aksincha, ma’lum funksional yopiq sinfga kiruvchi funksiyalar bir xil xususiyatga ega bo‘lgan funksiyalardir. Quyidagi funksiyalar sistemasi funksional yopiq sinflarga misol bo‘la oladi:

- a) bir argumentli funksiyalar sinfi;
- b) mantiq algebrasining hamma funksiyalari sinfi;
- d)  $L$  – chiziqli funksiyalar sinfi;
- e)  $S$  – o‘z-o‘ziga ikki taraflama funksiyalar sinfi;
- f)  $M$  – monoton funksiyalar sinfi;
- g)  $P_0$  – nol qiymatni saqlovchi funksiyalar sinfi;
- h)  $P_1$  – bir qiymatni saqlovchi funksiyalar sinfi.

**4- ta’rif.** Bo‘sh sinfdan va mantiq algebrasining hamma funksiyalari to‘plamidan farq qiluvchi funksional yopiq sinf xususiy funksional yopiq sinf deb ataladi.

Shunday qilib, funksiyalar sistemasining to'liq bo'lishi uchun bu sistemada har qanday xususiy funksional yopiq sinflarga kirmaydigan funksiya topilishi yetarli va zarurdir.

**5-ta'rif.** *O'z-o'zidan va mantiq algebrasining hamma funksiyalari sinfidan ( $P_2$  dan) farq qiluvchi funksional yopiq sinflarga kirmaydigan xususiy funksional yopiq sinf maksimal funksional yopiq sinf deb ataladi.*

Mantiq algebrasida hammasi bo'lib beshta maksimal funksional yopiq sinf mavjud. Bular quyidagilardir:  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $L$ .

**13.2. Post<sup>1</sup> teoremasi.** E. L. Post tomonidan funksiyalar sistemasi to'liqligining yetarli va zarur shartlari topilgan.

**Post teoremasi.**  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  funksiyalar sistemasi to'liq bo'lishi uchun bu sistemada  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $L$  maksimal funksional yopiq sinflarning har biriga kirmaydigan kamida bitta funksiya mavjud bo'lishi yetarli va zarur (ya'ni  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  funksiyalar sistemasi faqat  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $L$  maksimal funksional yopiq sinflardan birortasining ham qism to'plami bo'limganda va faqat shundagina to'liq sistema bo'ladi).

**I sboti.** Zarurligi.  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  to'liq sistema (ya'ni  $[\Phi] = P_2$ ) va  $F$  maksimal funksional yopiq sinflarning birortasi bo'lsin deb faraz qilamiz. U vaqtida  $F$  sinfning yopiqligini hisobga olib,  $P_2[\Phi] \subseteq [F] = F$  munosabatni yozish mumkin, ya'ni  $F = P_2$ . Ammo bunday bo'lishi mumkin emas. Demak,  $\Phi \subseteq F$  munosabat bajarilmaydi.

Yetarliligi isbotini o'quvchiga havola etamiz. ■

**Natija.** *Mantiq algebrasidagi har qanday funksional yopiq sinf  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $L$  maksimal funksional yopiq sinflardan birortasining qism to'plami bo'ladi.*

Amalda berilgan  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  funksiyalar sistemasining to'liq yoki to'liq emasligini aniqlash uchun Post jadvali deb ataluvchi jadvaldan foydalilanadi. Post jadvali quyida keltirilgan.

---

<sup>1</sup> Post (Post Emil Leon, 1897 (Polsha) – 1954) – AQSh matematigi, mantiqchisi.

Jadvalning xonalariga o'sha satrdagi funksiya funksional yopiq sinflarning elementi bo'lsa "+" ishora, bo'lmasa "-" ishorasi qo'yiladi.

Post jadvali

	$P_0$	$P_1$	$S$	$L$	$M$
$\varphi_1$					
$\varphi_2$					
...	...	...	...	...	...
$\varphi_n$					

birortasining qism to'plami bo'lishi, ya'ni Post jadvalining biror ustunidagi barcha ishoralar "+" bo'lishi kerak.

Funksiyalar sistemasining to'liqligi tushunchasi bilan sifning (to'plamning) **yopig'i** tushunchasi o'zaro bog'langan.

**6-ta'rif.** A bilan  $P_2$  ( $n$  ta argumentli mantiq algebrasining hamma funksiyalarini o'z ichiga olgan) to'plamning biror qism to'plamini belgilaymiz. A to'plam funksiyalarning superpozitsiyasidan hosil qilingan hamma Bul funksiyalari to'plami ( $A$  to'plam funksiyalari orqali ifodalangan hamma bul funksiyalari to'plami) A to'plamning yopig'i deb aytildi va  $[A]$  kabi belgilanadi.

I-jadval

		$P_0$	$P_1$	$S$	$L$	$M$
a)	0	+	-	-	+	+
	$xy$	+	+	-	-	+
	$x + y + z$	+	+	+	+	-
b)	1	-	+	-	+	+
	$xy$	+	+	-	-	+
	$x + y + z$	+	+	+	+	-
d)	$\{\bar{x}\bar{y} \vee \bar{x}\bar{z} \vee \bar{y}\bar{z}\}$	-	-	+	-	-
e)	0	+	-	-	+	+
	1	-	+	-	+	+
	$x + y$	+	-	-	+	-
f)	0	+	-	-	+	+
	1	-	+	-	+	+
	$xy$	+	+	-	-	+

**3- misol.** 1.  $A = P_2$  bo'lsin, u holda  $[A] = P_2$  bo'ladı.

2.  $A = \{1, x_1 + x_2\}$  bo'lsin, u holda  $A$  to'plamning yopig'i barcha chiziqli funksiyalar to'plamidan (ya'ni,  $L$  to'plamdan) iborat bo'ladı. ■

To'plam yopig'i quyidagi xossalarga ega:

1)  $[A] \supseteq A$ ;

2)  $[[A]] = [A]$ ;

3) agar  $A_1 \subseteq A_2$  bo'lsa, u holda  $[A_1] \subseteq [A_2]$  bo'ladı;

4)  $[A_1 \cup A_2] \supseteq [A_1] \cup [A_2]$ . ■

**7- ta'rif.** Agar  $[A] = A$  bo'lsa, u holda  $A$  to'plam (sinf) funksional yopiq sinf deb ataladi.

**4- misol.** 1.  $A = P_2$  funksional yopiq sinfdır.

2.  $A = \{1, x_1 + x_2\}$  funksional yopiq sinf emas.

3.  $L$  funksional yopiq sinfdır. ■

Osongina ko'rish mumkinki, har qanday  $[A]$  funksional sinf yopiq sinf bo'ladı. Bu hol ko'pgina funksional yopiq sinflarni topishga yordam beradi.

To'plam yopig'i va yopiq sinf tilida funksiyalar sistemasining to'liqligi ta'rifini (avvalgi ta'rifga ekvivalent bo'lgan ta'rifni) berish mumkin.

**8- ta'rif.** Agar  $[A] = P_2$  bo'lsa, u holda  $A$  funksiyalar sistemasi to'liq deb ataladi.

**5- misol.** Quyidagi funksiyalar sistemalarining to'liq emasligini Post jadvali vositasida isbot qilamiz (1- jadvalga qarang).

a)  $\Phi_1 = \{0, xy, x + y + z\}$ ;      b)  $\Phi_2 = \{1, xy, x = y + z\}$ ;

d)  $\Phi_3 = \{\bar{x}\bar{y} \vee \bar{x}\bar{z} \vee \bar{y}\bar{z}\}$ ;      e)  $\Phi_4 = \{0, 1, x + y\}$ ;

f)  $\Phi_5 = \{0, 1, xy\}$ .

Post jadvalidan ko'rinish turibdiki, yuqorida keltirilgan barcha funksiyalar sistemalari to'liq emas, chunki har bir sistema uchun jadvalda bitta ustun faqatgina "1" ishoralaridan iborat. Shuni ham ta'kidlash kerakki, har bir sistema uchun bu ustunlar har xil.

Demak, Post teoremasi shartidan  $P_0, P_1, M, S, L$  maksimal funksional yopiq sinflarning birortasini ham olib tashlash mumkin emas.

Bu xulosadan, o‘z navbatida,  $P_0$ ,  $P_1$ ,  $M$ ,  $S$ ,  $L$  maksimal funksional yopiq sinflarning birortasi ham boshqasining qism to‘plami bo‘la olmasligi kelib chiqadi. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Quyidagi funksiyalar sistemalarining har biri funksional yopiq sinf bo‘lishini isbot qiling:
  - a) bir argumentli funksiyalar;
  - b) mantiq algebrasining hamma funksiyalari;
  - d)  $x + y + z$ ,  $xy$ ,  $0, 1$ ;
  - e)  $x \rightarrow y, \bar{x}$ ;
  - f)  $x \rightarrow y, 0$ ;
  - g)  $L$ ;
  - h)  $S$ ;
  - i)  $M$ ;
  - j)  $P_0$ ;
  - k)  $P_1$ .
2. Agar  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  va  $F = \{f_1, \dots, f_p\}$  funksional yopiq sinflar bo‘lsa, u holda  $\Phi \cap F$  va  $\Phi^* = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$  ham funksional yopiq sinflar bo‘lishini,  $\Phi \cup F$  esa funksional yopiq sinf bo‘lmasligini isbotlang.
3. Quyidagi maksimal funksional yopiq  $P_0, P_1, S, L, M$  sinflarning har biri boshqasining qism to‘plami bo‘lmasligini isbotlang.
4. Har qanday xususiy funksional yopiq sinf  $P_0, P_1, S, L, M$  maksimal funksional yopiq sinflardan birortasining qism to‘plami bo‘lishini isbotlang.
5. Nol saqlamaydigan funksiya yo nomonoton funksiya, yoki o‘z-o‘ziga ikki taraflama bo‘lmagan funksiya ekanligini isbotlang.
6. Post teoremasining isbotini keltiring.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. To‘liq funksiyalar sistemasi deb nimaga aytildi?
2. Funksional yopiq sinflar va xususiy funksional yopiq sinflar bir-biridan nima bilan farq qilishadi?
3. Maksimal funksional yopiq sinf nima?
4. Post teoremasi qanday isbotlanadi?
5. Post teoremasining natijasini bilasizmi?
6. To‘plam yopig‘i deganda nimani tushunasiz?
7. Post jadvalidan qanday foydalanish mumkin?

## *IV BOB* **MULOHAZALAR HISOBI**

Ushbu bobda mulohazalar hisobining simvollari, formulasi, aksiomalar sistemasi, keltirib chiqarish qoidalari, formulalar majmuasidan formulani keltirib chiqarish qoidasi, deduksiya va umumlashgan deduksiya teoremlari, ayrim mantiq qonunlarining isboti, mulohazalar algebrasi va mulohazalar hisobi orasidagi munosabatlar, mulohazalar hisobida yechilish, zidsizlik, to'liqlilik va erkinlik muammolari kabi masalalar bayon etilgan.

Mulohazalar hisobi aksiomatik mantiqiy sistema bo'lib, mulohazalar algebrasi esa uning interpretatsiyasidir (talqinidir).

*Berilgan aksiomalar sistemasi negizida qurilgan aksiomatik nazariya deb, shu aksiomalar sistemasiga tayanib isbotlanuvchi hamma teoremlar majmuasiga aytildi.*

Aksiomatik nazariya formal va formalmas nazariyalarga bo'linadi.

Formalmas aksiomatik nazariya nazariy-to'plamiy mazmun bilan to'ldirilgan bo'lib, keltirib chiqarish tushunchasi aniq berilmagan va bu nazariya asosan fikr mazmuniga suyanadi.

Qaralayotgan aksiomatik nazariya uchun quyidagi shartlar bajarilgan bo'lsa, ya'ni:

- 1) nazariyaning tili berilgan;
- 2) formula tushunchasi aniqlangan;
- 3) aksiomalar deb ataluvchi formulalar to'plami berilgan;
- 4) bu nazariyada keltirib chiqarish qoidasi aniqlangan bo'lsa, formal aksiomatik nazariya aniqlangan deb hisoblanadi.

### **4.1. Mulohazalar hisobi formulasi**

*Mulohazalar hisobi. Mantiqiy bog'lovchilar. Simvollar. Formula. Qismiy formula. Isbotlanuvchi formula. Aksioma.*

**4.1.1. Mulohazalar hisobining simvollari.** Har qanday hisobning tafsifi bu hisobning simvollari tafsifidan, formulalar va keltirib chiqarish formulalari ta'rifidan iborat.

**Mulohazalar hisobida** uch kategoriyalı simvollardan iborat alifbo qabul qilinadi.

**Birinchi kategoriya simvollari:**  $x, y, z, \dots, x_1, x_2, \dots$ . Bu simvollarni o'zgaruvchilar deb ataymiz.

**Ikkinchchi kategoriya simvollari:**  $\vee$ ,  $\wedge$ ,  $\rightarrow$ ,  $\neg$ . Bular mantiqiy bog'lovchilardir. Birinchisi – diz'yunksiya yoki mantiqiy qo'shish belgisi, ikkinchisi – kon'yunksiya yoki mantiqiy ko'paytma belgisi, uchinchisi – implikatsiya belgisi va to'rtinchisi – inkor belgisi deb ataladi.

**Uchinchi kategoriyaga qavslar deb ataladigan ( , ) simvollar kiritiladi.**

Mulohazalar hisobida boshqa simvollar yo'q.

**4.1.2. Mulohazalar hisobi formulasi tushunchasi.** Mulohazalar hisobining formulasi deb mulohazalar hisobi alifbosi simvollarining muayyan ketma-ketligiga aytiladi.

Formulalarni belgilash uchun lotin alifbosining bosh harflaridan foydalanamiz. Bu harflar mulohazalar hisobining simvollarini qatoriga kirmaydi. Ular faqatgina formulalarning shartli belgilari bo'lib xizmat qiladi.

Endi mulohazalar hisobi formulasi tushunchasi ta'rifini keltiramiz.

**1- ta'rif.** *Mulohazalar hisobi formulasi tushunchasi quyidagicha aniqlanadi:*

- 1) *har qanday  $x, y, z, \dots$  o'zgaruvchilarning istalgan biri formuladir;*
- 2) *agar  $A$  va  $B$  ning har biri formula bo'lsa, u holda  $(A \wedge B)$ ,  $(A \vee B)$ ,  $(A \rightarrow B)$  va  $\bar{A}$  ham formuladir.*
- 3) *boshqa hech qanday simvollar satri formula bo'la olmaydi.*

O'zgaruvchilarni elementar formulalar deb ataymiz.

**1- misol.** Formula ta'rifining 1) bandiga ko'ra  $x, y, z, \dots$  o'zgaruvchilarning har biri formula bo'ladi. U vaqtida ta'rifning 2) bandiga muvofiq  $(x \wedge y)$ ,  $(x \vee y)$ ,  $(x \rightarrow y)$ ,  $\bar{x}$  ham formulalardir. Xuddi shu kabi  $(x \vee y)$ ,  $((x \wedge y) \rightarrow z)$ ,  $((x \wedge y) \rightarrow (y \rightarrow z))$  ham formulalar bo'ladi.

Quyidagilar formula bo'la olmaydi:

$$x\bar{y}, \wedge z, (x \vee y, x \rightarrow y, (x \wedge y) \rightarrow \bar{x} . \blacksquare$$

**2- ta'rif.** *Mulohazalar hisobi qismiy formulasi tushunchasi quyidagicha aniqlanadi:*

- 1) *elementar formula uchun faqat uning o'zi qismiy formuladir;*
- 2) *agar  $\bar{A}$  formula bo'lsa, u holda shu formulaning o'zi,  $A$  formula va  $A$  formulaning hamma qismiy formulalari uning qismiy formulalari bo'ladi;*
- 3) *agar formula  $A^*B$  ko'rinishda bo'lsa (bu yerda va bundan keyin \* o'mida  $\vee$ ,  $\wedge$  yoki  $\rightarrow$  simvollardan birortasi bor deb tushunamiz), u holda shu formulaning o'zi,  $A$  va  $B$  formulalar hamda  $A$  va  $B$*

*formulalarning barcha qismiy formulalari A\*B formulaning qismiy formulalari bo'ldi.*

**2- misol.**  $((x \vee \bar{y}) \rightarrow (\bar{z} \rightarrow y))$  formula uchun:

$((x \vee \bar{y}) \rightarrow (\bar{z} \rightarrow y))$  – nolinchi chuqurlikdagi qismiy formula,

$(x \vee \bar{y}), (\bar{z} \rightarrow y)$  – birinchi chuqurlikdagi qismiy formulalar,

$x, \bar{y}, (\bar{z} \rightarrow y)$  – ikkinchi chuqurlikdagi qismiy formulalar,

$y, \bar{z}$  – uchinchi chuqurlikdagi qismiy formulalar,

$z$  – to'rtinchi chuqurlikdagi qismiy formula bo'ldi. ■

Formulalarni yozishda ayrim soddalashtirishlarni qabul qilamiz. Xuddi mulohazalar algebrasidagi kabi qavslar haqidagi kelishuv va mantiqiy amallarni bajarish imtiyozlari (III bobdag'i 2- paragrafga qarang) bu yerda ham o'rinni deb hisoblaymiz. Bu kelishuv va imtiyozlarga binoan, masalan,  $((x \vee y) \wedge z), (x \wedge y)$  va  $((x \wedge y) \rightarrow (z \wedge t))$  formulalarni mos ravishda  $x \vee y \wedge z, x \wedge y$  va  $x \wedge y \rightarrow z \wedge t$  ko'rinishda yozish mumkin.

