

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті

Химия және химиялық технология факультеті

Органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен полимерлер химиясы және технологиясы кафедрасы

БЛОК-СОПОЛИМЕРЛЕУ ӘДІСІМЕН
НАНОҚҰРЫЛЫМДЫ МАТЕРИАЛ
АЛУ. КҮРДЕЛІ ТОПОЛОГИЯЛЫҚ
ПОЛИМЕРЛІ МАКРОМОЛЕКУЛАЛЫ
ЖҮЙЕЛЕР. ДЕНДРИМЕРЛЕР.
ПОЛИМЕРЛІ ЦЕТКАЛАР.

К.х.н., доцент: Тоқтабаева Асель
Қырғызбаевна

6B07101 – «Химиядағы наноматериалдар және нанотехнологиялар» білім беру бағдарламасы

К.х.н., доцент: Тоқтабаева Асель Қырғызбаевна

- **Мақсаты:**

- Блок-сополимерлеу әдісінің теориялық негіздерін және оның наноқұрылымды материалдар алу мүмкіндіктерін түсіндіру. Қатты фрагменттері бар сополимерлердің, күрделі топологиялық жүйелердің (дендримерлер, полимерлі щеткалар және т.б.) құрылымдық ерекшеліктерін, алыну әдістерін және олардың ерекше қасиеттерін талдау.

◦ **Жоспары:**

- 1.Блок-сополимерлеу әдісінің мәні және полимер синтезіндегі рөлі
- 2.Блок-сополимерлердің құрылымдық типтері (диблок, триблок, көпблоқты)
- 3.Наноқұрылымды материалдарды блок-сополимерлеу арқылы алу принциптері
- 4.Қатты фрагменттері бар сополимерлер және олардың физика-химиялық ерекшеліктері
- 5.Күрделі топологиялық полимерлі макромолекулалар:
- 6.Дендримерлер: құрылымы, синтез әдістері және қасиеттері
- 7.Полимерлі щеткалар (щетка тәрізді макромолекулалар): құрылымы және алыну әдістері
- 8.Наноқұрылымды және функционалды материалдар алу бағыттары

◦ **БЛОКСОПОЛИМЕРЛЕР**, құрамы немесе құрылысы әр түрлі полимерлердің өзара химиялық байланыстармен байланысқан ауыспалы блоктары бар сызықты макромолекулалардан тұрады. Макромолекулалардың құрылымы. мысалы, сызбамен берілген болуы мүмкін:

◦ $(A)_n - (B)_m$;

◦ $(A)_n - (B)_m - (A)_l - (B)_k$;

◦ $(A)_n - (B)_m - (C)_l$;

◦ $(A)_n - X - (B)_m - X - (A)_l$,

◦ мұндағы A, B, C мономер бірліктері; n, m, l, k – блоктағы осы буындардың саны; X – екі функционалды төмен молекулалы зат.

- Блоксополимерлердің ерекше жағдайы – макромолекулада бірдей құрамды блоктары бар, бірақ кеңістіктік құрылымы әр түрлі сополимерлер. Блоктағы мономерлік буындардың саны полимердегі қасиеттерінің жиынтығын көрсету үшін жеткілікті болуы тиіс.