**4.1.3. Isbotlanuvchi formula tushunchasi.** Endi mulohazalar hisobida isbotlanuvchi formulalar sinfini o'rganamiz. Isbotlanuvchi formula tushunchasiga ham formula tushunchasi ta'rifiga o'xshash ta'rif beriladi.

Avval dastlabki isbotlanuvchi formulalar (aksiomalar), undan keyin esa keltirib chiqarish qoidasi aniqlanadi. Keltirib chiqarish qoidasi orqali mavjud isbotlanuvchi formulalardan yangi isbotlanuvchi formulalar hosil qilinadi.

Dastlabki isbotlanuvchi formulalardan keltirib chiqarish qoidasini qo'llash yo'li bilan yangi isbotlanuvchi formulalarni hosil qilish shu formulalarni aksiomalardan keltirib chiqarish deb ataladi.

**4.1.4. Mulohazalar hisobining aksiomalar sistemasi.** Mulohazalar hisobining aksiomalar sistemasi XI aksiomadan iborat bo'lib, ular to'rt guruhga bo'linadi.

**Birinchi guruh aksiomalari:**

I<sub>1</sub>  $x \rightarrow (y \rightarrow x).$

I<sub>2</sub>  $(x \rightarrow (y \rightarrow z)) \rightarrow ((x \rightarrow y) \rightarrow (x \rightarrow z)).$

**Ikkinchi guruh aksiomalari:**

II<sub>1</sub>  $x \wedge y \rightarrow x.$

II<sub>2</sub>  $x \wedge y \rightarrow y.$

II<sub>3</sub>  $(z \rightarrow x) \rightarrow ((z \rightarrow y) \rightarrow (z \rightarrow x \wedge y)).$

**Uchinchi guruh aksiomalari:**

III<sub>1</sub>  $x \rightarrow x \vee y.$

III<sub>2</sub>  $y \rightarrow x \vee y$ .

III<sub>3</sub>  $(x \rightarrow z) \rightarrow ((y \rightarrow z) \rightarrow (x \vee y \rightarrow z))$ .

To'rtinchi guruh aksiomalari:

IV<sub>1</sub>  $(x \rightarrow y) \rightarrow (\bar{y} \rightarrow \bar{x})$ .

IV<sub>2</sub>  $x \rightarrow \bar{\bar{x}}$ .

IV<sub>3</sub>  $\bar{\bar{x}} \rightarrow x$ .

## 4.2. Keltirib chiqarish qoidalari

*Keltirib chiqarish. O'rniga qo'yish, xulosa qoidalari. Aksiomalar sistemasi. Isbotlash.*

Bu paragrafda mulohazalar hisobida keltirib chiqarish qoidalari deb ataluvchi o'rniga qo'yish va xulosa qoidalari bayon qilinadi.

**4.2.1. O'rniga qo'yish qoidasi.** Agar  $A$  mulohazalar hisobining isbotlanuvchi formulasi,  $x$  o'zgaruvchi,  $B$  mulohazalar hisobining ixtiyoriy formulasi bo'lsa, u holda  $A$  formula ifodasidagi hamma  $x$  lar o'rniga  $B$  formulani qo'yish natijasida hosil qilingan formula ham isbotlanuvchi formula bo'ladi.

$A$  formuladagi hamma  $x$  o'zgaruvchilar o'rniga  $B$  formulani qo'yish operatsiyasini (jarayonini) e'rniga qo'yish qoidasi deb aytamiz va uni quyidagicha belgilaymiz<sup>1</sup>:  $\int_x^B(A)$ .

O'rniga qo'yish qoidasiga quyidagi aniqliklarni kiritamiz:

- agar  $A$  faqat  $x$  o'zgaruvchidan iborat bo'lsa, u holda  $\int_x^B(A)$  o'rniga qo'yish  $B$  formulani beradi;
- agar  $A$  formula  $x$  dan farqli  $y$  o'zgaruvchidan iborat bo'lsa, u vaqtida  $\int_x^B(A)$  o'rniga qo'yish  $A$  ni beradi;

- agar  $A$  o'rniga qo'yish aniqlangan formula bo'lsa, u holda  $\overline{A}$  formuladagi  $x$  o'rniga  $B$  formulani qo'yish natijasida o'rniga qo'yishning inkori kelib chiqadi, ya'ni  $\int_x^B(\overline{A})$  o'rniga qo'yish  $\overline{\int_x^B(A)}$  ni beradi.

<sup>1</sup> Bu yerda matematik analizdagı integral belgisi ishlatsada, uning ma'nosi o'zgacha.

e) agar  $A_1$  va  $A_2$  formulalarda o‘rniga qo‘yish aniqlangan bo‘lsa, u holda  $\int_x^B (A_1 * A_2)$  o‘rniga qo‘yish  $\int_x^B (A_1) * \int_x^B (A_2)$  ni beradi.

Agar  $A$  isbotlanuvchi formula bo‘lsa, u holda uni  $\neg A$  shaklda yozishga kelishamiz. U holda o‘rniga qo‘yish qoidasini quyidagicha sxematik ravishda ifodalash mumkin:  $\frac{\neg A}{\neg \int_x^B (A)}$  va uni “agar  $A$  isbotla-

nuvchi formula bo‘lsa, u holda  $\int_x^B (A)$  ham isbotlanuvchi formula bo‘ladi” deb o‘qiladi.

**4.2.2. Xulosa qoidasi.** Agar  $A$  va  $A \rightarrow B$  mulohazalar hisobining isbotlanuvchi formulalari bo‘lsa, u holda  $B$  ham isbotlanuvchi formula bo‘ladi. Bu qoida **xulosa qoidasi** deb yuritiladi va sxematik ravishda quyidagicha yoziladi:

$$\frac{\neg A; \quad \neg A \rightarrow B}{\neg B}.$$

**1- ta’rif (isbotlanuvchi formula ta’rifi).**

a) har qanday aksioma isbotlanuvchi formuladir;

b) isbotlanuvchi formuladagi  $x$  o‘zgaruvchi o‘rniga ixtiyoriy  $B$  formulani qo‘yish natijasida hosil bo‘lgan formula isbotlanuvchi formula bo‘ladi;

d)  $A$  va  $A \rightarrow B$  isbotlanuvchi formulalardan xulosa qoidasini qo‘llash natijasida olingan  $B$  formula isbotlanuvchi formuladir;

e) Mulohazalar hisobining boshqa hech qanday formulasi isbotlanuvchi formula emas.

**2- ta’rif.** Isbotlanuvchi formulalarni hosil qilish jarayoni **isbot qilish (isbotlash)** deb ataladi.

**1- misol.**  $\neg A \rightarrow A$  bo‘lishini (implikatsiyaning refleksivligini) isbotlaymiz. Buning uchun I<sub>2</sub> aksiomadan foydalanamiz. Bu yerda  $\int_z^x (I_2)$  o‘rniga qo‘yishni bajarish natijasida

$$|-(x \rightarrow (y \rightarrow x)) \rightarrow ((x \rightarrow y) \rightarrow (x \rightarrow x)) \quad (1)$$

kelib chiqadi. I<sub>2</sub> aksioma va (1) formulaga xulosa qoidasini qo'llab

$$|-(x \rightarrow y) \rightarrow (x \rightarrow x) \quad (2)$$

formulani hosil qilamiz.

$$(2) \text{ formulaga nisbatan } \int_y^{\bar{x}} (2) \text{ o'rniga qo'yishni bajarish natijasida}$$

$$|-(x \rightarrow \bar{x}) \rightarrow (x \rightarrow x) \quad (3)$$

isbotlanuvchi formulaga ega bo'lamiz.

IV<sub>2</sub> aksioma va (3) formulaga nisbatan xulosa qoidasini qo'llash natijasida

$$|-\bar{x} \rightarrow x \quad (4)$$

isbotlanuvchi formulaga kelamiz. Nihoyat, (4) formuladagi  $x$  o'zgaruvchi o'rniga  $A$  formulani qo'ysak  $|-\bar{A} \rightarrow A$  isbotlanishi kerak bo'lган formula hosil bo'ladi. ■

**2- misol.**  $|\neg x \vee y \rightarrow \bar{x} \wedge \bar{y}$  ekanligini isbotlaymiz. Haqiqatdan ham, II<sub>3</sub> aksiomaga nisbatan ketma-ket ikki marta o'rniga qo'yish usulini qo'llaymiz: avval  $x$  ni  $\bar{x}$  ga va keyin  $y$  ni  $\bar{y}$  ga almashtiramiz. Natijada quyidagi isbotlanuvchi formulaga ega bo'lamiz

$$|-(z \rightarrow \bar{x}) \rightarrow \underline{\underline{(z \rightarrow \bar{y}) \rightarrow (z \rightarrow \bar{x} \wedge \bar{y})}}_{x \vee y}. \quad (5)$$

(5) formulaga nisbatan  $\int_y^{\bar{x}} (5)$  o'rniga qo'yishni bajarib, quyidagini hosil qilamiz:  $|-\underline{\underline{((\bar{x} \vee y) \rightarrow \bar{x}) \rightarrow ((\bar{x} \vee y) \rightarrow \bar{y}) \rightarrow (\bar{x} \vee y \rightarrow \bar{x} \wedge \bar{y})}}.$

Endi  $\frac{x \vee y \rightarrow \bar{x}}{\bar{x} \vee y \rightarrow \bar{y}}, \quad (6)$

$$\frac{\bar{x} \vee y \rightarrow \bar{y}}{x \vee y \rightarrow \bar{y}} \quad (7)$$

formulalarning isbotlanuvchi ekanligini ko'rsatamiz. Buning uchun IV<sub>1</sub>

aksiomaga nisbatan  $\int_y^{\bar{x}} (IV_1)$  o'rniga qo'yishni bajaramiz. Natijada

$$|-(x \rightarrow x \vee y) \rightarrow \underline{\underline{(x \vee y) \rightarrow \bar{x}}} \quad (8)$$

Bundan keyin  $A_n$  formulaga nisbatan yana  $n$  ta o'rniga qo'yishni ketma-ket bajaramiz: avval  $z_1$  o'rniga  $B_1$  ni, keyin  $z_2$  o'rniga  $B_2$  ni va hokazo  $z_n$  o'rniga  $B_n$  ni qo'yib chiqamiz. Buning natijasida  $\vdash \int_{z_1}^{B_1} (A_n)$  o'rniga qo'yishdan  $\vdash C_1$  ni,  $\vdash \int_{z_2}^{B_2} (C_1)$  o'rniga qo'yishdan  $\vdash C_2$  ni va hokazo  $\vdash \int_{z_n}^{B_n} (C_{n-1})$  o'rniga qo'yishdan  $\vdash C_n$  ni hosil qilamiz. Demak,  $C_n$  isbotlanuvchi formula  $A$  formuladagi  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilar o'rniga bir vaqtida mos ravishda  $B_1, B_2, \dots, B_n$  formulalarni qo'yish natijasida hosil bo'ladi. Bir vaqtida o'rniga qo'yish operasiyasini (qoidasini) quyidagicha ifodalaymiz:

$$\frac{\vdash A}{\vdash \int_{x_1, x_2, \dots, x_n}^{B_1, B_2, \dots, B_n} (A)}$$

#### 4.3.2. Murakkab xulosa qoidasi. Bu qoidada

$$\vdash A_1 \rightarrow (A_2 \rightarrow (A_3 \rightarrow (\dots (A_n \rightarrow L) \dots))) \quad (1)$$

ko'rinishdagi formulalarga nisbatan ikkinchi hosilaviy qoida ishlataladi va uni quyidagi tasdiq orqali izohlash mumkin.

**1-teorema.** Agar  $A_1, A_2, \dots, A_n$  va

$$A_1 \rightarrow (A_2 \rightarrow (A_3 \rightarrow (\dots (A_n \rightarrow L) \dots))) \quad (2)$$

isbotlanuvchi formulalar bo'lsa, u holda  $L$  ham isbotlanuvchi formula bo'ladi.

**I sb ot i.** Xulosa qoidasini ketma-ket qo'llaymiz. Agar  $A_1$  va (2) isbotlanuvchi formulalar bo'lsa, u holda xulosa qoidasiga asosan

$$A_2 \rightarrow (A_3 \rightarrow (\dots (A_n \rightarrow L) \dots)) \quad (3)$$

ham isbotlanuvchi formula bo'ladi.  $A_2$  va (3) isbotlanuvchi formula bo'lganligi uchun

$$A_3 \rightarrow (\dots (A_n \rightarrow L) \dots) \quad (4)$$

formula ham isbotlanuvchi bo'ladi. Muhokamani xuddi shunday davom ettirib, natijada  $L$  isbotlanuvchi formula ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

formulaga ega bo'lamiz. (8) formula va III, aksiomaga nisbatan xulosa qoidasini ishlatib, (6) formulaning isbotlanuvchi formula ekanligiga ishonch hosil qilamiz. Xuddi shu kabi (7) formulaning ham isbotlanuvchi formula ekanligini ko'rsatish mumkin.

(6) va (5) formulalarga xulosa qoidasini qo'llasak,

$$\vdash (\overline{x \vee y} \rightarrow \overline{y}) \rightarrow (\overline{x \vee y} \rightarrow \overline{x} \wedge \overline{y}) \quad (9)$$

isbotlanuvchi formula kelib chiqadi.

(7) va (9) formulalarga xulosa qoidasini qo'llab, berilgan

$$\vdash \overline{x \vee y} \rightarrow \overline{x} \wedge \overline{y} \text{ formulaning isbotlanuvchi ekanligini hosil qilamiz. } \blacksquare$$

### 4.3. Keltirib chiqarish qoidasining hosilalari

*Formula. Hosilaviy qoidalar. Bir vaqtida o'rniga qo'yish, murakkab xulosa, sillogizm, kontrpozisiya, ikki karralik inkorni tushirish qoidalari.*

O'rniga qo'yish va xulosa qoidalari singari keltirib chiqarish qoidasining hosilalari ham yangi isbotlanuvchi formulalar hosil qilishga imkon yaratadi.

#### 4.3.1. Bir vaqtida o'rniga qo'yish qoidasi.

*Ta'rif. Agar  $A(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – isbotlanuvchi formula va  $B_1, B_2, \dots, B_n$  mulohazalar hisobining ixtiyoriy formulalari bo'lsa, u holda  $A$  formulaning  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilari o'rniga bir vaqtida mos ravishda  $B_1, B_2, \dots, B_n$  formulalarni qo'yish natijasida  $C$  isbotlanuvchi formulani hosil qilish bir vaqtida o'rniga qo'yish qoidasi deb ataladi.*

$z_1, z_2, \dots, z_n$  o'zgaruvchilar  $A, B_1, B_2, \dots, B_n$  formulalardagi boshqa o'zgaruvchilardan farq qiluvchi o'zgaruvchilar va  $z_i \neq z_j$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ) bo'lsin. U holda  $A$  formulaga  $n$  ta o'rniga qo'yishni ketma-ket bajaramiz: avval  $x_1$  o'rniga  $z_1$  ni, keyin  $x_2$  o'rniga  $z_2$  ni va hokazo  $x_n$  o'rniga  $z_n$  ni qo'yamiz. Natijada quyidagi isbotlanuvchi formulalarga ega bo'lamic:

$\vdash \int_{x_1}^{z_1} (A) \text{ o'rniga qo'yish } \vdash A_1 \text{ ni, } \vdash \int_{x_2}^{z_2} (A_1) \text{ o'rniga qo'yish } \vdash A_2 \text{ ni, va}$   
 hokazo  $\vdash \int_{x_n}^{z_n} (A_{n-1}) \text{ o'rniga qo'yish } \vdash A_n \text{ ni beradi.}$

Murakkab xulosa qoidasini sxematik ravishda quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{| -A_1, | -A_2, \dots, | -A_n, | -A_1 \rightarrow (A_2 \rightarrow (A_3 \rightarrow (\dots (A_n \rightarrow L) \dots)))}{| -L} \quad (5)$$

#### 4.3.3. Sillogizm<sup>1</sup> qoidasi.

**2- teorema.** Agar  $A \rightarrow B$  va  $B \rightarrow C$  isbotlanuvchi formulalar bo'lsa, u holda  $A \rightarrow C$  ham isbotlanuvchi formula bo'ladi.

**I s b o t i.** Teoremani sxematik ravishda quyidagicha yozamiz

$$\frac{| -A \rightarrow B, | -B \rightarrow C}{| -A \rightarrow C}. \quad (6)$$

$I_1$  va  $I_2$  aksiomalarga nisbatan

$$\int\limits_{x,y,z}^{A,B,C} (I_2) \text{ va } \int\limits_{x,y}^{B \rightarrow C, A} (I_1)$$

bir vaqtda o'rniga qo'yish qoidalari ni qo'llash natijasida quyidagi isbotlanuvchi formulalarni hosil qilamiz:

$$| -A \rightarrow (B \rightarrow C) \rightarrow ((A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow C)), \quad (7)$$

$$| -(B \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow (B \rightarrow C)). \quad (8)$$

Teoremaning shartiga asosan

$$| -A \rightarrow B, \quad (9)$$

$$| -B \rightarrow C \quad . \quad (10)$$

formulalar isbotlanuvchidir.