Типы сополимеров



статистический сополимер



чередующийся сополимер



блок-сополимер



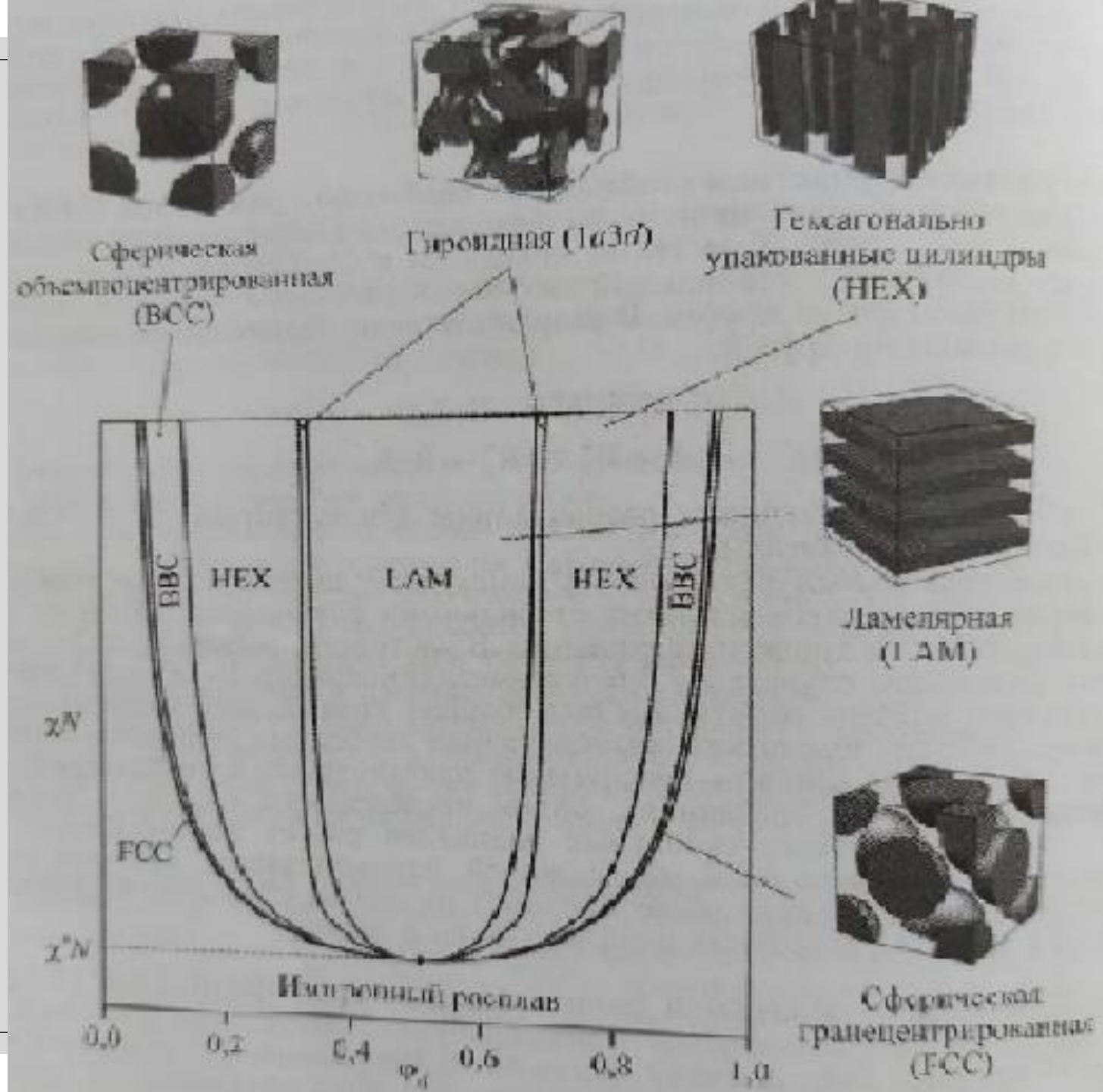
привитой сополимер

- **Блоксополимерлердің синтездеу жолдары:**
- 1) макромолекулярлы инициаторы бар мономер - полимерленуді тудыруға қабілетті бір немесе екі белсенді тобы бар полимермен мономердің өзара әрекеттесу. [бұл жағдайда В. құрылымдар $(A)_n - (B)_m$ немесе $(B)_m - (A)_n - (B)_m$ алынады; егер бірінші типтегі блоксополимер синтезі кезінде белсенді орталық блоктың соңында $(B)_m$ «тірі» тізбектердің пайда болуымен түзілсе, онда m . блоктардың кезектесуінің берілген ретімен алынған сополимерлер];
- 2) өзара екі немесе одан да көп полимерлердің немесе соңында функционалды топтары бар олигомерлердің өзара әрекеттесуі;
- 3) әр түрлі блоктары бар макрорадикалдардың рекомбинациясы. Көп жағдайда блоксополимер ғана емес, сонымен қатар іс жүзінде гомополимерлер де алынады.

Блок-сополимерлердің микрофазалы бөлінуі

- Концентрлі ерітінділер мен блок-сополимерлердің балқымаларын микрофазалық бөлу кезінде әртүрлі наноқұрылымдар пайда болады. Зерттеу нәтижелерін суретте көрсетілген фазалық диаграмма түрінде қорытындылауға болады. Тепе-теңдік микродомендік құрылымдардың болу аймақтары сополимерлердің құрамы (ϕ_A) – блоктың үйлесімсіздігі дәрежесінде (χN) координатасында көрсетілген.

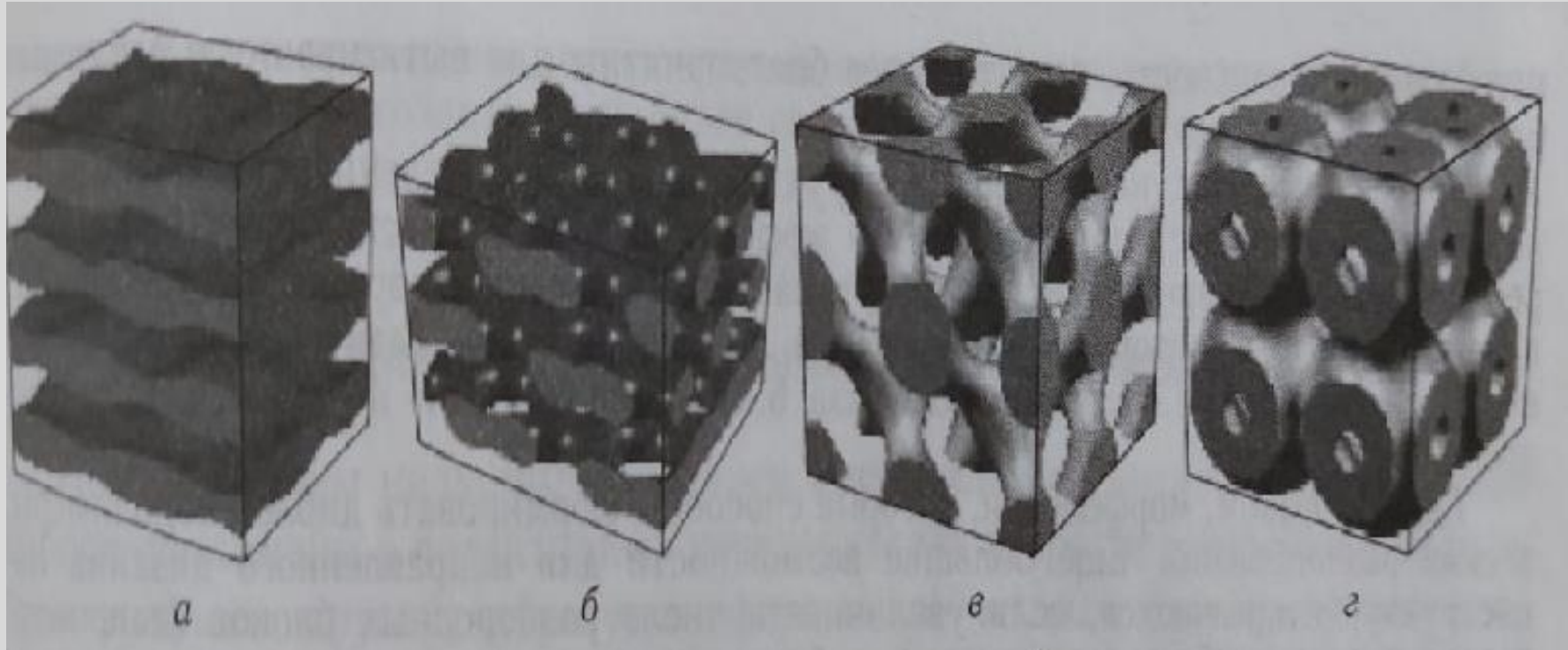
Координаттардағы
дифракты
сополимерлердің
балқымаларының
жалпыланған фазалық
диаграммасы
сополимер құрамы
(ϕ_A) - блоктың
үйлесімсіздігі
дәрежесі (χN).



- Жоғары температурада, χN аз болғанда және термиялық ауытқулар сәйкесінше үлкен болғанда, блок-сополимерлер **изотропты балқымалар** түзеді. Микрофазалық бөліну Флори-Хаггенс параметрінің критикалық мәнінен жоғары байқалады.
- Микродомен құрылымдары өте әртүрлі болуы мүмкін. Бірақ көп жағдайда олардың құрылымы беттік керілу күштері мен домендерді құрайтын блоктардың конформациялық энтропиясы арасындағы тепе-теңдікпен анықталады. Беттік керілу γ Флори-Хаггинс параметрімен $\sim \chi^{1/2}$ қатынасы бойынша байланысты.
- Блоктардың үйлесімсіздігінің ұлғаюымен ол өседі, өйткені әртүрлі буындардың арасындағы байланыстар тиімділігі аз болады. Сондықтан фазааралық бет азаюға бейім, бұл домендердің көлемін ұлғайту арқылы ғана мүмкін болады. Дегенмен, домендердің ұлғаюымен оларды құрайтын блоктар түзетуге мәжбүр болады, бұл конформациялық энтропияның жоғалуымен бірге жүреді.

- Макромолекулалардың полимерлік табиғаты осылай басталады. Блок көптеген конформацияларды қабылдай алады, олардың көпшілігі статикалық клубок түрінде болады. Ұзартылған конформациялар да пайда болады, бірақ олардың жалпы конформациялық жиынтықтағы үлесі өте аз және олар термодинамикалық жағынан өте қолайсыз. Сондықтан шынжыр серіппе сияқты ұштарында тұрады. Осылайша, суретте көрсетілген барлық тепе-теңдік құрылымдары – бұл буындардың беттік керілу күштері мен тізбектердің созылғысы келмеуі арасындағы берілген мәндерде ϕ_A және χ_N жеткен келісім болып табылады.

- Тепе-теңдік морфологияларынан басқа, әртүрлі метатұрақты (тепе-теңдіксіз) құрылымдар өте кең таралған. Бұл, мысалы, модуляцияланған және перфорацияланған пластинкалы құрылымдар.

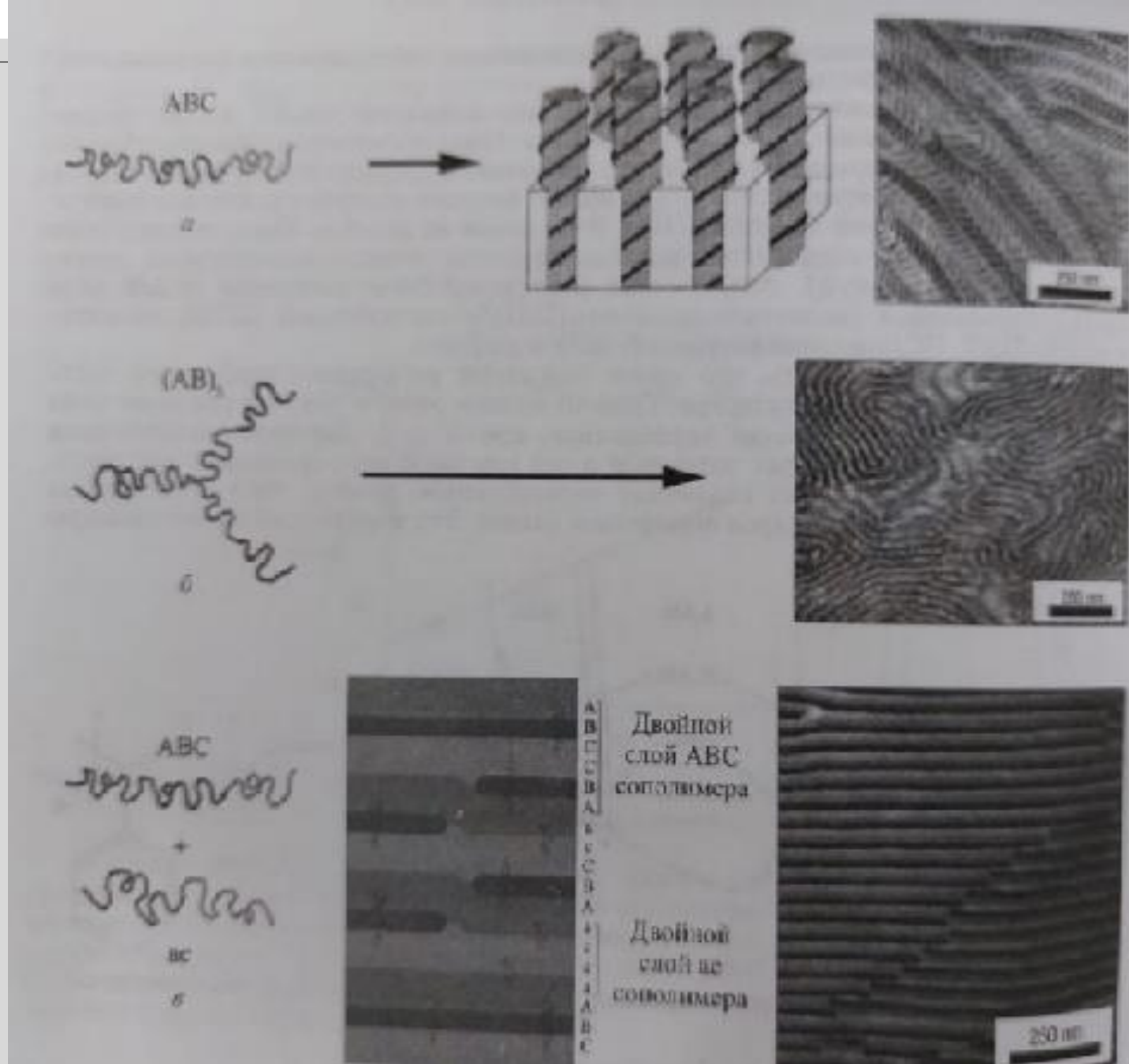


Блок-сополимерлердің тепе-тең емес және «классикалық емес» наноқұрылымдары: а - модуляцияланған пластинкалы; б - перфорацияланған пластиналар; екі континумды құрылымдар: в - F-типті және г- Р-типті.