(10) va (8) formulalardan xulosa qoidasiga asosan

$$| -A \rightarrow (B \rightarrow C) \quad (11)$$

formulani hosil qilamiz. U vaqtda (11), (9) va (7) formulalardan murakkab xulosa qoidasiga asosan  $| -A \rightarrow C$  ekanligi kelib chiqadi. ■

Agar  $A \rightarrow B$  va  $B \rightarrow C$  isbotlanuvchi formulalar bo'lsa, u holda  $A \rightarrow C$  ham isbotlanuvchi formula bo'lishini sillogizm qoidasi deb ataymiz.

#### 4.3.4. Kontrpozitsiya qoidasi.

<sup>1</sup> Bu so'z negizida yunoncha συλλογισμός (syllogismos) so'zi yotadi, u mantiqan kelib chiqish ma'nosini beradi.

**3-teorema.** Agar  $A \rightarrow B$  isbotlanuvchi formula bo'lsa, u holda  $\bar{B} \rightarrow \bar{A}$  ham isbotlanuvchi formula, ya'ni

$$\frac{| -A \rightarrow B }{| -\bar{B} \rightarrow \bar{A} } \quad (12)$$

bo'ladi.

**Isboti.** IV<sub>1</sub> aksiomaga nisbatan  $\int_{x,y}^{A,B} (\text{IV}_1)$  bir vaqtda o'rniga qo'yish qoidasini qo'llab,  $| - (A \rightarrow B) \rightarrow (\bar{B} \rightarrow \bar{A})$  isbotlanuvchi formulani hosil qilamiz. (13)

Teoremaning shartiga asosan

$$| - A \rightarrow B \quad (14)$$

isbotlanuvchi formuladir. Shuning uchun (14) va (13) formulalardan xulosa qoidasiga asosan  $| - (\bar{B} \rightarrow \bar{A})$  isbotlanuvchi formula ekanligi kelib chiqadi. ■

Agar  $A \rightarrow B$  isbotlanuvchi formula bo'lsa, u holda  $\bar{B} \rightarrow \bar{A}$  ham isbotlanuvchi formula bo'lishini kontrpozitsiya qoidasi deb ataymiz.

#### 4.3.5. Ikki karrali inkorni tushirish qoidasi.

**4-teorema.** 1) Agar  $A \rightarrow \bar{B}$  isbotlanuvchi formula bo'lsa, u holda  $A \rightarrow B$  ham isbotlanuvchi formula bo'ladi;

2) Agar  $\bar{A} \rightarrow B$  isbotlanuvchi formula bo'lsa, u holda  $A \rightarrow B$  formula ham isbotlanuvchi formula, ya'ni

$$\frac{| -A \rightarrow \bar{B} \quad \text{va} \quad | -\bar{A} \rightarrow B }{| -A \rightarrow B } \quad (15)$$

bo'ladi.

**Isboti.** IV<sub>2</sub> va IV<sub>3</sub> aksiomalarga nisbatan  $\int_x^A (\text{IV}_2)$  va  $\int_x^B (\text{IV}_3)$  o'rniga qo'yish qoidalarini qo'llab,

$$| -A \rightarrow \bar{A}, \quad (16)$$

$$| -\bar{B} \rightarrow B \quad (17)$$

isbotlanuvchi formulalarni hosil qilamiz.

Teoremaning 1) va 2) shartlariga asosan

$$| -A \rightarrow \bar{B}, \quad (18)$$

$$| -\bar{A} \rightarrow B \quad (19)$$

formulalar isbotlanuvchidir. Agar teoremaning 1) sharti bajarilsa, u holda (17) va (18) formulalardan sillogizm qoidasiga asosan  $\neg A \rightarrow B$  kelib chiqadi. Agar 2) sharti bajarilsa, u holda (16) va (19) formulalardan  $\neg A \rightarrow B$  kelib chiqadi. ■

Agar  $A \rightarrow \bar{B}$  ( $\bar{A} \rightarrow B$ ) isbotlanuvchi formula bo'lsa, u holda  $A \rightarrow B$  ham isbotlanuvchi formula bo'lishini ikki karrali inkorni tushirish qoidasi deb ataymiz.

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Quyidagi ifodalarning qaysilari mulohazalar hisobining formulalari bo'lishini aniqlang:

- a)  $(\bar{p}_1 \wedge \bar{p}_2) \rightarrow (p_1 \vee p_2)$ ;      b)  $((p_1 \vee p_2) \vee (p_1 p_2)) \rightarrow \bar{p}_3$ ;
- d)  $(p_1 \rightarrow (p_2 \vee p_3)) \rightarrow p_3$ ;    e)  $(p_1 \wedge (\neg p_2)) \rightarrow (p_2 \rightarrow \bar{p}_1)$ ;
- f)  $(p_1 \rightarrow p_2) \rightarrow ((p_1 \rightarrow \bar{p}_2) \rightarrow p_1)$ ;
- g)  $(p_1 \rightarrow p_3) \rightarrow ((p_2 \rightarrow p_3) \rightarrow ((p_1 \vee p_2) \rightarrow p_3))$ ;
- h)  $((p_1 \rightarrow p_2) \wedge (p_1 \rightarrow p_3)) \rightarrow (p_1 \rightarrow (p_2 \wedge p_3))$ ;
- i)  $((p_1 \wedge \bar{p}_2) \rightarrow (\bar{\bar{p}}_1 \vee \vee p_2)) \leftrightarrow (\vee p_1 \vee p_2)$ .

2. Quyidagi formulalarning hamma qismiy formulalarini toping:

- a)  $x \rightarrow y \wedge (\bar{x} \vee y)$ ;                          b)  $(x \leftrightarrow y) \vee (\bar{x}y)$ ;
- d)  $x \rightarrow (\underline{y \rightarrow x})$ ;                                  e)  $\underline{a \vee b} \rightarrow c$ ;
- f)  $\underline{a \wedge c \vee b}$ ;                                                  g)  $\underline{x \rightarrow y \wedge z}$ ;
- h)  $x \vee yz \rightarrow x$ ;                                                  i)  $x \rightarrow y \vee x \wedge y$ ;
- j)  $((x \rightarrow x) \wedge (y \rightarrow z)) \rightarrow (\bar{x} \vee z)$ ; k)  $(x \rightarrow y) \rightarrow ((x \rightarrow \bar{y}) \rightarrow \bar{y})$ .

3.  $L_1 = (A \rightarrow B) \rightarrow (\bar{B} \rightarrow \bar{A})$ ,  $L_2 = A \vee B$  va  $L_3 = A \rightarrow B \vee C$

formulalar uchun quyidagi o'rniga qo'yishlarning natijalarini aniqlang:

- a)  $\int_{A,B}^{B,C} (L_1)$ ;      b)  $\int_A^{A \rightarrow B} (L_2)$ ;      d)  $\int_{A,C}^{B \rightarrow A \wedge B, B} (L_3)$ ;
- e)  $\int_{A,B}^{A \wedge B, A \vee B} (L_1)$ ;      f)  $\int_{A,B}^{B,A} (L_2)$ ;      g)  $\int_{A,B,C}^{A \wedge \bar{A}, C, \bar{A}} (L_3)$ .

4. O‘rniga qo‘yish qoidasini qo‘llab, quyidagi formulalarning isbotlanuvchi ekanligini ko‘rsating:

$$a) (A \rightarrow B) \wedge B \rightarrow B; \quad b) A \wedge B \rightarrow A \wedge B \vee C;$$

$$d) (\bar{A} \rightarrow B) \rightarrow ((C \rightarrow B) \rightarrow (\bar{A} \vee C \rightarrow B)); \quad e) \overline{C \vee D} \rightarrow C \vee D;$$

$$f) (A \wedge B \rightarrow (C \rightarrow B \wedge C)) \rightarrow ((A \wedge B \rightarrow C) \rightarrow (A \wedge B \rightarrow B \wedge C)).$$

5. O‘rniga qo‘yish va xulosa qodalarini qo‘llab, quyidagi formulalarning isbotlanuvchi ekanligini aniqlang:

$$a) A \vee A \rightarrow A; \quad b) A \rightarrow A \wedge A; \quad d) A \wedge B \rightarrow B \wedge A;$$

$$e) A \vee B \rightarrow B \vee A; \quad f) (A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow A); \quad g) \overline{\overline{A}} \rightarrow \overline{A}.$$

6. Keltirib chiqarishning hosilaviy qoidalaridan foydalaniib, quyidagi formulalarning isbotlanuvchi ekanligini ko‘rsating:

$$a) \overline{\overline{A} \vee \overline{B}} \rightarrow A \wedge B; \quad b) A \rightarrow R;$$

$$d) (A \rightarrow \overline{B}) \rightarrow (A \rightarrow A \vee B); \quad e) F \rightarrow A;$$

$$f) A \wedge \overline{A} \rightarrow F; \quad g) \overline{(A \rightarrow B)} \rightarrow \overline{(A \rightarrow A)};$$

$$h) (A \rightarrow B) \wedge \overline{B} \rightarrow \overline{A}; \quad i) \overline{A \wedge \overline{B}} \rightarrow \overline{A \vee B}.$$

7. Keltirib chiqarishning quyidagi hosilaviy qoidalarini isbotlang:

$$a) \frac{|-\overline{A}}{|-\overline{A} \wedge B}; \quad b) \frac{|-\overline{A}}{|-\overline{A} \vee B}; \quad d) \frac{|-\overline{A}}{|-\overline{A} \rightarrow B}; \quad e) \frac{|-\overline{B}}{A \rightarrow B};$$

$$f) \frac{|-\overline{A} \wedge B}{|-\overline{A}}; \quad g) \frac{|-\overline{B}}{|-\overline{A} \wedge B}; \quad h) \frac{|-\overline{A} \rightarrow B, |-\overline{B}}{|-\overline{A}}; \quad i) \frac{|-\overline{A}, |-\overline{B}}{|-\overline{A} \wedge B};$$

$$j) \frac{|-\overline{A}, |-\overline{B}}{|-\overline{A} \vee B}; \quad k) \frac{|-\overline{A}, |-\overline{B}}{|-\overline{A} \rightarrow B}; \quad l) \frac{|-\overline{A} \rightarrow \overline{A}}{|-\overline{A}}; \quad m) \frac{|-\overline{A} \rightarrow A}{|-\overline{A}};$$

$$n) \frac{|-\overline{A} \rightarrow B, |-\overline{A} \rightarrow B}{|-\overline{B}}; \quad o) \frac{|-\overline{A} \rightarrow B, |-\overline{A} \rightarrow \overline{B}}{|-\overline{A}}.$$

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Muloqazalar hisobi formulasini tushunchasini bilasizmi?
2. Mantiqiy bog‘lovchilar deganda nimanini tushunasiz?
3. Simvollar nima?

4. Qismiy formula bilan formula tushunchalari bir-biridan nimasi bilan farq qiladi?
5. Isbotlanuvchi formula ta'rifini bilasizmi?
6. Mulohazalar hisobining aksiomalar sistemasida (tizimida) qanday aksiomalar bor?
7. Keltirib chiqarish qoidalari deganda nimani tushunasiz?
8. Keltirib chiqarish qoidasining qanday hosilalari bor?
9. Bir vaqtida o'mniga qo'yish va murakkab xulosa qoidalarni qanday qo'llash mumkin?
10. Sillogizm, kontrpozitsiya va ikki karrali inkorni tushirish qoidalarni bilasizmi?

#### 4.4. Isbotlash tushunchasi

*Keltirib chiqarish qoidasi. Keltirib chiqariladigan formulalar sinfi.*

*Isbotlanuvchi formulalar sinfi. Isbotlash tushunchasi. Keltirib chiqarishning xossalari.*

**4.4.1. Formulani keltirib chiqarish qoidasi.**  $H = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  chekli formulalar majmuasi (to'plami) berilgan bo'lsin. Bu formulalar majmuasidan formulani keltirib chiqarish tushunchasini o'rGANAMIZ.

1- ta'rif. 1) *Har qanday  $A_i \notin H$  formulalar majmuasi  $H$  dan keltirib chiqariladigan formuladir.*

2) *Har qanday isbotlanuvchi formula  $H$  dan keltirib chiqariladi.*

3)  *$C \rightarrow C \rightarrow B$  lar  $H$  formulalar majmuasidan keltirib chiqarilgan formulalar bo'lsa, u holda  $B$  formula ham  $H$  dan keltirib chiqariladi.*

Biror  $B$  formula  $H$  formulalar majmuasidan keltirib chiqariladigan bo'lsa, uni simvolik ravishda  $H \vdash B$  shaklda yozamiz.

Agar  $H$  bo'sh to'plam yoki elementlari faqat isbotlanuvchi formulalardan iborat bo'lsa, u holda  $H$  dan keltirib chiqariladigan formulalar sinfi isbotlanuvchi formulalar sinfi bilan mos keladi. Agar formulalar majmuasi  $H$  ning hech bo'lmaganda bitta elementi isbotlanmaydigan formuladan iborat bo'lsa, u holda  $H$  dan keltirib chiqariladigan formulalar sinfi isbotlanuvchi formulalar sinfiga nisbatan kengroq bo'ladi.

**Misol.**  $A \vee B$  formula  $H = \{A, B\}$  formulalar majmuasidan keltirib chiqarilishini ko'rsatamiz. Haqiqatdan ham,  $A \in H$  va  $B \in H$  bo'lgani uchun formulani keltirib chiqarish qoidasiga asosan quyidagilar o'rni:

$$H \vdash A, \quad (1)$$

$$H \vdash B. \quad (2)$$

$\Pi_3$  va  $I_1$  aksiomalarga nisbatan  $\int_{x,y,z}^{A,B,A} (\Pi_3)$  va  $\int_{x,y}^{B,A} (I_1)$  o'miga qo'yishlarni keltirib chiqarish qoidasiga asosan  $H$  dan keltirib chiqariladi, ya'ni

$$H \vdash (A \rightarrow A) \rightarrow ((A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow A \wedge B)), \quad (3)$$

$$H \vdash B \rightarrow (A \rightarrow B) \quad (4)$$

kabi bo'ladi.  $A \rightarrow A$  isbotlanuvchi formula bo'lgani uchun

$$H \vdash A \rightarrow A. \quad (5)$$

(5) va (3) formulalardan xulosa qoidasiga asosan

$$H \vdash (A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow A \wedge B) \quad (6)$$

hosil bo'ladi. Xuddi shu kabi (2) va (4) formulalardan

$$H \vdash (A \rightarrow B) \quad (7)$$

munosabatga kelamiz. (7) va (6) formulalardan xulosa qoidasiga asosan

$$H \vdash A \rightarrow A \wedge B \quad (8)$$

kelib chiqadi. U holda (1) va (8) formulalardan

$$H \vdash A \wedge B \quad (9)$$

hosil bo'ladi, ya'ni  $A \wedge B$  formula  $H$  formulalar majmuasidan kelib chiqishini ko'rsatdik. ■

$H$  formulalar majmuasidan birorta ixtiyoriy formulani keltirib chiqarishda murakkab xulosa qoidasidan ham foydalansa bo'ladi.

Bu holda (9) munosabatga (5), (7), (1) va (3) mulohazalar yordamida kelish mumkin.

#### 4.4.2. Keltirib chiqarish (isbotlash) tushunchasi.

2- ta'rif. Agar  $B_1, B_2, \dots, B_n$  chekli formulalar ketma-ketligining har qanday hadi quyidagi uch shartning birortasini qanoatlantirsa, u holda bu ketma-ketlik  $H$  chekli formulalar majmuasidan keltirib chiqarilgan deyiladi:

1)  $H$  formulalar majmuasining birorta formularsi;

2) isbotlanuvchi formula;

3)  $B_1, B_2, \dots, B_n$  ketma-ketlikning istalgan ikkita oldinma-keyin keladigan elementlaridan xulosa qoidasiga asosan hosil qilinadi.

Oldingi paragrafdagi misolda ko'rsatildiki,  $H = \{A, B\}$  formulalar majmuasidan quyidagi formulalar chekli ketma-ketligi keltirilib chiqariladi:

$$A, B, (A \rightarrow A) \rightarrow ((A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow A \wedge B)), B \rightarrow (A \rightarrow B), \\ A \rightarrow A, (A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow A \wedge B), A \rightarrow B, A \rightarrow A \wedge B, A \wedge B.$$

Agar murakkab xulosa qoidasidan foydalansak, u holda (isbotlash) keltirib chiqarish formulalari quyidagicha bo'ladi:

$$A, B, (A \rightarrow A) \rightarrow ((A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow A \wedge B)), \\ B \rightarrow (A \rightarrow B), A \rightarrow A, A \rightarrow B, A \wedge B.$$

Formulani keltirib chiqarish va formulalar majmuasidan keltirib chiqarish ta'riflariga asosan keltirib chiqarishning quyidagi xossalari hosil bo'ladi:

1)  $H$  formulalar majmuasidan keltirib chiqarilgan chekli ketma-ketlikning boshlang'ich qismi ham  $H$  dan keltirib chiqariladigan bo'ladi.