- Айта кету керек, сипатталған тұрақты морфологиялардан басқа, әртүрлі дұрыс емес морфологиялар жиі кездеседі. Мұның бір себебі, нақты тізбектер $N \gg 1$ болғанда ғана статистикалық клубоктар сияқты әрекет етеді. Тіпті иілгіш тізбекті полимерлердің қысқа молекулалық фрагменттері біршама қаттылық дәрежесін көрсетеді. Нәтижесінде әртүрлі құрт тәрізді домендер немесе өзгермелі ұзындықтағы тығыз оралған цилиндрлердің құрылымдары пайда болады. Бұл морфологиялар үлкен аралық бетке ие, бірақ блоктардың созылуы мен ісінуі үшін қолайлы.

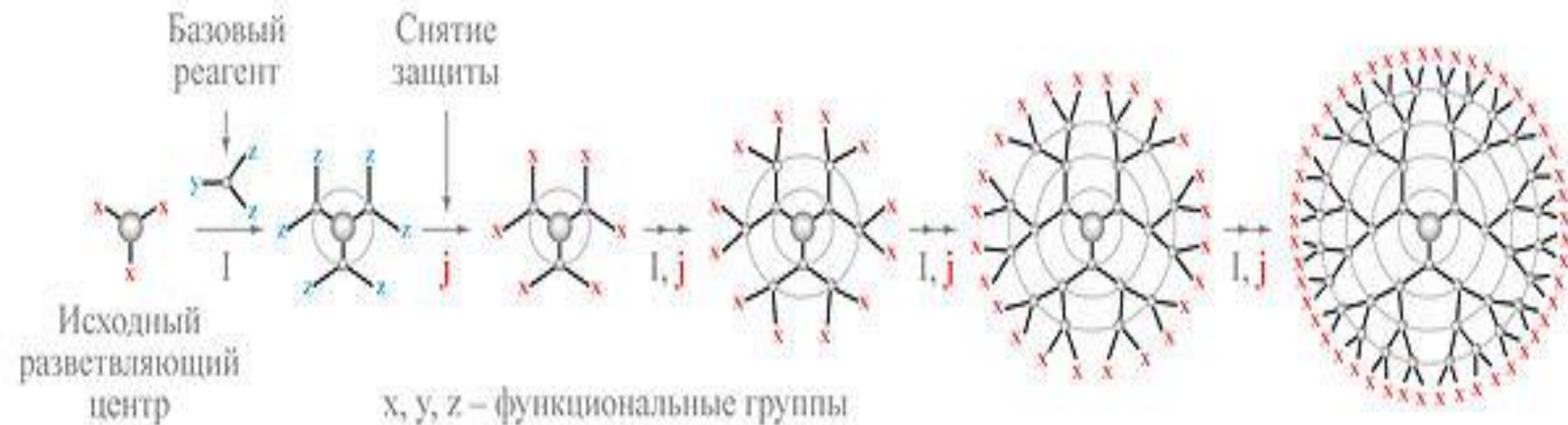
- Диблок сополимерлерін түзуге қабілетті морфологиялар өте алуан түрлі. Егер гетерогенді блоктардың санын көбейтсе (мысалы, үш блокты сополимер) немесе тармақталған сополимерлер қолданылса, наноқұрылымдарды бағытталған жобалау үшін одан да үлкен мүмкіндіктер ашылады, олардың мысалдары суретте келтірілген.

Сызықтық және тармақталған блокты сополимерлер және олардың негізіндегі нанокұрылымдар: а – «цилиндрдегі спираль» фазасын құрайтын триблокты сополимер; б – құрт тәрізді құрылымдар беретін жұлдыз тәрізді сополимер; с – қабаттардың химиялық бағдарламаланған тізбегі бар пластинкалы мезофазаны құрайтын ди- және триблокты сополимерлердің қоспасы.



Күрделі топологиялық полимерлі макромолекулалы жүйелер. Дендримерлер. Полимерлі щеткалар.

- Дендример немесе арборол (ағылш. dendrimer) — қалыпты тармақталған, симметриялы ағаш тәрізді құрылымы бар макромолекула.
- Дендримердің тармақтары ортақ орталық тобы болады. Бірінші ұрпақтың (бірінші буынның) дендримерінің әр тармақта бір тармақты нүктесі бар, екінші ұрпақтың екі тармақтық нүктесі және т.б. Дендримерлердің мұндай құрылымы олардың синтезінің көп сатылы процесі кезінде қол жеткізіледі (суретті қараңыз). Дендримерлер 1980 жылдардан бастап белсенді түрде зерттеле бастады, содан бері мұндай макромолекулалардың жүздеген әртүрлі түрлері алынды.



Генерация

N_x :

$N_x = 3 \cdot 2^n$ – количество концевых групп

$n = 1$

6

$n = 2$

12

$n = 3$

24

$n = 4$

48

- Дендримерлер молекулалары тармақтары көп болатын полимерлі қосылыстар класына жатады. Оларды алған кезде мономерді қосудың әрбір элементар актісімен тармақтар саны артады. Нәтижесінде мұндай қосылыстардың молекулалық массасының жоғарылауымен молекулалардың пішіні мен қаттылығы өзгереді, бұл әдетте дендримерлердің меншікті тұтқырлығы, ерігіштігі, тығыздығы сияқты физикалық-химиялық қасиеттерінің өзгеруімен бірге жүреді. , т.б.

- Регулярлы құрылымды гипертармақталған полимерлер **дендримерлер** деп аталады. Дендример макромолекуласы бір түбірден өсетін 1–4 тәжден тұрады. Мұндай тәждер дендрондар (грек тілінен дендрон - ағаш) деп аталады. үш тәжден тұратын дендримердің схемалық құрылымы суретте көрсетілген. Макромолекулалардың тармақтарының өсуі барлық бағыттарда жүруі мүмкін және тармақталудың 3-4 ұрпақтарынан кейін макромолекула сфераға жақын пішінді алады. Өйткені барлық макромолекулалар бақыланатын синтездің әрбір сатысында ММ-ны бірдей мөлшерде арттырады, содан кейін алынған полимерлер монодисперсті, яғни олардың құрамында макромолекулалар ММ бірдей және өлшемдері бірдей болады. Дендрон құрылымының заңдылығы, байланыстарының ұзындықтары мен бұрыштары белгілі болғандықтан, дендрит макромолекуласының өлшемдері мен ММ-ін үлкен дәлдікпен есептеуге мүмкіндік береді.

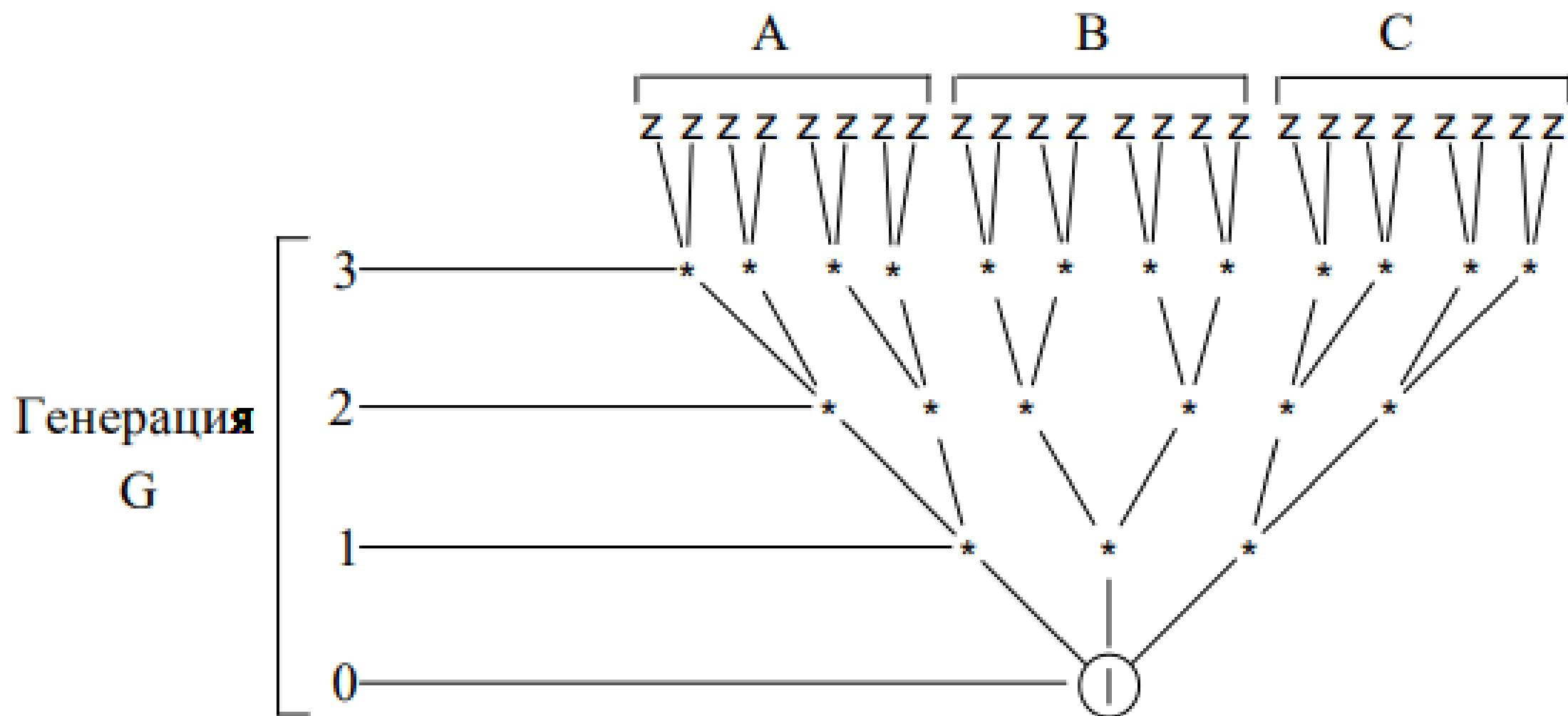


Рис.2.3. Химический граф дендримера, состоящего из трех крон (дендронов).

I – корень, G – генерации или поколения ветвлений; A, B, C – дендроны,
 z – терминальные (конечные) функциональные группы; * – узлы ветвлений

- **Дендример макромолекулаларының өлшемдері.**
- дендример макромолекулаларының құрылымы мен өлшемін анықтайтын негізгі параметрлер мыналар: N_c – ядроның тармақталу көрсеткіші, яғни макромолекуланың өзегінен өсетін дендриондардың (тәждердің) саны; N_b – сілтемелердің тармақталу көрсеткіші- әрбір қайталанатын бірлік құратын тармақтар саны; G – ұрпақ саны. Егер аминамидті дендримерді қарастырсақ, онда ол үшін $N_c = 3$, $N_b = 2$, $G = 0$ дендримердің ядросын қоршап тұрған, үш терминалдық тобы бар қабатқа жатады.

- Осыны пайдаланып есептеуге болады:
- полимерлену дәрежесі немесе қайталанатын бірлік саны:

$$P = N_c \frac{N_b^{G+1} - 1}{N_b - 1};$$

- Терминальды топтардың саны:

$$Z = N_c N_b^G;$$

- Молекулалық мамсасы:

$$M = M_c + N_c \left[\frac{M_u (N_b^{G+1} - 1)}{N_b - 1} + M_t N_b^{G+1} \right],$$

- мұндағы M_c , M_u , M_t - терминалдық топтардан бастапқы қосылыстан түзілген ядроның молекулалық салмағы, қайталанатын бірліктер. Мұның бәрі тұрақты, макромолекулалардың болжамды құрылымы бар дендримерлерге қатысты, ол тұрақты бұтақтардың табиғатын анықтайды.