2) Agar  $H$  dan keltirib chiqarilgan ketma-ketlikning ikkita qo'shni hadlari (elementlari) orasiga  $H$  dan keltirib chiqarilgan biror boshqa ketma-ketlik qo'yilsa, u holda hosil etilgan yangi formulalar ketma-ketligi ham  $H$  dan keltirib chiqarilishi mumkin.

Haqiqatan ham, masalan, agar  $B_1, B_2, \dots, B_i, B_{i+1}, \dots, B_k$  va  $C_1, C_2, \dots, C_m$  lar  $H$  dan keltirib chiqarilsa, u vaqfda, keltirib chiqarish ta'rifiga asosan,  $B_1, B_2, \dots, B_i, C_1, C_2, \dots, C_m, B_{i+1}, \dots, B_k$  ham  $H$  dan keltirib chiqariladigan bo'ladi.

3)  $H$  formulalar majmuasidan keltirib chiqarilgan formulalar ketma-ketligining har qanday hadi  $H$  dan keltirib chiqariladigan formuladir.

4) Agar  $H \subset W$  bo'lsa, u holda  $H$  dan keltirib chiqarilgan har qanday formula  $W$  ning ham formulasi bo'ladi.

5)  $B$  formula  $H$  dan keltirib chiqariladigan formula bo'lishi uchun  $H$  dan keltirib chiqarilgan ixtiyoriy formulalar ketma-ketligida bu formulaning mavjud bo'lishi yetarli va zarurdir.

#### 4.5. Keltirib chiqarishning asosiy qoidalari

*Isbotlash tushunchasi. Keltirib chiqarishning xossalari. Keltirib chiqarishning asosiy qoidalari. Deduksiya teoremasi. Deduksiya umumlashgan teoremasi.*

*Kon'yunksiyani, diz'yunksiyani kiritish qoidalari.*

$H$  va  $W$  mulohazalar hisobining ikkita formulalar majmuasi bo'lsin. Bu majmualarning yig'indisini (birlashmasini)  $H, W$  deb belgilaymiz, ya'ni  $H, W = H \cup W$ .  $W$  majmua bitta  $C$  formuladan iborat bo'lganda ham  $H \cup \{C\}$  birlashmani  $H, C$  ko'rinishda yozamiz.

Endi keltirib chiqarishning asosiy qoidalarini o'rganamiz.

$$4.5.1. I \text{ qoida. } \frac{H \vdash A}{H, W \vdash A}.$$

**I s b o t i.** Bu qoida bevosita formulalar majmuasidan keltirib chiqarish qoidasi asosida hosil bo‘ladi. ■

$$4.5.2. \text{ II qoida. } \frac{H, C \vdash A, \quad H \nmid C}{H \vdash A}.$$

**I s b o t i.** Bu qoidaning shartiga asosan  $H, C$  formulalar majmuasidan  $A$  formula keltirib chiqariladi. Shuning uchun  $H, C$  dan oxirgi formulasi  $A$  bo‘lgan keltirib chiqarish mavjud:

$$B_1, B_2, \dots, B_{k-1}, A. \quad (1)$$

Xuddi shu kabi  $H$  formulalar majmuasidan  $C$  formulani keltirib chiqarish mumkinligidan  $H$  dan keyingi formulasi  $C$  bo‘lgan keltirib chiqarish mavjud:

$$C_1, C_2, \dots, C_m, C. \quad (2)$$

(1) keltirib chiqarishda  $C$  formula ishtirok etmagan holda, u faqat  $H$  formulalar majmuasidan keltirib chiqarilgan ketma-ketlikda bo‘ladi. Demak,  $H$  dan  $A$  formula keltirib chiqariladi.

Agar (1) keltirib chiqarishda birorta formula  $C$  bo‘lsa (masalan, formula  $B_i$ ), u holda  $B_{i-1}$  va  $B_{i+1}$  formulalar orasiga (2)ni qo‘yamiz. Natijada quyidagi faqat  $H$  dan keltirib chiqarishni olamiz:

$$B_1, B_2, \dots, B_{i-1}, C_1, C_2, \dots, C_m, B_{i+1}, \dots, B_{k-1}, A.$$

Shunday qilib,  $H$  dan  $A$  formula keltirib chiqariladi. ■

$$4.5.3. \text{ III qoida. } \frac{H, C \vdash A, W \nmid C}{H, W \vdash A}.$$

**I s b o t i.**  $H, C \vdash A$  bo‘lganligi uchun I qoidaga asosan  $H, W, C \vdash A$ . Qoidaning shartiga binoan  $W \nmid C$ , u holda I qoidaga ko‘ra  $H, W \vdash C$ . II qoidadan foydalanib  $H, W \vdash A$  ni topamiz. ■

$$4.5.4. \text{ IV qoida. } \frac{H \nmid C \rightarrow A}{H, C \vdash A}.$$

**I s b o t i.**  $C \rightarrow A$  formula  $H$  formulalar majmuasidan keltirib chiqariladigan bo‘lgani sababli  $H$  ning shunday keltirib chiqarishi mavjudki, uning oxirida  $C \rightarrow A$  formula turadi:

$$B_1, B_2, \dots, B_{k-1}, C \rightarrow A. \quad (3)$$

Endi  $H$  formulalar majmuasiga  $C$  formulani qo'shib,  $H, C$  formulalar majmuasini hosil qilamiz. (3) keltirib chiqarishga  $C$  formulani qo'shib, ushbu keltirib chiqarishga ega bo'lamiz:

$$B_1, B_2, \dots, B_{k-1}, C \rightarrow A, C. \quad (4)$$

O'z navbatida bu  $H, C$  formulalar majmuasining keltirib chiqarishi bo'ladi. (4)ning oxiriga  $A$  formulani yozish mumkin, chunki u xulosa qoidasiga asosan  $C \rightarrow A$  va  $C$  formulalardan hosil qilinadi.

Demak, oxirgi formulasi  $A$  bo'lgan  $H, C$  formulalar majmuasining  $B_1, B_2, \dots, B_{k-1}, C \rightarrow A, C, A$  keltirib chiqarishiga ega bo'lamiz. Bu yerdan  $H, C \vdash A$  ekanligi kelib chiqadi. ■

$$\text{4.5.5. V qoida (deduksiya teoremasi). } \frac{H, C \vdash A}{H \vdash C \rightarrow A}.$$

**Isboti.** Avval  $H, C$  formulalar majmuasining har qanday  $B_1, B_2, \dots, B_k$  keltirib chiqarishi uchun  $H \vdash C \rightarrow B_k$  ning to'g'rilingini matematik induksiya metodidan foydalanib isbot qilamiz.

Baza.  $k = 1$  hol uchun tasdiq to'g'ri. Haqiqatan ham, agar  $B_1$  formula  $H, C$  ning keltirib chiqarishi bo'lsa, u vaqtida quyidagi uch hol bo'lishi mumkin:

a)  $B_1 \in H$ , b)  $B_1$  isbotlanuvchi formuladir, d)  $B_1$  formula  $C$  ning o'zidir.

a) va b) hollar uchun  $H$  dan quyidagi keltirib chiqarishni yozish mumkin:  $B_1, B_1 \rightarrow (C \rightarrow B_1), C \rightarrow B_1$ . Demak,  $H \vdash C \rightarrow B_1$ .

d) hol uchun  $H \vdash C \rightarrow C$  bo'lishini isbotlash kerak.

Ravshanki,  $C \rightarrow C$  isbotlanuvchi formuladir. Shuning uchun uni har qanday majmuadan keltirib chiqarish mumkin.

Induksion o'tish. Endi istalgan  $i$  ( $i < k$ ) chuqurlikdagi har qanday keltirib chiqarish uchun tasdiq to'g'ri bo'lsin deb hisoblab, uning  $k$  chuqurlikdagi keltirib chiqarish uchun to'g'rilingini isbot qilamiz.

$B_1, B_2, \dots, B_k$  lar  $H, C$  majmuuning keltirib chiqarishi bo'lsin, bu yerda  $k > 1$ . U vaqtida  $B_k$  formulaga nisbatan quyidagi to'rt hol yuz berishi mumkin:

a)  $B_k \in H$ ,

b)  $B_k$  isbotlanuvchi formuladir,

d)  $B_k$  formula  $C$  ning o'zidir,

e)  $B_k$  formula xulosa qoidasiga asosan keltirib chiqarishdagi ikkita undan oldin ketma-ket keladigan formulalardan hosil qilinadi.

a), b), d) hollar uchun isbot to'liq ravishda  $k = 1$  holdagi isbotga mos keladi.

Shuning uchun e) holni ko'ramiz. Bu holda  $B_k$  formula  $B_i$  va  $B_j$  formulalardan hosil qilinib ( $i < k$ ,  $j > k$ ),  $B_i$  formula  $B_i \rightarrow B_k$  ko'rinishni oladi va quyidagi tasdiqlar o'rini bo'ladi:

$$H \vdash C \rightarrow B_i, \quad (5)$$

$$H \vdash C \rightarrow (B_i \rightarrow B_k). \quad (6)$$

$I_2$  aksiomada  $\int_{x,y,z}^{C,B_1,B_k} (I_2)$  o'miga qo'yishni bajarib, quyidagi isbot-

lanuvchi formulaga ega bo'lamiz:

$$\vdash (C \rightarrow (B_i \rightarrow B_k)) \rightarrow ((C \rightarrow B_i) \rightarrow (C \rightarrow B_k)) \quad (7)$$

(6), (5) va (7) ifodalar  $H$  dan keltirib chiqariladigan formulalardir. Ularga murakkab xulosa qoidasini qo'llab,  $H \vdash C \rightarrow B_k$  ni hosil qilamiz.

Endi umumiy, ya'ni  $H, C \vdash A$  bo'lgan holni ko'raylik. U holda  $H, C$  ning  $B_1, B_2, \dots, B_{k-1}$ ,  $A$  keltirib chiqarishi mavjud bo'ladi. Demak, yuqoridagi mulohazalarga asosan  $H \vdash C \rightarrow A$  tasdiq to'g'ridir. ■

Deduksiya teoremasidan quyidagi muhim ahamiyatga ega bo'lgan tasdiq kelib chiqadi.

**T e o r e m a (umumlashgan deduksiya teoremasi).**

$$\frac{\{C_1, C_2, \dots, C_k\} \vdash A}{\vdash C_1 \rightarrow (C_2 \rightarrow (C_3 \rightarrow \dots (C_k \rightarrow A) \dots)))}.$$

**Isboti.**  $H_k = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$  bo'lsin. Teorema shartiga asosan  $H_k \vdash A$  yoki  $H_{k-1}, C_k \vdash A$  ning to'g'riligi,  $H_{k-1} = H_{k-2}, C_{k-1}$  bo'lgani uchun esa  $H_{k-2}, C_{k-1} \vdash C_k \rightarrow A$  tasdiqning to'g'riligi kelib chiqadi. Bu ifodaga nisbatan yana deduksiya teoremasini qo'llab,  $H_{k-2} \vdash C_{k-1} \rightarrow (C_k \rightarrow A)$  ni hosil qilamiz. Bu jarayonni  $k$  marta takrorlab, ushbu tasdiqqa kelamiz:

$$H_0 = \emptyset \vdash C_1 \rightarrow (C_2 \rightarrow (C_3 \rightarrow \dots (C_k \rightarrow A) \dots))).$$

Tabiiyki, bo'sh to'plamdan faqatgina isbotlanuvchi formulalar keltirib chiqarish mumkin, ya'ni  $\vdash C_1 \rightarrow (C_2 \rightarrow (C_3 \rightarrow \dots (C_k \rightarrow A) \dots))).$  ■

$k = 1$  xususiy holda  $\frac{C \vdash A}{\vdash C \rightarrow A}$  ga ega bo'lamiz.

**4.5.6. VI qoida. (Kon'yunksiyani kiritish qoidasi).**  $\frac{H \vdash A, H \vdash B}{H \vdash A \wedge B}$ .

**Isboti.** Berilganiga ko'ra

$$H \vdash A, \quad (8)$$

$$H \vdash B. \quad (9)$$

$\{A, B\}$  formulalar majmuasidan  $A \wedge B$  formulani keltirib chiqarish mumkinligi, ya'ni  $\{A, B\} \vdash A \wedge B$  (10) ekanligini ko'rsatgan edik.

Keltirib chiqarishning I qoidasiga asosan

$$H, A, B \vdash A \wedge B, \quad (11)$$

$$H, A \vdash B. \quad (12)$$

Keltirib chiqarishning II qoidasidan foydalanib, (11) va (12) munosabatlardan

$$H, A \vdash A \wedge B \quad (13)$$

hamda (8) va (13) dan  $H \vdash A \wedge B$  larni hosil qilamiz. ■

**4.5.7. VII qoida (Diz'yunksiyani kiritish qoidasi).**

$$\frac{H, A \vdash C; H, B \vdash C}{H, A \vee B \vdash C}.$$

**Isboti.**  $H, A \vdash C; H, B \vdash C$  shartlardan deduksiya teoremasiga asosan

$$H \vdash A \rightarrow C, \quad (14)$$

$$H \vdash B \rightarrow C \quad (15)$$

formulalar kelib chiqadi.

III aksioma  $H$  formulalar majmuasidan isbotlanuvchi formula sifatida keltirib chiqariladi, ya'ni

$$H \vdash (A \rightarrow C) \rightarrow ((B \rightarrow C) \rightarrow (A \vee B \rightarrow C)). \quad (16)$$

(14), (15) va (16) formulalarga murakkab xulosa qoidasini qo'llab

$$H \vdash A \vee B \rightarrow C \quad (17)$$

formulani hosil qilamiz. Endi keltirib chiqarishning IV qoidasini qo'llab  $H, A \vee B \vdash C$  formulaga ega bo'lamiz. ■

#### 4.6. Ayrim mantiq qonunlarining isboti

*Mantiq qonunlari. Sharflarni o'r'in almashtirish qonuni. Sharflarni qo'shish qonuni. Sharflarni ajratish qonuni.*

Deduksiya teoremasi bir qator mantiq qonunlarini isbotlashga yordam beradi.

##### 4.6.1. Asoslarni (shartlarni) o'r'in almashtirish qonuni.

$$\vdash (x \rightarrow (y \rightarrow z)) \rightarrow (y \rightarrow (x \rightarrow z)). \quad (1)$$

**I s b o t i .**  $H = \{x \rightarrow (y \rightarrow z), y, x\}$  formulalar majmuasidan  $x \rightarrow (y \rightarrow z)$ ,  $y, x, y \rightarrow z, z$  keltirib chiqarish hosil bo'ladi. Demak,  $H$  dan  $z$  formula kelib chiqadi. U holda umumlashgan deduksiya teoremasiga asosan (1) formula isbotlanuvchi ekanligini hosil qilamiz.

Asoslarni o'r'in almashtirish qonunidan isbotlanuvchi formulalar uchun ushbu asoslarni o'r'in almashtirish qoidasi  $\frac{\vdash (x \rightarrow (y \rightarrow z))}{\vdash (y \rightarrow (x \rightarrow z))}$  kelib chiqadi.

$$\text{Haqiqatan ham, agar } \vdash \neg x \rightarrow (y \rightarrow z) \quad (2)$$

bo'lsa, u holda (1) va (2) formulalardan xulosa qoidasiga asosan  $\vdash \neg y \rightarrow (x \rightarrow z)$  formula hosil qilinadi. ■

##### 4.6.2. Asoslarni qo'shish qonuni.

$$\vdash (x \rightarrow (y \rightarrow z)) \rightarrow (x \wedge y \rightarrow z). \quad (3)$$

**I s b o t i .**  $H = \{x \rightarrow (y \rightarrow z), x \wedge y\}$  formulalar majmuasidan  $x \rightarrow (y \rightarrow z)$ ,  $x \wedge y$ ,  $x \wedge y \rightarrow x$ ,  $x \wedge y \rightarrow y$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $y \rightarrow z$ ,  $z$  keltirib chiqarish olinadi. Bu esa  $H$  dan  $z$  formula kelib chiqishini anglatadi. Bu o'z navbatida umumlashgan deduksiya teoremasiga asosan (3) formulaning isbotlanuvchi ekanligini ko'rsatadi.

Asoslarni qo'shish qonunidan isbotlanuvchi formulalar uchun ushbu asoslarni qo'shish qoidasi  $\frac{\vdash (x \rightarrow (y \rightarrow z))}{\vdash \neg x \wedge y \rightarrow z}$  kelib chiqadi. Haqiqatan

ham, agar

$$\vdash \neg x \rightarrow (y \rightarrow z) \quad (4)$$

bo'lsa, u holda (3) va (4) formulalardan xulosa qoidalariga asosan  $\vdash \neg x \wedge y \rightarrow z$  ekanligini hosil qilamiz. ■

#### 4.6.3. Asoslarni ajratish qonuni.

$$|\neg(x \wedge y \rightarrow z) \rightarrow (x \rightarrow (y \rightarrow z)). \quad (5)$$

**I s b o t i.**  $H = \{x, y, x \wedge y \rightarrow z\}$  formulalar majmuasidan kelib chiqadigan  $x, y, x \wedge y \rightarrow z, x \wedge y, z$  keltirib chiqarishni qaraymiz. Bunda  $H$  formulalar majmuasidan  $z$  formulaning kelib chiqishi ko'rinish turibdi. U holda umumlashgan deduksiya teoremasiga asosan (5) formula isbotlanuvchi ekanligiga ishonch hosil qilamiz.