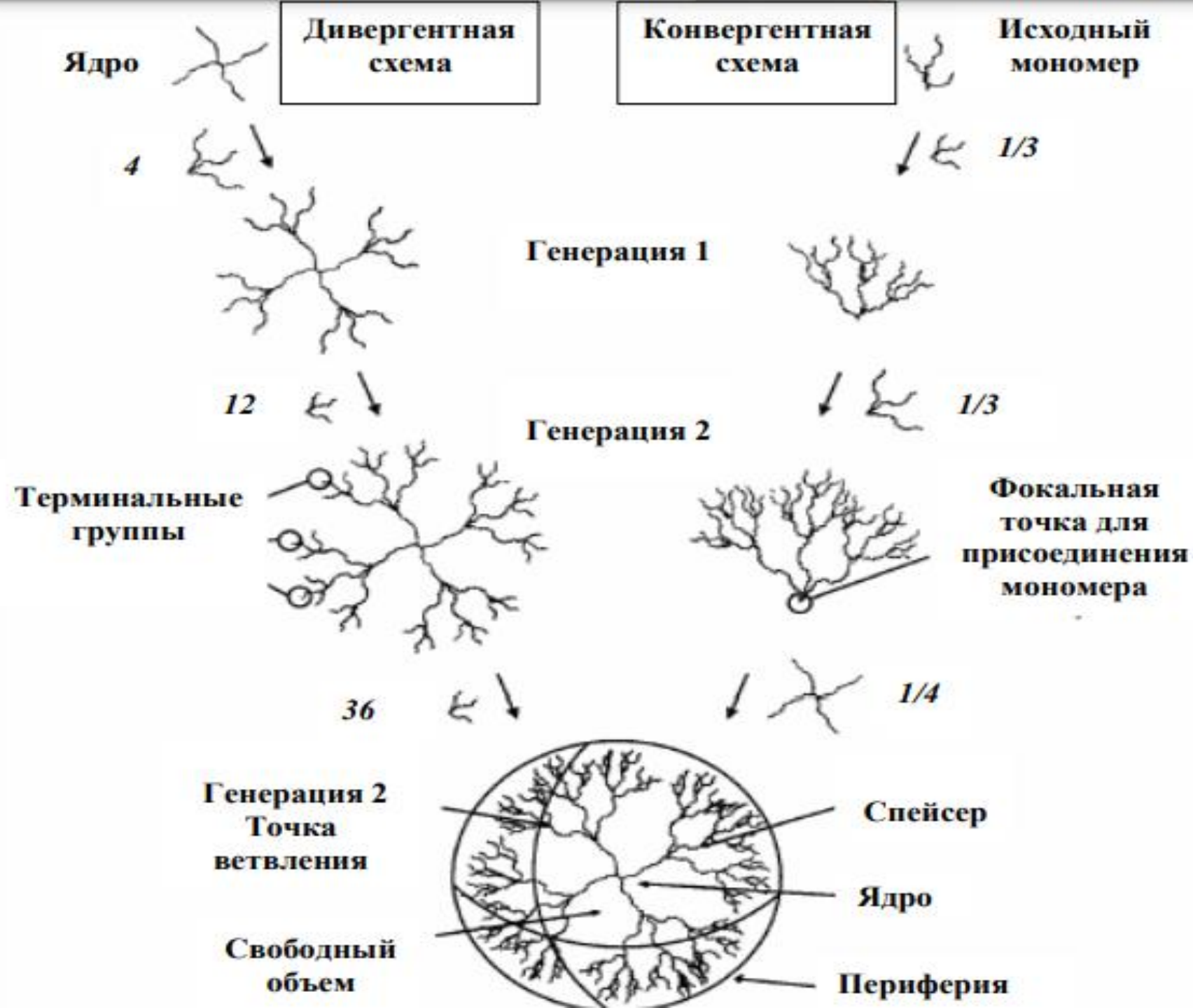
- Дендримерлерді синтездеу әдістері
- Дендримерлер синтезінің көп сатылы әдістері.

**Дендримерлер синтезінің
екі тәсілі бар:**

```
graph TD; A[Дендримерлер синтезінің екі тәсілі бар:] --> B[дивергентті]; A --> C[конвергентті синтез];
```