Asoslarni ajratish qonunidan isbotlanuvchi formulalar uchun ushbu asoslarni ajratish qoidasi  $\frac{|\neg x \wedge y \rightarrow z}{|\neg x \rightarrow (y \rightarrow z)}$  hosil bo'ladi. Haqiqatan ham,

agar

$$|\neg x \wedge y \rightarrow z \quad (6)$$

bo'lsa, u holda (5) va (6) formulalardan xulosa qoidasiga asosan  $|\neg x \rightarrow (y \rightarrow z)$  ekanligi kelib chiqadi. ■

#### 4.6.4. $|\neg x \rightarrow (\bar{x} \rightarrow y)$ .

**I s b o t i.** I<sub>1</sub> va IV<sub>1</sub> aksiomalarda quyidagi  $\int_y^{\bar{y}} (I_1)$  va  $\int_{x,y}^{\bar{y},x} (IV_1)$ . o'mniga

qo'yishlarni bajarish natijasida ushbu

$$|\neg x \rightarrow (\bar{y} \rightarrow x), \quad (7)$$

$$|-(\bar{y} \rightarrow x) \rightarrow (\bar{x} \rightarrow \bar{y}) \quad (8)$$

isbotlanuvchi formulalarni hosil qilamiz.

(7) va (8) formulalardan sillogizm qoidasiga asosan  $|\neg x \rightarrow (\bar{x} \rightarrow \bar{y})$  formula kelib chiqadi. Asoslarni birlashtirish qonunidan foydalanib,  $|\neg x \wedge \bar{x} \rightarrow \bar{y}$  formulani hosil qilamiz. Ikki karralik inkorni tushirish qoidasidan foydalanib,  $|\neg x \wedge \bar{x} \rightarrow y$  formulaga ega bo'lamic. Bu yerdan asoslarni ajratish qonunini qo'llab, isbotlanishi kerak bo'lgan (5) formulani keltirib chiqaramiz. ■

#### 4.6.5. $|\bar{x} \wedge \bar{y} \rightarrow \overline{x \vee y}$ .

**I s b o t i.** III<sub>3</sub> aksiomada  $z$  ning o'mniga  $\overline{x \wedge y}$  ni qo'yamiz:

$$|(x \rightarrow \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}}) \rightarrow ((y \rightarrow \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}}) \rightarrow (x \vee y \rightarrow \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}})). \quad (9)$$

II<sub>1</sub> va II<sub>2</sub> aksiomalardan

$$|\neg \bar{x} \wedge \bar{y} \rightarrow \bar{x}, \quad (10)$$

$$|\neg \bar{x} \wedge \bar{y} \rightarrow \bar{y} \quad (11)$$

formulalar kelib chiqadi. (10) va (11) formulalarga kontrpozitsiya qoidasini qo'llab, ushbu formulalarni hosil qilamiz:

$$|\neg \bar{x} \rightarrow \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}}, \quad (12)$$

$$|\neg \bar{y} \rightarrow \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}}. \quad (13)$$

Bu formulalarga ikki karralik inkorni tushirish qoidasini qo'llab, quyidagi formulalarni keltirib chiqaramiz:

$$|\neg x \rightarrow \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}}, \quad (14)$$

$$|\neg y \rightarrow \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}}. \quad (15)$$

Endi (9), (14) va (15) formulalarga murakkab xulosa qoidasini qo'llab,

$$|\neg x \vee y \rightarrow \overline{\bar{x} \wedge \bar{y}} \quad (16)$$

formulaga ega bo'lamiz.

Nihoyat, (16) formulaga avval kontrpozitsiya qoidasini va so'ngra ikki karralik inkorni tushirish qoidasini qo'llab,  $|\neg \bar{x} \wedge \bar{y} \rightarrow \overline{x \vee y}$  isbotlanishi kerak bo'lgan formulani hosil qilamiz. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1. Quyida berilgan  $H$  formulalar majmuasidan  $|\neg$  belgidan so'ng ifodalangan formulalarni keltirib chiqarish mumkinligini ko'rsating:

- a)  $H = \{A\}|\neg B \rightarrow \underline{A};$    b)  $H = \{A \rightarrow B, B \rightarrow C\}|\neg A \rightarrow C;$
- d)  $H = \{A \Rightarrow C\}|\neg C \rightarrow A;$    e)  $H = \{A \rightarrow B, B\}|\neg A;$
- f)  $H = \{A, A \rightarrow B\}|\neg B;$    g)  $H = \{A \rightarrow B\}|\neg A \wedge C \rightarrow B \wedge C;$
- h)  $H = \{A \rightarrow B\}|\neg (C \rightarrow A) \rightarrow (C \rightarrow B);$
- i)  $H = \{A \rightarrow B\}|\neg (B \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow C);$
- j)  $H = \{A \rightarrow (B \rightarrow C)\}|\neg B \rightarrow (A \rightarrow C);$
- k)  $H = \{A \rightarrow B\}|\neg A \vee C \rightarrow B \vee C.$

2. Umumlashgan deduksiya teoremasidan foydalanib, quyidagi formulalarning isbotlanuvchi ekanligini isbotlang:

- a)  $(x \rightarrow y) \rightarrow ((y \rightarrow z) \rightarrow (x \rightarrow z));$
- b)  $(A \rightarrow B) \rightarrow (A \vee C \rightarrow B \vee C);$
- d)  $(A \rightarrow B) \rightarrow ((C \rightarrow A) \rightarrow (C \rightarrow B)).$

3. Mantiq qonunlarining to'g'rilingini ko'rsating:

$$a) x \rightarrow (\bar{x} \rightarrow y); \quad b) x \vee \bar{x}; \quad d) \bar{x} \wedge \bar{y} \rightarrow \overline{x \vee y}.$$

4. Shartlarni o'rın almashtirish, shartlarni qo'shish va shartlarni ajratish qoidalaridan foydalanib, quyidagilarning to'g'riligini isbotlang:

$$a) \neg x \rightarrow (y \rightarrow x \wedge y); \quad b) \neg(A \rightarrow B) \wedge \bar{B} \rightarrow \bar{A};$$

$$d) \neg \bar{A} \rightarrow (A \rightarrow B).$$

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Keltirib chiqariladigan va isbotlanuvchi formulalar sinfi deganda nimani tushunasiz?

2. Formulalar majmuasidan formulani keltirib chiqarish qoidasini bilasizmi?

3. Keltirib chiqarish (isbotlash) tushunchasiga berilgan ta'rifda nechta shart ifodalangan?

4. Keltirib chiqarishning qanday xossalari va asosiy qoidalarini bilasiz?

5. Deduksiya teoremasi bilan umumlashgan deduksiya teoremasi orasida qanday farq bor?

6. Kon'yunksiyani kiritish va diz'yunksiyani kiritish qoidalarini ifodalay olasizmi?

7. Asoslarni (shartlarni) o'rın almashtirish qonunini qanday ifodalananadi?

8. Asoslarni qo'shish qonuni bilasizmi?

9. Asoslarni ajratish qonuni asoslarni qo'shish qonunidan nimasi bilan farq qiladi?

10. Yuqorida ifodalangan barcha mantiq qonunlarini ifodalay olasizmi?

### **4.7. Mulohazalar algebrasi va mulohazalar hisobi orasidagi munosabatlar**

*Mulohazalar hisobi formulasining qiymati. Mulohazalar hisobi formulalar bilan mulohazalar algebrasi formulalari orasidagi munosabatlar. Umumqiyatlî formula. Aynan chin formula. Keltirib chiqarish haqidagi teorema.*

**4.7.1. Mulohazalar hisobi formulasining qiymati tushunchasi.**  
Mulohazalar hisobi formulalarini xuddi mulohazalar algebrasi formulalari sifatida qarash mumkin. Buning uchun mulohazalar hisobi o'z-

garuvchilariga mulohazalar algebrasi o'zgaruvchilari singari qaraymiz, ya'ni o'zgaruvchilar chin yoki yolg'on (1 yoki 0) qiymat qabul qiladi deb hisoblaymiz.

$\wedge, \vee, \rightarrow$  va  $\neg$  amallarini mulohazalar algebrasidagidek aniqlaymiz.

Mulohazalar hisobining har bir formulasi, o'zgaruvchilar uning ifodasiga qanday kirishidan qat'i nazar, 1 yoki 0 qiymat qabul qiladi. Uning qiymati mulohazalar algebrasidagi qoidalar bo'yicha hisoblanadi.

Mulohazalar hisobi formulasining qiymati tushunchasini aniqlaylik.

$A$  – mulohazalar hisobi formulasi,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  lar esa  $A$  formula ifodasiga kiruvechi o'zgaruvchilar ( $x_i \neq x_j$ ) bo'lsin.  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  lar orqali mos ravishda  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilarning qiymatlarini belgilaymiz,  $\alpha_i \in E_2 = \{0, 1\}$ .  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  vektor  $2^n$  ta qiymatlar satriga ega.

O'zgaruvchilarning bitta qiymatlar satri uchun  $A$  formulaning qiymati  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A)$  ni quyidagicha aniqlaymiz:

1.  $A$  formulaning eng katta uzunlikdagi qismiy formulasi  $x_i$  bo'lganda,  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(x_i) = \alpha_i$  bo'ladi.

2. Agar  $k+1$  uzunlikdagi hamma qismiy formulalar aniqlangan bo'lsa, u holda  $A_i \wedge A_j$ ,  $A_i \vee A_j$ ,  $A_i \rightarrow A_j$ ,  $A_i$  amallarning bajarilishi natijasida olingan  $k$  uzunlikdagi qismiy formulalar quyidagi qiymatlarga ega bo'ladi:

$$R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_i \wedge A_j) = R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_i) \wedge R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_j),$$

$$R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_i \vee A_j) = R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_i) \vee R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_j),$$

$$R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_i \rightarrow A_j) = R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_i) \rightarrow R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_j),$$

$$R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(\overline{A_i}) = \overline{R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_i)}.$$

Masalan,  $x_1 \vee \bar{x}_4 \rightarrow \overline{x_2 \wedge \bar{x}_3}$  formula  $x_1, x_2, x_3, x_4$  o'zgaruvchilarning (0, 1, 1, 0) qiymatlar satrida  $R_{0110}(x_1 \vee \bar{x}_4 \rightarrow \overline{x_2 \wedge \bar{x}_3}) = 1$  qiymatga ega. Haqiqatan ham, bu formula quyidagi qismiy formulalarga ega:

$x_1 \vee \bar{x}_4$ ,  $x_2 \wedge \bar{x}_3$  – birinchi uzunlikdagi qismiy formulalar,

$x_1 \vee \bar{x}_4$ ,  $x_2 \wedge \bar{x}_3$  – ikkinchi uzunlikdagi qismiy formulalar,

$x_4$ ,  $x_2$ ,  $\bar{x}_3$  – uchinchi uzunlikdagi qismiy formulalar,

$x_3$  – to'rtinchi uzunlikdagi qismiy formula.

$$\begin{aligned}
 & \text{Bu yerdan } R_{0110}(x_3) = 1, R_{0110}(\bar{x}_3) = \overline{R_{0110}(x_3)} = 0, R_{0110}(x_2) = 1, \\
 & R_{0110}(x_4) = 0, R_{0110}(x_2 \wedge \bar{x}_3) = R_{0110}(x_2) \wedge R_{0110}(\bar{x}_3) = 0, \\
 & R_{0110}(\bar{x}_4) = \overline{R_{0110}(x_4)} = 1, R_{0110}(x_1) = 0, \\
 & R_{0110}(x_1 \vee \bar{x}_4) = R_{0110}(x_1) \vee R_{0110}(\bar{x}_4) = 1, \\
 & R_{0110}(\overline{x_2 \wedge \bar{x}_3}) = \overline{R_{0110}(x_2 \wedge \bar{x}_3)} = 1, \\
 & R_{0110}(x_1 \vee \bar{x}_4 \rightarrow \overline{x_2 \wedge \bar{x}_3}) = R_{0110}(x_1 \vee \bar{x}_4) \rightarrow R_{0110}(\overline{x_2 \wedge \bar{x}_3}) = 1
 \end{aligned}$$

ekanligini topamiz.

**4.7.2. Mulohazalar hisobi bilan mulohazalar algebrasi orasidagi munosabatlarni aniqlovchi tasdiqlar.** Endi mulohazalar hisobi bilan mulohazalar algebrasi orasidagi munosabatlarni aniqlovchi teoremlalarga va lemmalarga to'xtalib o'tamiz.

**1 - teorema.** *Mulohazalar hisobidagi har bir isbotlanuvchi formula mulohazalar algebrasida aynan chin (tavtalogiya, umumqiyatli) formula bo'ladi.*

**I s b o t i.** Teoremani isbot qilish uchun quyidagi uchta holni ko'rib chiqishga to'g'ri keladi:

1) mulohazalar hisobidagi har bir aksioma mulohazalar algebrasidagi aynan chin formuladir;

2) aynan chin formulalarga o'rniqa qo'yish qoidasini qo'llash natijasida hosil qilingan formulalar ham aynan chin formulalar bo'ladi;

3) aynan chin formulalarga xulosa qoidasini qo'llash natijasida hosil qilingan formulalar ham aynan chin formulalar bo'ladi.

**1) h o l n i g i s b o t i.** Mulohazalar hisobi aksiomalarining aynan chinligini isbotlash uchun chinlik jadvalidan foydalanamiz:

- a) ifodasida bitta o'zgaruvchisi bor aksiomalar –
- b) ifodasida ikkita o'zgaruvchisi bor aksiomalar –

$x$	$IV_2$	$IV_3$
1	1	1
0	1	1

$x$	$y$	$I_1$	$II_1$	$II_2$	$III_1$	$III_2$	$IV_1$
1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1

d) ifodasida uchta o'zgaruvchisi bor aksiomalar –

$x$	$y$	$z$	$I_2$	$II_3$	$III_3$
1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1
1	0	1	1	1	1
1	0	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	1
0	0	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1

1) hol isbot bo'ldi.

2) **holning isboti.** Avval quyidagi lemmalarni isbot qilamiz.

**1- lemma.**  $A$  va  $B$  formulalarning ifodasiga kiruvchi hamma o'zgaruvchilar  $x_1, x_2, \dots, x_n, x$  va bu o'zgaruvchilarning ixtiyoriy qiyamatlar satri  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \alpha$  bo'lsin. Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha}(B) = \beta$  bo'lsa, u holda  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha} \left( \int_x^B(A) \right) = R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} \beta(A)$  bo'ladidi.

1- lemmaning **isbotini**, formula tuzilishini hisobga olgan holda, induksiya metodi bilan amalga oshiramiz.

a)  $A$  formula  $x$  dan farq qiluvchi  $x_i$  o'zgaruvchi bo'lsin. U holda

$$R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha}(x_i) \alpha_i, \quad \int_x^B(x_i) = x_i, \quad R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha} \left( \int_x^B(A) \right) = \alpha_i, \quad R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} \beta(A) = \alpha_i, \text{ ya'ni}$$

lemmanning tasdig'i to'g'ridir.

b)  $A$  formula,  $x$  esa o'zgaruvchi bo'lsin. U holda  $\int_x^B(A)$  o'rniga

$$\text{qo'yish } B \text{ ni beradi va } R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha} \left( \int_x^B(A) \right) = \alpha_i, \quad R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha}(B) = \beta$$

munosabatlarni olamiz, ya'ni lemmanning tasdig'i bu holda ham to'g'ridir.

d)  $A = A_1 * A_2$  hamda  $A_1$  va  $A_2$  formulalar uchun lemmanning shartlari bajarilsin. U holda  $A$  formula uchun lemma tasdig'ining to'g'riligi quyidagi tengliklardan kelib chiqadi:

$$\begin{aligned}
R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha} \left( \int_x^B (A) \right) &= R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha} \left( \int_x^B (A_1 * A_2) \right) = \\
&= R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha} \left( \int_x^B (A_1) * \int_x^B (A_2) \right) = R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha} \left( \int_x^B (A_1) \right) * R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n \alpha} \left( \int_x^B (A_2) \right) = \\
&= R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} \beta(A_1) * R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} \beta(A_2) = R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} \beta(A_1 * A_2) = R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} \beta(A).
\end{aligned}$$

$A = \overline{A}_1$  bo‘lgan hol uchun ham 1- lemmanning tasdig‘i yuqoridaqidek isbotlanadi. 1- lemma isbotlandi.

1- teorema tasdig‘ining 2) hol uchun isboti quyidagi lemmaga tayanadi.

**2- lemma.**  $A$  – berilgan formula,  $x$  – o‘zgaruvchi,  $B$  – mulohazalar hisobining istalgan formulasi bo‘lsin. Agar  $A$  aynan chin formula bo‘lsa, u holda  $\int_x^B (A)$  formula ham aynan chin formula bo‘ladi.

2- lemmanning isboti.  $x_1, x_2, \dots, x_n, x$  lar  $A$  va  $B$  formulalar ifodasida ishtirok etuvchi o‘zgaruvchilar bo‘lsin. O‘zgaruvchilarning hamma  $2^{n+1}$  ta  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \alpha)$  qiymatlar satrida  $\int_x^B (A)$  formula chin qiymat

qabul qilishini ko‘rsatish lozim.  $\int_x^B (A)$  formula aynan chin formula emas deb faraz qilamiz. U holda shunday  $(\alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_n^0, \alpha^0)$  qiymatlar satrida topilib,  $R_{\alpha_1^0 \alpha_2^0 \dots \alpha_n^0 \alpha^0} \left( \int_x^B (A) \right) = 0$  bo‘ladi. Bundan o‘z navbatida lemma shartiga asosan  $R_{\alpha_1^0 \alpha_2^0 \dots \alpha_n^0 \alpha^0} \beta(A) = 0$  ekanligini topamiz. Ammo bu  $A$  ning aynan chin formula ekanligiga ziddir. Demak, hamma qiymatlar satrida  $\int_x^B (A)$

formula chin qiymat qabul qiladi va u aynan chindir. 2-lemma isbot bo‘ldi.  
1- teoremaning tasdig‘i 2) hol uchun isbot bo‘ldi.

1- teorema tasdig'ining 3) hol uchun isboti quyidagi lemmaga tayananadi.

**3- lemma.** Agar  $C$  va  $C \rightarrow A$  formulalar aynan chin bo'lsa, u holda  $A$  ham aynan chin formula bo'ladi.

3- lemmaning isboti.  $x_1, x_2, \dots, x_n$  lar  $C$  va  $A$  formulalar ifodasiga kiruvchi o'zgaruvchilar bo'lsin.  $A$  – aynan chin formula emas deb faraz qilamiz. U holda o'zgaruvchilarning shunday  $(\alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_n^0)$  qiymatlar satri mavjud bo'ladiki,  $R_{\alpha_1^0 \alpha_2^0 \dots \alpha_n^0}(A) = 0$  bo'ladi. Bu yerdan

$$R_{\alpha_1^0 \alpha_2^0 \dots \alpha_n^0}(C \rightarrow A) = R_{\alpha_1^0 \alpha_2^0 \dots \alpha_n^0}(C) \rightarrow R_{\alpha_1^0 \alpha_2^0 \dots \alpha_n^0}(A) = 1 \rightarrow 0 = 0$$

ekanligi kelib chiqadi. Bu natija  $C \rightarrow A$  formulaning aynan chin ekanligiga ziddir. Bu qarama-qarshilik,  $A$  aynan chin formula ekanligini isbotlaydi. 3- lemma isbot bo'ldi. ■

**2- teorema** (*keltirib chiqarish haqida*).  $A$ -mulohazalar hisobining biror formulasi;  $x_1, x_2, \dots, x_n$  –  $A$  formula ifodasiga kiruvchi o'zgaruvchilar va  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  o'zgaruvchilarning ixtiyoriy qiymatlar satri bo'lsin.  $H$  orqali chekli formulalar majmuasini belgilaymiz. Agar

$$x_i^{\alpha_i} = \begin{cases} x_i, & \alpha_i = 1 \text{ bo'lganda;} \\ \bar{x}_i, & \alpha_i = 0 \text{ bo'lganda,} \end{cases}$$

bo'lsa, u holda  $H = \{x_1^{\alpha_1}, x_2^{\alpha_2}, \dots, x_n^{\alpha_n}\}$  formulalar majmuasi uchun:

$$1) R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A) = 1 \text{ bo'lgan holda } H \vdash A;$$

$$2) R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A) = 0 \text{ bo'lgan holda } H \vdash \overline{A} \text{ bo'ladi.}$$

2- teoremaning isbotini formula tuzilishiga qarab induksiya metodi bilan bajaramiz.

Baza.  $A$  formula faqat  $x_i$  o'zgaruvchidan tashkil topgan bo'lsin.

a) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(x_i) = \alpha_i = 1$  bo'lsa, u holda  $x_i \mid -x_i$  yoki  $x_i^{\alpha_i} \mid -x_i$ , ya'ni  $x_i^{\alpha_i} \mid -A$ . Demak,  $H \vdash A$ .

b) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(x_i) = \alpha_i = 0$  bo'lsa, u holda  $\bar{x}_i \mid -\bar{x}_i$  yoki  $x_i^{\alpha_i} \mid -\bar{x}_i$ , ya'ni  $x_i^{\alpha_i} \mid -\overline{A}$ . Demak,  $H \vdash \overline{A}$ .

Induksion o'tish. Faraz qilaylik,  $B_1$  va  $B_2$  formulalar uchun teorema tasdig'i to'g'ri deb qaralgan holda,  $A$  formula quyidagi to'rt ko'rinishning biri bo'lsin: I.  $B_1 \wedge B_2$ , II.  $B_1 \vee B_2$ , III.  $B_1 \rightarrow B_2$ , IV.  $\overline{B}_1$ .

Har bir holni alohida ko'rib o'tamiz.

I.  $A$  formula  $B_1 \wedge B_2$  ko'rinishga ega bo'lsin.

a) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1 \wedge B_2) = 1$  bo'lsa, u holda  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1) = 1$  va  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_2) = 1$  kelib chiqadi. Bundan, qilingan farazimizga ko'ra,  $H \vdash B_1$  va  $H \vdash B_2$ . Bu yerdan o'z navbatida kon'yunksiyani kiritish qoidasiga asosan  $H \vdash B_1 \wedge B_2$ , ya'ni  $H \vdash A$  hosil bo'ladi.

b) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1 \wedge B_2) = 0$  bo'lsa, u vaqtida  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1) = 0$  yoki  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_2) = 0$  bo'ladi. Masalan,  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1) = 0$  bo'lsin deylik, u holda farazimizga ko'ra

$$H \vdash \overline{B}_1. \quad (1)$$

II<sub>1</sub> aksiomaga ko'ra  $\vdash B_1 \wedge B_2 \rightarrow B_1$ . Bu yerdan kontrpozitsiya qoidasiga asosan

$$\vdash \overline{B}_1 \rightarrow \overline{B_1 \wedge B_2} \quad (2)$$

kelib chiqadi. (1) va (2) formulalardan xulosa qoidasiga asosan  $H \vdash \overline{B_1 \wedge B_2}$  ni hosil qilamiz, ya'ni  $H \vdash \overline{A}$ .

II.  $A$  formula  $B_1 \vee B_2$  ko'rinishga ega bo'lsin.

a) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1 \vee B_2) = 1$  bo'lsa, u holda hech bo'lmaganda  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1) = 1$  yoki  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_2) = 1$  bo'ladi.  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1) = 1$  bo'lsin, u holda farazimizga ko'ra

$$H \vdash \overline{B}_1. \quad (3)$$

III<sub>3</sub> aksiomaga asosan esa

$$\vdash \overline{B}_1 \rightarrow B_1 \vee B_2 \quad (4)$$

kelib chiqadi. (3) va (4) formulalardan xulosa qoidasiga asosan  $H \vdash \overline{B}_1 \vee B_2$  ni hosil qilamiz, ya'ni  $H \vdash \overline{A}$ .

b) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1 \vee B_2) = 0$  bo'lsa, u holda  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1) = 0$  va  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_2) = 0$  bo'ladi. Bu yerdan  $H \vdash \overline{B}_1$  va  $H \vdash \overline{B}_2$  kelib chiqadi. O'z navbatida kon'yunksiyani kiritish qoidasiga asosan

$$H \vdash \overline{B}_1 \wedge \overline{B}_2 \quad (5)$$

ga kelinadi. Isbotlanuvchi formuladan foydalaniib,

$$\vdash \overline{B}_1 \wedge \overline{B}_2 \rightarrow \overline{B}_1 \vee \overline{B}_2 \quad (6)$$

ni olamiz. (5) va (6) formulalardan xulosa qoidasiga asosan  $H \vdash \overline{B}_1 \vee \overline{B}_2$  ni hosil qilamiz, ya'ni  $H \vdash \overline{A}$ .

III. A formula  $B_1 \rightarrow B_2$  ko'rinishda bo'lsin.

a) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1 \rightarrow B_2) = 1$  bo'lsa, yo' R <sub>$\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n$</sub> (B<sub>1</sub>) = 0, yoki R <sub>$\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n$</sub> (B<sub>2</sub>) = 1 bo'ladi. Masalan, R <sub>$\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n$</sub> (B<sub>1</sub>) = 0 bo'lsa, u holda

$$H \vdash \overline{B}_1 \quad (7)$$

ni hosil qilamiz.

Isbotlanuvchi formuladan foydalaniib  $\vdash \overline{B}_1 \rightarrow (\overline{B}_1 \rightarrow B_2)$  formulani topamiz. Bu formuladan asoslarning o'rin almashtirish qoidasiga asosan

$$\vdash \overline{B}_1 \rightarrow (B_1 \rightarrow B_2) \quad (8)$$

formulani hosil qilamiz. (7) va (8) formulalardan xulosa qoidasiga binoan  $H \vdash \overline{B}_1 \rightarrow B_2$  formulani yozamiz, ya'ni  $H \vdash A$ .

Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_2) = 1$  bo'lsa, u holda

$$H \vdash \overline{B}_2. \quad (9)$$

I<sub>1</sub> aksiomadan foydalaniib,

$$\vdash \overline{B}_2 \rightarrow (B_1 \rightarrow B_2) \quad (10)$$

formulani keltirib chiqaramiz. (9) va (10) formulalardan xulosa qoidasiga ko'ra  $H \vdash \overline{B}_1 \rightarrow B_2$  kelib chiqadi, ya'ni  $H \vdash A$ .

b) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1 \rightarrow B_2) = 0$  bo'lsa, u holda  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1) = 1$  va  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_2) = 0$  bo'ladi. Bu yerdan  $H \vdash \overline{B}_1$ ,

$$H \vdash \overline{B}_2 \quad (12)$$

ekanligi kelib chiqadi. Isbotlanuvchi formula ta'rifiga asosan

$$\neg(B_1 \rightarrow B_2) \rightarrow (B_1 \rightarrow B_2).$$

Bu formuladan asoslarning o'rin almashtirish qoidasiga ko'ra

$$\neg B_1 \rightarrow ((B_1 \rightarrow B_2) \rightarrow B_2) \quad (13)$$

formulani keltirib chiqaramiz. (11) va (13) formulalardan xulosa qoidasiga binoan

$$H \neg ((B_1 \rightarrow B_2) \rightarrow B_2) \quad (14)$$

ni hosil qilamiz, o'z navbatida undan kontrpozitsiya qoidasini qo'llab

$$H \neg \overline{B}_2 \rightarrow (\overline{B_1 \rightarrow B_2}) \quad (15)$$

formulani keltirib chiqaramiz. (12) va (15) formulalardan xulosa qoidasiga asosan  $H \neg (\overline{B_1 \rightarrow B_2})$  formulaga ega bo'lamiz, ya'ni  $H \neg \overline{A}$ .

IV.  $A$  formula  $\overline{B}_1$  ko'rinishga ega bo'lsin.

a) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(\overline{B}_1) = 1$  bo'lsa, u holda  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1) = 0$  bo'ladi.

Demak,  $H \neg \overline{B}_1$ , ya'ni  $H \neg A$ .

b) Agar  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(\overline{B}_1) = 0$  bo'lsa, u holda  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(B_1) = 1$  bo'ladi va bundan

$$H \neg B_1 \quad (16)$$

kelib chiqadi. IV<sub>2</sub> aksiomadan foydalanimiz

$$H \neg B_1 \rightarrow \overline{\overline{B}}_1 \quad (17)$$

formulani yozamiz. (16) va (17) formulalardan xulosa qoidasiga asosan  $H \neg \overline{\overline{B}}_1$  ni, ya'ni  $H \neg \overline{A}$  ni hosil qilamiz. ■

**3-teorema.** *Mulohazalar algebrasining har bir aynan chin formulasi mulohazalar hisobida isbotlanuvchi formula bo'ladi.*

**Isboti.**  $A$  formula teorema shartiga asosan aynan chin formula bo'lganligi uchun  $R_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}(A_1) = 1$ . Bundan 2-teoremaga asosan

$$H_n \neg A \quad (18)$$

kelib chiqadi, bu yerda  $H_n = \{x_1^{\alpha_1}, \dots, x_n^{\alpha_n}\}$ .

$(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  qiymatlar satrlarining soni  $2^n$  ga teng bo'lgani uchun (18) formula hamma  $2^n$  ta qiymatlar satrida bajariladi.

Agar  $H_{n-1} = \{x_1^{\alpha_1}, x_2^{\alpha_2}, \dots, x_{n-1}^{\alpha_{n-1}}\}$  bo'lsa, u holda, ravshanki,  $H_{n-1}$ ,  $x_n \vdash A$  va  $H_{n-1}$ ,  $\bar{x}_n \vdash A$  bo'ladi. Diz'yunksiyani kiritish qoidasiga asosan bu holda  $H_{n-1}$ ,  $x_n \vee \bar{x}_n \vdash A$  bo'ladi. Ammo  $x_n \vee \bar{x}_n$  isbotlanuvchi formula bo'lganligi uchun uni  $H_{n-1}$ ,  $x_n \vee \bar{x}_n$  formulalar majmuasidan olib tashlash mumkin. Demak,  $H_{n-1} \vdash A$ .

Xuddi shu kabi  $H_{n-2} = \{x_1^{\alpha_1}, x_2^{\alpha_2}, \dots, x_{n-2}^{\alpha_{n-2}}\}, \dots, H_2 = \{x_1^{\alpha_1}, x_2^{\alpha_2}\}$ ,  $H_1 = \{x_1^{\alpha_1}\}$  formulalar majmualari uchun ketma-ket  $H_{n-2} \vdash A$ ,  $H_{n-3} \vdash A, \dots, H_2 \vdash A$ ,  $H_1 \vdash A$  ekanligini isbotlash mumkin. Ma'lumki,  $H_1 = \{x_1^{\alpha_1}\} \vdash A$  munosabat  $\alpha_1 = 1$  va  $\alpha_1 = 0$  hollar uchun to'g'ridir, ya'ni  $x_1 \vdash A$  va  $\bar{x}_1 \vdash A$ . Bu yerdan diz'yunksiyani kiritish qoidasiga asosan  $x_1 \vee \bar{x}_1 \vdash A$  ga ega bo'lamiz. Ammo  $x_1 \vee \bar{x}_1$  isbotlanuvchi formula bo'lgani uchun uni tashlab yuborish mumkin. Shunday qilib,  $\emptyset \vdash A$ . Demak,  $A$  isbotlanuvchi formuladir. ■

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1.  $A = x_1 \vee x_2 \rightarrow x_3$  formula hamda o'zgaruvchilarning  $(0, 0, 1)$  va  $(1, 0, 0)$  qiymatlar satrlari berilgan.  $A$  va  $\bar{A}$  formulalarni mos formulalar majmuasidan keltirib chiqaring.

2.  $A = x_1 \vee x_2 \rightarrow x_3$  formula hamda o'zgaruvchilarning  $(1, 1, 1)$ ,  $(1, 0, 1)$  va  $(0, 1, 0)$  qiymatlar satrlari berilgan bo'lsa,  $A$  va  $\bar{A}$  formulalarni mos formulalar majmuasidan keltirib chiqaring.

3.  $A = (x \vee y) \rightarrow x \wedge z$  formula hamda o'zgaruvchilarning  $(1, 0, 0)$ ,  $(0, 1, 1)$  va  $(0, 1, 0)$  qiymatlar satrlari berilgan bo'lsa,  $A$  va  $\bar{A}$  formulalarni mos formulalar majmuasidan keltirib chiqaring.

4. Umumlashgan deduksiya teoremasidan foydalaniib, quyidagi formulalarning isbotlanuvchi va ular mulohazalar algebrasida aynan chin (tavtagoliya) formulalar ekanligini isbotlang:

- $(x \rightarrow y) \rightarrow ((y \rightarrow z) \rightarrow (x \rightarrow z))$ ;
- $(x \rightarrow y) \rightarrow (x \vee z \rightarrow y \vee z)$ ;
- $(x \rightarrow y) \rightarrow ((z \rightarrow x) \rightarrow (z \rightarrow y))$ .

5.  $x_1 \vee \bar{x}_4 \rightarrow \overline{x_2 \wedge \bar{x}_3}$  formula  $x_1, x_2, x_3, x_4$  o'zgaruvchilarning  $(0, 1, 1, 0)$  qiymatlar satrida  $R_{0110}(x_1 \vee \bar{x}_4 \rightarrow \overline{x_2 \wedge \bar{x}_3}) = 1$  qiymatga ega ekanligini isbotlang.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Mulohazalar hisobi formulasining qiymati deganda nimani tushunasiz?
2. Mulohazalar algebrasi va mulohazalar hisobi orasidagi munosabatlarni bilasizmi?
3. Umumqiymatli va aynan chin formulalarga bog'liq qanday tasdiqlarni bilasiz?
4. Keltirib chiqarish haqidagi teorema qanday isbotlanadi?
5. Mulohazalar hisobidagi formulalar bilan mulohazalar algebraidagi formulalar orasida qanday munosabatlар bor?

### **4.8. Mulohazalar hisobida yechilish, zidsizlik, to'liqlilik va erkinlik muammolari**

*Yechilish, zidsizlik, to'liqlilik va erkinlik muammolari. Aksiomatik nazariya. Tor ma'noda, keng ma'noda to'liq aksiomatik nazariya. Erkin aksioma. Erkin aksiomalar sistemasi. Teng kuchli formulalar.*

Har qanday aksiomatik nazariyani asoslash uchun yechilish, zidsizlik, to'liqlilik, erkinlik muammolari deb ataluvchi to'rt muammoni hal qilishga to'g'ri keladi.