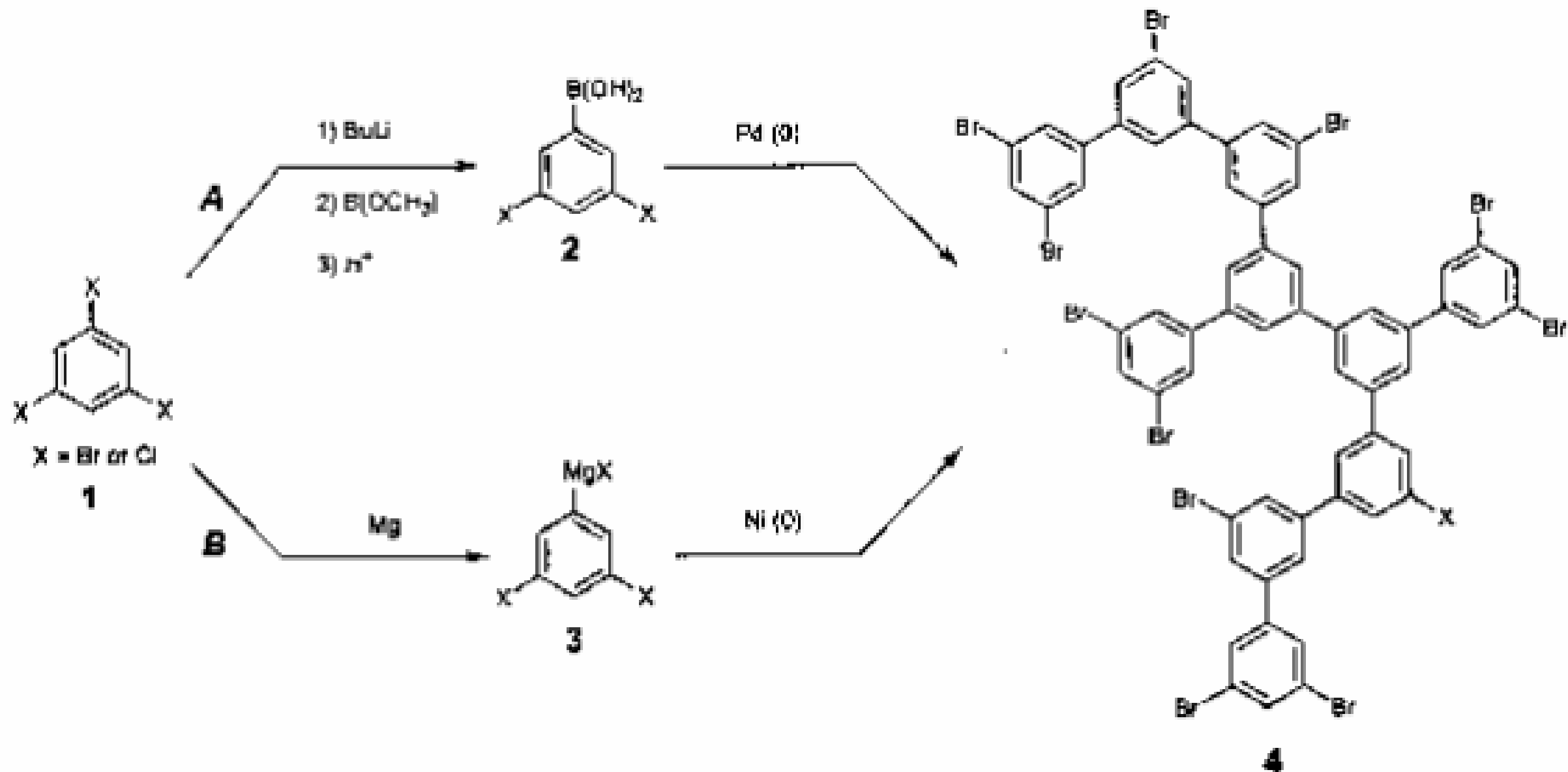
дивергентті

**конвергентті
синтез**

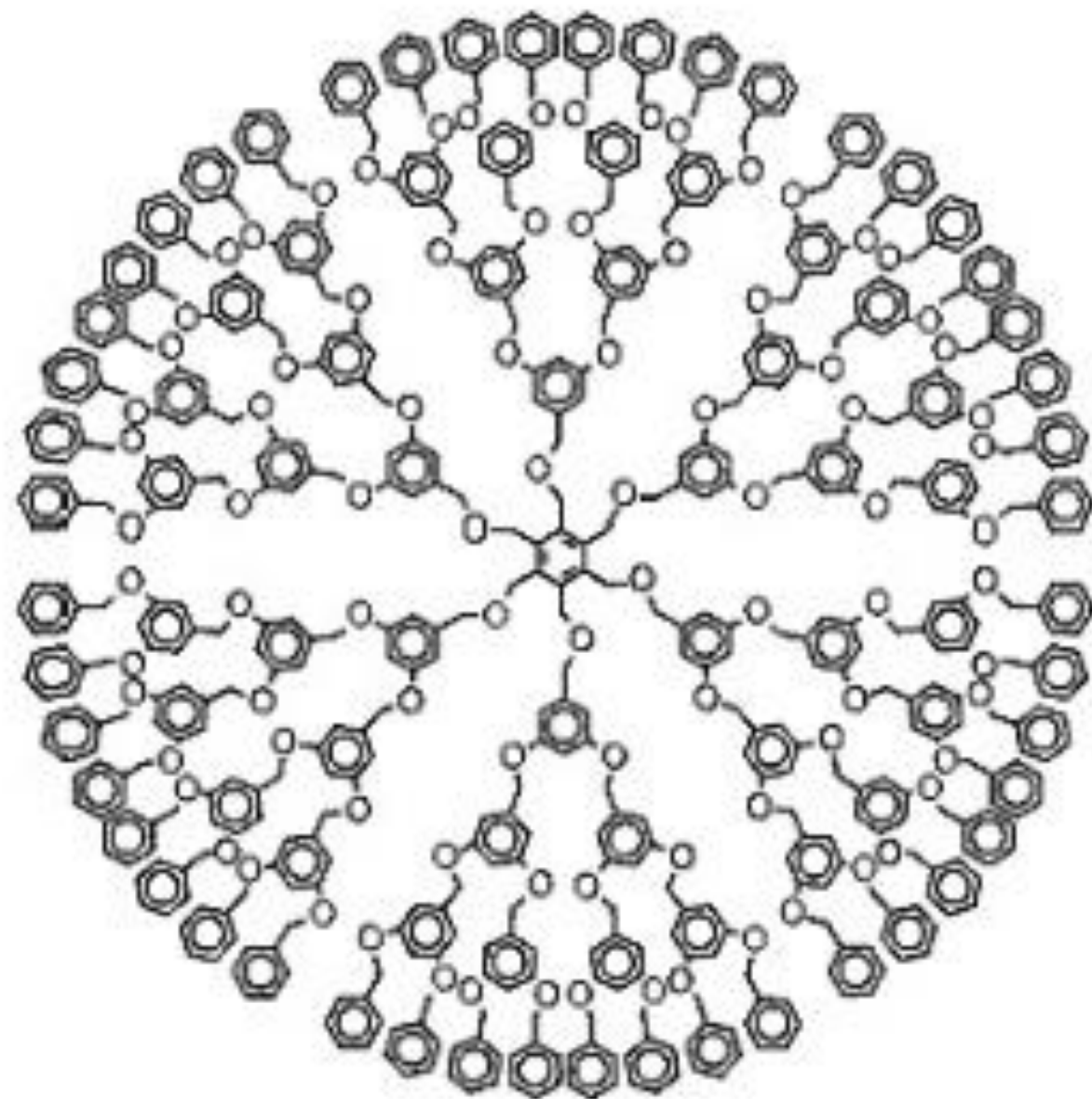


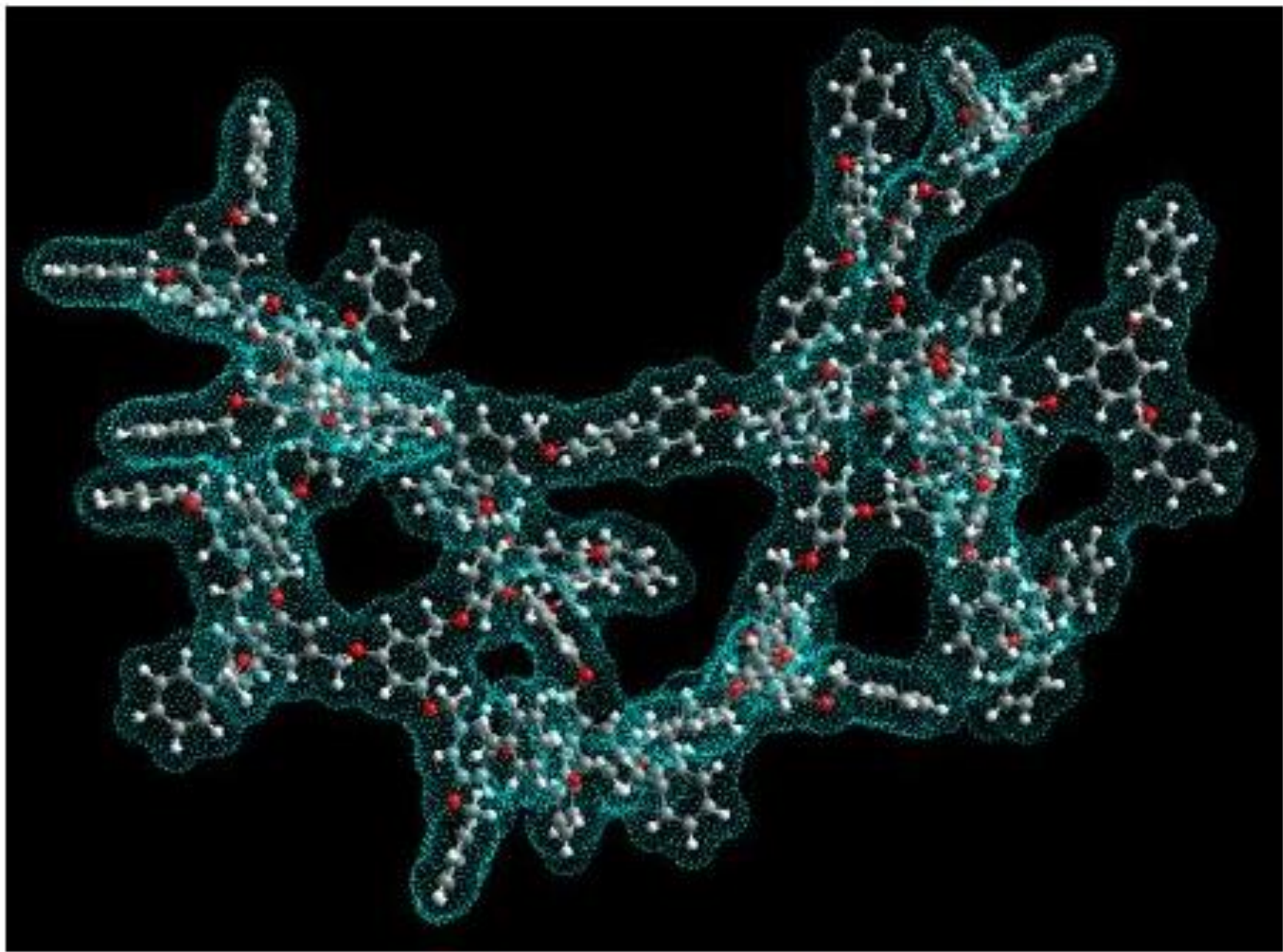
- Дендримерлердің синтезінің дивергентті схемасы еселі болып реакциялардың таңдалған кезеңді қайталануы, ол дендрит молекуласының бастапқы ядросы деп аталатын орталық атомның айналасында жаңа қабаттарын құру элементар фрагменттердің сатылы өсуіне мүмкіндік береді. Бұл схеманың жетістігі беткі қабатындағы жоғары функционалдылық болып табылады.

- Синтездің **конвергентті схемасында** молекуланың түзілуі оның перифериясынан басталады және әр кезеңде аралық интермедиат-дендрондардың мөлшерінің ұлғаюымен жалғасады, шартты конус пішініне ие және тек соңғы кезеңде дендрондар ядроға қосылады. Нәтижесінде толық дендритті макромолекула түзіледі. Бұл әдістің басты **артықшылығы** – дендриттік құрылымның ішінде белгілі бір орталықты инкапсуляциялау үшін монодендрондар идеалды құрылыс блоктары синтездеу мүмкіндігі болып табылады.