**4.8.1. Mulohazalar hisobining yechilish muammosi.** Mulohazalar hisobidagi berilgan ixtiyoriy formulaning isbotlanuvchi yoki isbotlanuvchi emasligini aniqlab beruvchi algoritmnинг mavjudligini isbotlash muammosi mulohazalar hisobining yechilish muammosi deb ataladi.

**1 - teorema.** *Mulohazalar hisobi uchun yechilish muammosi hal qilinuvchidir (yechiluvchidir).*

**I s b o t i .** Oldingi paragrafda ta'kidlanganidek, mulohazalar hisobining istalgan formulasiga mulohazalar algebrasining formulasi sifatida qarash mumkin. Demak, bu formulaning mantiqiy qiymatini o'zgaruvchilarning istalgan qiymatlar satrida aniqlash mumkin.

*A* – mulohazalar hisobining ixtiyoriy formulasi,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  esa *A* formulaning ifodasiga kiruvchi o'zgaruvchilar bo'lsin.

$R_{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n}(A)$  qiymatini hamma  $2^n$  ta  $(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$  qiymatlar satrida hisoblab chiqamiz. Agar hamma qiymatlar satrida  $R_{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n}(A) = 1$  bo'lsa,

u holda  $A$  formula aynan chin bo'ladi. Demak, ushbu bobning 8-paragrafidagi 3-teoremaga asosan  $A$  mulohazalar hisobining isbotlanuvchi formulasi bo'ladi. ■

Agar shunday  $(\alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_n^0)$  qiymatlar satri topilib,  $R_{\alpha_1^0, \alpha_2^0, \dots, \alpha_n^0}(A) = 0$  bo'lsa, u holda  $A$  aynan chin formula bo'lmaydi. Shuning uchun ushbu bobning 8-paragrafidagi 1-teoremaga asosan  $A$  isbotlanuvchi emas formuladir.

Shunday qilib, mulohazalar hisobining istalgan formulasini isbotlanuvchi yoki isbotlanuvchi emasligini ko'rsatuvchi yuqorida bayon etilgan algoritm mavjud ekan. Demak, mulohazalar hisobi algoritmk yechiluvchi nazariyadir.

#### 4.8.2. Mulohazalar hisobining zidsizlik muammosi.

**1-ta'rif.** Agar mulohazalar hisobining ixtiyoriy  $A$  va  $\bar{A}$  formulalari birgalikda isbotlanuvchi formulalar bo'lmasa, u holda bunday mulohazalar hisobi ziddiyatsiz aksiomatik nazariya, aks holda esa ziddiyatga ega bo'lgan aksiomatik nazariya deb ataladi.

Demak, ziddiyatsiz mulohazalar hisobida  $A$  va  $\bar{A}$  birgalikda isbotlanuvchi formulalar bo'la olmaydi.

Mulohazalar hisobida zidsizlik muammosi quyidagicha qo'yiladi: berilgan mulohazalar hisobi ziddiyatlimi yoki ziddiyatsizmi?

**2-teorema.** Agar mulohazalar hisobida isbotlanuvchi  $A$  va  $\bar{A}$  formulalar mavjudligi aniqlansa, u holda bu mulohazalar hisobida istalgan  $B$  formula ham isbotlanuvchi formula bo'ladi.

**Isboti.** Bundan keyin har qanday isbotlanuvchi formulani  $R$  va  $\bar{R} = F$  bilan belgilaymiz.

1. Avval har qanday  $B$  formula uchun  $| -B \rightarrow R |$  (1) formulaning isbotlanuvchi ekanligini ko'rsatamiz. Haqiqatan ham, I<sub>1</sub> aksiomadan o'rniga qo'yish natijasida

$$| -R \rightarrow (B \rightarrow R) \quad (2)$$

ni hosil qilamiz. Ammo shartga ko'ra  $R$  isbotlanuvchi formula, ya'ni

$$| -R. \quad (3)$$

U holda (2) va (3) formulalardan xulosa qoidasiga asosan (1) formulaning to'g'riliqi kelib chiqadi.

2. Endi har qanday  $B$  uchun

$$| -F \rightarrow B \quad (4)$$

formulaning isbotlanuvchi ekanligini ko'rsatamiz. Haqiqatan ham, IV<sub>1</sub> aksiomadan o'rniga qo'yish natijasida

$$|\neg(\overline{B} \rightarrow R) \rightarrow (\overline{R} \rightarrow \overline{\overline{B}}) \quad (5)$$

formula kelib chiqadi. Ammo isbotlaganimizga asosan

$$|\neg(\overline{B} \rightarrow R). \quad (6)$$

O‘z navbatida (6) va (5) dan xulosa qoidasiga binoan

$$|\neg(\overline{R} \rightarrow \overline{\overline{B}}) \quad (7)$$

formulani hosil qilamiz. Ikki karralik inkor amalini tushirish qoidasidan foydalanib va  $\overline{R}$  ni  $F$  bilan almashtirilsa,  $|\neg F \rightarrow B$  formulaga ega bo‘lamiz, ya’ni (4) isbotlanuvchi formuladir.

$$3. \text{ Har qanday } A \text{ uchun } |\neg A \wedge \overline{A} \rightarrow F \quad (8)$$

formula isbotlanuvchi ekanligini ko‘rsatamiz. Haqiqatan ham, I<sub>1</sub> va IV<sub>1</sub> aksiomalarga asosan quyidagilar isbotlanuvchi formulalar bo‘ladi:

$$|\neg A \rightarrow (R \rightarrow A), \quad (9)$$

$$|\neg(R \rightarrow A) \rightarrow (\overline{A} \rightarrow F). \quad (10)$$

(9) va (10) lardan sillogizm qoidasiga binoan  $|\neg A \rightarrow (\overline{A} \rightarrow F)$  formulani keltirib chiqaramiz. Bu formuladan asoslarni birlashtirish qoidasini qo‘llash natijasida  $|\neg A \rightarrow \overline{A} \rightarrow F$  formulaga kelamiz, ya’ni (8) ga ega bo‘lamiz. (4) va (8) dan sillogizm qoidasiga asosan

$$|\neg A \wedge \overline{A} \rightarrow B \quad (11)$$

formulani hosil qilamiz. Ammo teoremaning shartiga ko‘ra  $|\neg A$  va  $|\overline{A}$ , u holda  $|\neg A \wedge \overline{A}$ . Demak,  $B$  isbotlanuvchi formula bo‘ladi. ■

**3 - teorema.** *Mulohazalar hisobi ziddiyatsiz nazariyadir.*

**Isboti.** Mulohazalar hisobida  $A$  va  $\overline{A}$  birgalikda o‘zida isbotlanuvchi bo‘ladigan hech qanday  $A$  formula mavjud emasligini ko‘rsatamiz.

$A$  mulohazalar hisobining ixtiyoriy formulasi bo‘lsin. Agar  $A$  isbotlanuvchi formula bo‘lsa, u holda ushbu bobning 7- paragrafidagi 1-teoremaga asosan  $A$  aynan chin formuladir va, demak,  $\overline{A}$  aynan yolg‘on formula bo‘ladi. Shuning uchun ham  $\overline{A}$  isbotlanuvchi formula bo‘lmaydi.

Demak,  $A$  va  $\overline{A}$  bir vaqtida isbotlanuvchi formulalar bo‘la olmaydi. Shuning uchun ham mulohazalar hisobi ziddiyatga ega emas. ■

#### 4.8.3. Mulozazalar hisobining to'liqlilik muammosi.

2 - ta'rif. Mulozazalar hisobining aksiomalar sistemasiga shu hisobning biror ixtiyoriy isbotlanmaydigan formulasini yangi aksioma sifatida qo'shishdan hosil bo'ladigan aksiomalar sistemasi ziddiyatga ega bo'lgan mulozazalar hisobiga olib kelsa, bunday mulozazalar hisobiga tor ma'noda to'liq aksiomatik nazariya deb ataladi.

3 - ta'rif. Har qanday aynan chin formulasi isbotlanuvchi formula bo'ladigan mulozazalar hisobiga keng ma'noda to'liq aksiomatik nazariya deb ataladi.

Demak, mulozazalar hisobining to'liqlilik muammosi ikki savolga javob topishdan iborat:

1) yangi aksioma sifatida biror isbotlanmaydigan formulasini aksiomalar sistemasiga qo'shish natijasida mulozazalar hisobini kengaytirish mumkinmi yoki yo'qmi?

2) mulozazalar algebrasining har qanday aynan chin formulasi mulozazalar hisobida isbotlanuvchi bo'ladimi yoki yo'qmi?

Bu savollarga javobni quyidagi teoremlardan olish mumkin.

4 - teorema. *Mulozazalar hisobi tor ma'noda to'liqdir.*

**I s b o t i.** A mulozazalar hisobidagi ixtiyoriy isbotlanmaydigan formula,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  esa A formula tarkibiga kiruvchi o'zgaruvchilar bo'lsin.

A isbotlanmaydigan formula bo'lganligidan u aynan chin formula emas. Demak,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilarning shunday  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  qiymatlar satri mavjudki,

$$R_{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n}(A(x_1, x_2, \dots, x_n)) = 0 \quad (12)$$

bo'ladi.

$B_1, B_2, \dots, B_n$  lar  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilarga bog'liq ixtiyoriy aynan chin formulalar bo'lsin.  $B_1^{\alpha_1}, B_2^{\alpha_2}, \dots, B_n^{\alpha_n}$  majmuani qaraymiz, bu yerda

$$B_i^{\alpha_i} = \begin{cases} B_i, & \alpha_i = 1 \text{ bo'lganda,} \\ \overline{B}_i, & \alpha_i = 0 \text{ bo'lganda.} \end{cases}$$

A formulada  $\int_{x_1, x_2, \dots, x_n} (A) o'rniga qo'yishni bajarib,$

$$A(B_1^{\alpha_1}, B_2^{\alpha_2}, \dots, B_n^{\alpha_n}) \quad (13)$$

formulaga ega bo'lamiz.

(12) formulaning aynan yolg'on formula ekanligini ko'rsatamiz.  $x_1, x_2, \dots, x_n$  o'zgaruvchilarning ixtiyoriy  $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$  qiymatlar satrini olamiz.  $B_1, B_2, \dots, B_n$  formulalar aynan chin formulalar ekanligidan  $R_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n}(B_i) = 1$  bo'ladi. U holda  $R_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n}(B_i^{\alpha_i}) = \alpha_i$  o'rini. Demak,  $R_{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n} A(B_1^{\alpha_1}, B_2^{\alpha_2}, \dots, B_n^{\alpha_n}) = A(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = 0$ .

Bu yerdan  $A(B_1^{\alpha_1}, B_2^{\alpha_2}, \dots, B_n^{\alpha_n})$  ning aynan chin formula ekanligi kelib chiqadi va u ushbu bobning 7- paragrafidagi 3- teorema asosan isbotlanuvchi formula bo'ladi.

Ikkinci tomondan, agar mulohazalar hisobining aksiomalari qatoriga  $A(x_1, x_2, \dots, x_n)$  formulani yangi aksioma sifatida qo'shsak, u holda hosil bo'lgan yangi mulohazalar hisobida bu formula aksioma bo'lganligi uchun isbotlanuvchi formula bo'ladi. Shu vaqtning o'zida yangi mulohazalar hisobida  $A(B_1^{\alpha_1}, B_2^{\alpha_2}, \dots, B_n^{\alpha_n})$  formula ham isbotlanuvchi formula bo'ladi, chunki u isbotlanuvchi formuladan o'miga qo'yish qoidasi yordamida hosil qilingan.

Shunday qilib, yangi mulohazalar hisobida ikkita  $A(B_1^{\alpha_1}, B_2^{\alpha_2}, \dots, B_n^{\alpha_n})$  va  $A(B_1^{\alpha_1}, B_2^{\alpha_2}, \dots, B_n^{\alpha_n})$  isbotlanuvchi formulalarga ega bo'lamiz. Demak, yangi mulohazalar hisobi ziddiyatga ega bo'lgan aksiomatik nazariyadir. Bu yerdan uning tor ma'noda to'liqligi kelib chiqadi. ■

### 5 - teorema. Mulohazalar hisobi keng ma'noda to'liqdir.

**Isboti.** Ushbu bobning 7- paragrafida (3- teorema) mulohazalar algebrasining har bir aynan chin formulasi mulohazalar hisobida isbotlanuvchi formula ekanligi isbot qilingan edi. Demak, mulohazalar hisobi keng ma'noda to'liqdir. ■

**4.8.4. Mulohazalar hisobi aksiomalarining erkinlik muammosi.** Har qanday aksiomatik hisobda aksiomalarning erkinlik masalasi, ya'ni birorta aksiomani sistemaning qolgan aksiomalaridan keltirib chiqarish qoidasi orqali hosil etish mumkinmi yoki yo'qmi degan muammo mavjud bo'ladi. Agar biror aksioma uchun bu masala ijobjiy hal etilsa, u holda bu aksioma sistema aksiomalari ro'yxatidan chiqarib tashlanadi va mantiqiy hisob bu bilan o'zgarmaydi, ya'ni isbotlanuvchi formulalar sinfi o'z-garmasdan qoladi.

**4- ta'rif.** Agar biror aksiomani mulohazalar hisobining qolgan aksiomalaridan keltirib chiqarish mumkin bo'limasa, u holda bu aksioma shu mulohazalar hisobining boshqa aksiomalaridan erkin aksioma deb ataladi.

**5- ta'rif.** Agar mulohazalar hisobi aksiomalar sistemasining har bir aksiomasi erkin bo'lsa, u holda mulohazalar hisobining aksiomalar sistemasi erkin deb ataladi.

**6-teorema.** Mulohazalar hisobining aksiomalar sistemasi erkendir.

**I sboti.** A mulohazalar hisobining ixtiyoriy aksiomasi bo'lsin. Bu aksiomaning erkinligini isbotlash uchun mulohazalar hisobiga nisbatan quyidagi usulni qo'llaymiz: mulohazalar hisobi o'zgaruvchilarini  $\alpha$  yoki  $\beta$  qiymat qabul qiluvchi o'zgaruvchilar sifatida qaraymiz. Bu yerda  $\alpha$  chin,  $\beta$  esa yolg'on rolini o'ynaydi.

$\wedge, \vee, \rightarrow, \neg$  amallarni quyidagi uchta shart o'rinni bo'ladigan qilib aniqlaymiz:

1) A aksiomadan tashqari sistemaning hamma aksiomalari tarkibidagi o'zgaruvchilarning barcha qiymatlarida faqat  $\alpha$  qiymatni qabul qilsin;

2) A aksiomadan boshqa, aksiomalar majmuasidan keltirib chiqarilgan har qanday formula ham tarkibidagi o'zgaruvchilarning barcha qiymatlarida faqat  $\alpha$  qiymatni qabul qilsin;

3) A aksioma tarkibidagi o'zgaruvchilarning ayrim qiymatlarida  $\beta$  qiymatni qabul qilsin.

Agar A aksiomaga nisbatan yuqorida keltirilgan interpretatsiya (izohlash) o'rinni bo'lsa, u holda A aksioma boshqa aksiomalardan erkin ekanligi kelib chiqadi. Haqiqatdan ham, agar A aksiomani mulohazalar hisobining boshqa aksiomalaridan keltirib chiqarish mumkin bo'lganda edi, u shartlarning ikkinchisiga asosan tarkibidagi o'zgaruvchilarning barcha qiymatlarida faqat  $\alpha$  qiymatni qabul qilib, bu esa 3-shartga zid bo'lardi. Demak, A aksiomani mulohazalar hisobining boshqa aksiomalari dan keltirib chiqarish mumkin emas va u sistemadagi erkin aksiomadir. ■

O'zgaruvchilarining o'rniiga ularning ayrim qiymatlari qo'yilganda ham formulalar ma'noga ega deb kelishamiz. Masalan,  $\alpha \wedge \beta$ ,  $\alpha \rightarrow A$ ,  $\alpha \rightarrow (\beta \rightarrow \alpha)$  va boshqalar.

**6- ta'rif.** Tarkibidagi o'zgaruvchilarni  $\alpha$  va  $\beta$  bilan almash-tirganda bir xil qiymat qabul qiluvchi A va B formulalar teng kuchli formulalar deb ataladi hamda bu  $A = B$  ko'rinishda yoziladi.

Tenglik belgisi  $\wedge, \vee, \rightarrow$  mantiqiy bog'lovchilarga nisbatan sustroq bog'laydi deb hisoblaymiz.

Endi II<sub>1</sub> aksiomaning erkinligini isbotlaymiz. Buning uchun kon'yunksiyadan tashqari qolgan hamma mantiqiy amallarni xuddi mantiq algebrasidagidek va kon'yunksiya amalini  $x \wedge y = y$  tenglik orqali aniqlaymiz:

$x$	$\bar{x}$
$\alpha$	$\beta$
$\beta$	$\alpha$

$x$	$y$	$x \vee y$	$x \rightarrow y$	$x \wedge y$
$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	$\beta$
$\beta$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$	$\alpha$
$\beta$	$\beta$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$

Ushbu interpretatsiya uchun yuqorida keltirilgan uchta shartning bajarilishini ko'rsatamiz.

II<sub>1</sub> aksiomadan tashqari mulohazalar hisobining qolgan hamma aksiomalari o'zgaruvchilarning barcha qiymatlarida  $\alpha$  qiymat qabul qiladi (bu holni chinlik jadvali orqali ko'rsatish mumkin).

Haqiqatan ham I, III va IV guruh aksiomalarida kon'yunksiya amali qatnashmaydi. Qolgan mantiqiy amallar xuddi mulohazalar algebrasidagidek aniqlangan.

Mulohazalar algebrasida bu formulalar aynan chin formulalar bo'lganidan, ushbu interpretatsiyada o'zgaruvchilarning barcha qiymatlarida ular  $\alpha$  qiymat qabul qiladi.

II<sub>1</sub>, II<sub>2</sub> va II<sub>3</sub> aksiomalarni ko'raylik.

II<sub>2</sub> va II<sub>3</sub> aksiomalar qabul qilingan interpretatsiyada  $y \rightarrow y$  formulaga teng bo'ladi va  $x = \beta$ ,  $y = \alpha$  qiymatlarda  $\beta$  qiymat qabul qiladi, ya'ni hech qachon  $\alpha$  qiymat qabul qilmaydi.

Endi aynan  $\alpha$  ga teng formulalardan keltirib chiqarish qoidasiga asosan hosil qilingan formulalar ham  $\alpha$  ga tengligini ko'rsatish qoldi, ya'ni 2- shartning bajarilishini ko'rsatish kerak.

Oldingi paragraflarda aynan chin formulalarga o'rniqa qo'yish va xulosa qoidalarini qo'llash natijasida chiqarilgan formulalar aynan chin formulalar bo'lishi ko'rsatilgan edi. Demak, 2- shart ham bajariladi. Shunday qilib, mulohazalar hisobining II<sub>1</sub> aksiomasi erkin aksiomadir.

Xuddi shu sxemadan foydalanib, mulohazalar hisobining I, II, III va IV guruhlaridagi har bir aksiomaning erkinligini ko'rsatish mumkin. Demak, mulohazalar hisobining aksiomalar sisternasi erkindir.

### *Muammoli masala va topshiriqlar*

1.  $A(x)$  va  $B(x)$  ixtiyoriy formulalar bo'lsin. Quyidagi formulalarning qaysilari  $A(x) \rightarrow \overline{B(x)}$  formulaga teng kuchli formula bo'lishini aniqlang:

- a)  $A(x) \vee B(x)$ ;      b)  $\overline{A(x)} \vee \overline{B(x)}$ ;      d)  $\overline{\overline{A(x)} \rightarrow B(x)}$ ;  
e)  $\overline{B(x)} \rightarrow A(x)$ ;      f)  $\overline{\overline{A(x)}} \wedge B(x)$ ;      g)  $\overline{A(x) \wedge \overline{B(x)}}$ ;  
h)  $B(x) \rightarrow \overline{A(x)}$ .

2. Mulohazalar hisobining I, II, III va IV guruhalidagi har bir aksiomaning erkinligini ko'rsating.

### *Mustaqil ishlash uchun savollar*

1. Mulohazalar hisobining yechilish muammosi deganda nimani tushunasiz?
2. Nima uchun mulohazalar hisobi uchun yechilish muammosi hal qilinuvchidir?
3. Aksiomatik nazariya nima?
4. Ziddiyatsiz nazariyaga misol keltira olasizmi?
5. Mulohazalar hisobi ziddiyatsiz nazariya bo'la oladimi?
6. Mulohazalar hisobining to'liqlilik muammosini bilasizmi?
7. Nima uchun mulohazalar hisobi tor ma'noda ham, keng ma'noda ham to'liq?
8. Nima uchun mulohazalar hisobining aksiomalar sistemasi erkin?
9. Qanday formulalar teng kuchli formulalar deb ataladi?

## ADABIYOTLAR

1. Euler L. (Leonb Eulero) Solvtio problematis ad geometriam sitvs pertinentis. Comment Academiae Sci I. Petropolitanue, 8, 1736, p. 128-140.
2. Soleev A. Ordering in Complicated Problems. In 14-th British Combinatorial Conference. Keele, GB, July, 1993. Abstracts. p. 96-98.
3. To'rayev H.T., Azizov I., Otaqulov S. Kombinatorika va graflar nazariyasi: Uslubiy qo'llanma. – Samarqand: SamDU nashri. 2006. – 263 bet.
4. Алексеев В.Б., Кудрявцев В.Б., Сапоженко А.А., Яблонский С.В. и др. Методическая разработка по курсу “Математическая логика и дискретная математика”. 1980.
5. Воробьев Н. Н. Числа Фибоначчи. М., «Наука», 1969.
6. Гаврилов М.А., Девятков В.В., Пупырев Е.И. Логическое проектирование дискретных автоматов. М., «Наука», 1977.
7. Гиндикин С.Г. Алгебра логики в задачах. М., «Наука», 1972.
8. Гильберт Д., Бернайс П. Основания математики. Логические исчисления и формализация арифметики. М., «Наука», 1979.
9. Горбатов В.А.
  - а) Семантическая теория проектирования автоматов. М., «Энергия», 1979.
  - б) Основы дискретной математики. М., «Высшая школа», 1986.
10. Горбатов В.А., Павлов П.Г., Четвериков В.Н. Логическое управление информационными процессами. М., «Энергоатомиздат», 1984.
11. Евстигнеев В. А. Применение теории графов в программировании. М., «Наука», 1985.
12. Ерусламский Я. М. Дискретная математика: теория, задачи, приложения. М., «Вузовская книга», 2000.
13. Захарова Л. Е. Алгоритмы дискретной математики: Учебное пособие. М., Изд-во Московского государственного института электроники и математики, 2002.
14. Зыков А.А. Основы теории графов. М., «Наука», 1987.
15. Игошин В.И. Математическая логика и теория алгоритмов. Саратов, Изд-во Саратовского университета, 1991.
16. Коффман А. Введение в прикладную комбинаторику. М., «Наука», 1975.
17. Колдузлар С. Логический синтез релейных устройств. М., 1961.
18. Кудрявцев В.Б.
  - а) Теорема полноты для одного класса автоматов без обратных связей. Проблемы кибернетики, Вып.8. М., «Физматгиз», 1962, стр. 91-116.

- 6) О мощностях множеств предполных множеств некоторых функциональных систем, связанных с автоматами. Проблемы кибернетики, Вып.13. М., «Наука», 1965, стр. 45-74.
19. Лавров И.А., Максимова Л.Л. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов. М., «Наука», 1975.
20. Ланда С. К. Лекции о производящих функциях. 2-е изд. М., МЦНМО, 2004.
21. Липский В. Комбинаторика для программистов. М., «Мир», 1988.
22. Лихтарников Л.М., Сукачева Т.Г. Математическая логика. Курс лекций. Задачник-практикум и решения. Санкт-Петербург, «Лань», 1999.
23. Лупаев О.Б.
- а) О синтезе некоторых классов управляющих систем. Сб. “Проблемы кибернетики”, Вып.10. М.: «Физматгиз», 1963, стр. 88-96.
- б) Об одном подходе к синтезу управляющих систем-принципы локального кодирования. // Проблемы кибернетики, Вып.14. М., «Наука», 1965, стр. 31-110.
- в) О возможностях синтеза схем из произвольных элементов. // Труды МИАН СССР, 51, 1958, стр. 158-183.
24. Мальцев А.И. Алгоритмы и рекурсивные функции. М., «Наука», 1965.
25. Марков А.А. Теория алгорифмов. // Труды математического института АН СССР им. В.А.Стеклова, XLII, АН РФ, 1954.
26. Матиясевич Ю.В. Диофантовость перечислимых множеств. // ДАН СССР, 191, 1970, стр. 279-282.
27. Морочник С. Б., Розенфельд Б. А. Омар Хайям – поэт, мыслитель, учёный. Сталинабад, «Таджикгосиздат», 1957.
28. Новиков П.С. Конструктивная математическая логика с точки зрения классической. М., «Наука», 1977.
29. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов. СПб., «Питер», 2000.
30. Омар Хайям. Трактаты. Перевод Б. А. Розенфельда. М.. «Издательство восточной литературы», 1961.
31. Оре О. Теория графов. М., «Наука», 1980.
32. Постелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. М., «Энергия», 1981.
33. Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика. М., «Мир», 1980.
34. Роджерс Х. Теория рекурсивных функций и эффективная вычислимость. М., «Мир», 1972.
35. Стенли Р. Перечислительная комбинаторика. М., «Мир», 1990.
36. Трахтенброт Б.А. Алгоритмы и машинное решение задач. М., «Физматгиз», 1960.
37. То‘гаев Н.Т.
- а) Matematik mantik va diskret matematika, Toshkent, «O‘qituvchi», 2003.

- 6) Matematik mantik va diskret matematika, I-qism. Samarkand, SamDU nashriyoti, 2000.
- 7) Matematik mantik va diskret matematika, II-qism. Samarkand, SamDU nashriyoti, 2001.
38. Успенский В. А. Треугольник Паскаля. М., «Наука», 1966.
39. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. Потоки в сетях. М., «Мир», 1966.
40. Чёрч А. Введение в математическую логику, том 1, М., «ИЛ», 1961.
41. Чудновский Г.В. Диофантовы предикаты, УМН, 25, № 4, 1970, стр. 185.
- 186.
42. Уилсон Р. Введение в теорию графов. М. «Наука», 1980.
43. Харари Ф. Теория графов. М., «Мир», 1973.
44. Яблонский С. В.
- а) Введение в дискретную математику. М., «Наука», 1979.
- б) Введение в дискретную математику. 2-е изд., перераб. и доп. М., «Наука», 1986.
- в) Методические разработки по курсу “Элементы дискретной математики”. М., Изд-во МГУ, 1971.
- г) Основы алгебры логики и теории контактных схем. М., Тр. института математики им. Стеклова, 1958, т. 51.
- д) Функциональные построения в k-значной логике. М., Труды МИАН СССР, 51, 1958, стр. 5-142.
45. Яблонский С. В., Лупанов О. Б. и др. Дискретная математика и математические вопросы кибернетики. Том I. М., «Наука», 1974.
46. Яблонский С.В., Гаврилов Г.П., Кудрявцев В.Б. Функции алгебры логики и классы Поста. М., «Наука», 1966.
47. Qobulov V.Q. Raqamli avtomatlar. Т., 1980.
48. To'rayev H.T. Matematik mantik va diskret matematika,. Ma'ruzalar matni. Samarkand, SamDU nashriyoti, 2001.
49. To'rayev H.T. Mulohazalar algebrasi. Muammoli lektsiyalar kursi. Samarkand, SamDU nashriyoti, 2003.
50. To'rayev H.T. Mulohazalar hisobi va predikatlar mantiqi. Muammoli lektsiyalar kursi. Samarkand, SamDU nashriyoti, 2003.
51. To'rayev H.T. Birinchi tartibli matematik nazariya va algoritmlar. Muammoli lektsiyalar kursi. Samarkand, SamDU nashriyoti, 2003.
52. To'rayev H.T. Diskret matematikaning ribermetikaga tatbiqi. Muammoli lektsiyalar kursi. Samarkand, SamDU nashriyoti, 2003.
53. To'rayev H.T., Azizov I., Otaqulov S. Kombinatorika va graflar nazariyasi. Toshkent, «Ilm Ziyo». 2009.

## ASOSIY BELGILASHLAR

Kitobda quyidagi asosiy belgilashlar qabul qilingan.

$N$  – natural sonlar to'plami,

$Z$  – butun sonlar to'plami,

$R$  – haqiqiy sonlar to'plami,

$\emptyset$  – bo'sh to'plam,

$U$  – universal to'plam,

$|A| = A$  to'plamning quvvati,

$\cup$  – birlashma belgisi,

$\cap$  – kesishma belgisi,

$A \setminus B = A$  to'plamdan  $B$  to'plamni ayirish natijasida hosil bo'lgan to'plam,

$\overline{A}_B = A$  to'plamni  $B$  to'plamgacha to'ldiruvchi to'plam,

$\overline{A} = A$  to'plamni  $U$  universal to'plamgacha to'ldiruvchi to'plam,

$2^A = A$  to'plam uchun bulean,

$P_n = n$  ta elementli to'plam uchun o'rin almashtirishlar soni,

$A_n^m = n$  ta elementdan  $m$  tadan o'rinalashtirishlar soni,

$C_n^m = n$  ta elementidan  $m$  tadan gruppashlar soni,

$C_n(n_1, n_2, \dots, n_k) = n$  ta komponentali kortej uchun takrorli o'rin almashtirishlar soni ( $n_1 + n_2 + \dots + n_k = n$ ),

$\overline{A}_n^m = n$  ta turli elementlardan  $m$  tadan takrorli o'rinalashtirishlar soni,

$\overline{C}_n^m = n$  ta elementdan  $m$  tadan takrorli gruppashlar soni,

$B(n, k)$  – qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olingan holda natural  $n$  sonning  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soni,

$B(n)$  – qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olingan holda natural  $n$  sonning  $k$  ta qo'shiluvchilarga barcha bo'laklanishlari soni,

$R(n, k)$  – qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holda natural  $n$  sonning  $k$  ta qo'shiluvchilarga bo'laklanishlari soni,

$R(n)$  – qo'shiluvchilar tartibi e'tiborga olinmagan holda natural  $n$  sonning barcha bo'laklanishlari soni,

■ – teorema, natija, lemma, xossaning isboti yoki misol, algoritm tugaganligi.

## MUNDARIJA

<b>SO'Z BOSHI.....</b>	<b>3</b>
<b>KIRISH.....</b>	<b>6</b>
<b>I BOB. UMUMIY TUSHUNCHALAR.....</b>	<b>15</b>
1.1. To'plamlar nazariyasining asosiy tushunchalari.....	15
1.2. To'plamlar ustida amallar.....	22
1.3. To'plamlar algebrasi.....	28
1.4. Kortejlar.....	38
1.5. Fazzi to'plamlar.....	47
1.6. Munosabatlar.....	59
1.7. Fazzi munosabatlar.....	68
<b>II BOB. KOMBINATORIKA ELEMENTLARI.....</b>	<b>75</b>
2.1. Kombinatorika haqida umumiyl tushunchalar.....	75
2.2. Asosiy kombinatsiyalar.....	88
2.3. Paskal uchburchagi. Nyuton binomi.....	98
2.4. Takrorli kombinatsiyalar.....	110
2.5. Fibonachchi sonlari.....	119
2.6. Bo'laklashlar kombinatorikasi.....	132
2.7. Hosil qiluvchi funksiyalar.....	143
<b>III BOB. MULOHAZALAR ALGEBRASI.....</b>	<b>156</b>
3.1. Mulohaza. Mulohazalar ustida amallar.....	156
3.2. Formula va teng kuchlilik tushunchalari.....	168
3.3. Tavtologiya, aynan yolg'on va bajariluvchi formulalar.....	176
3.4. Asosiy teng kuchliliklar. Teng kuchli formulalarga doir teoremlar.....	182
3.5. Formulalarning normal shakllari.....	190
3.6. Formulalarning mukammal normal shakllari.....	198
3.7. Formulalarni tiklash.....	206
3.8. Formulaning chinlik to'plami.....	216
3.9. Mulohazalar algebrasi funksiyalari. Bul algebrasi.....	222
3.10. Mantiq algebrasidagi ikki taraflama qonun.....	228
3.11. Mantiq algebrasidagi arifmetik amallar. Jegalkin ko'phadi.....	231
3.12. Mantiq algebrasidagi monoton funksiyalar.....	233
3.13. Funksional yopiq sinflar. Post teoremasi.....	236
<b>IV BOB. MULOHAZALAR HISOBI.....</b>	<b>243</b>
4.1. Mulohazalar hisobi formulasi.....	243

4.2. Keltirib chiqarish qoidalari.....	246
4.3. Keltirib chiqarish qoidasining hosilalari.....	249
4.4. Isbotlash tushunchasi.....	255
4.5. Keltirib chiqarishning asosiy qoidalari.....	257
4.6. Ayrim mantiq qonunlarining isboti.....	262
4.7. Mulohazalar algebrasi va mulohazalar hisobi orasidagi munosabatlar.....	265
4.8. Mulohazalar hisobida yechilish, zidsizlik, to'liqlilik va erkinlik muammolari.....	275
<b>ADABIYOTLAR.....</b>	<b>283</b>
<b>ASOSIY BELGILASHLAR.....</b>	<b>285</b>

*H. T. To'rayev, I. Azizov*

## MATEMATIK MANTIQ VA DISKRET MATEMATIKA

I jild

*Muharrir M.Sa'dullayev*

*Tehnik muharrir H.Safaraliyev*

Litsenziya № AI 190. 10.05.2011 y.

Bosishga ruxsat etildi 14.07.2011. Bichimi 60x84/16. Ofset qo'ozni.  
TimesUz garniturasi. Shartli bosma t. 18,0. Nashr t. 18,0. Adadi 500 nusxa.  
Buyurtma 16/05

“Tafakkur -Bo'stoni” nashriyoti.  
oshkent, Yunusobod, 9-mavze, 13-uy

«TAFAKKUR» nashriyoti bosmaxonasida chop etildi.  
Toshkent, Chilonzor ko'chasi, 1-uy.