- **АВх мономерінің поликонденсациялануы.** Ең үлкен қызығушылық - бір сатылы АВх мономерінің поликонденсациясы (мұндағы $x > 2$). Бұл әдіс 1990 жылы Ким және Вебстер бірінші гипертармақталған полифенилендер алу үшін қолданылды.



- Синтезге өтпелі металдар катализаторларын қолданатын реакциялар жатады. Синтез шарттарына байланысты реакциялар екі бағыты жүруі мүмкін. Негізгі мономер ретінде 1,3,5-трибром- немесе трихлорбензол қолданылады. А бағыты бор қышқылының 2 туындыларының түзілуін қамтиды, ал В бағыты Гриньяр 3 реагенті туындыларының түзілуі арқылы жүзеге асады, ал Ni (және бірінші жағдайда Pd) қатысуымен гипертармақталған полимер 4 алынады. А схемасы бойынша алынған полимердің ММ және полидисперстік параметрі, тиісінше 32 000 және 1,13 құрайды. В жағдайында гипертармақталған төмен ММ (7590) және полидисперстік параметрі жоғары (1,8–2,3) полимер түзіледі. Бұл гипертармақталған полимер жақсы термиялық тұрақтылықпен және көптеген органикалық еріткіштерде ерігіштігімен сипатталады. Полиамидтер, поликарбонаттар, полиэтеркетондар келесі сызба бойынша алынған:

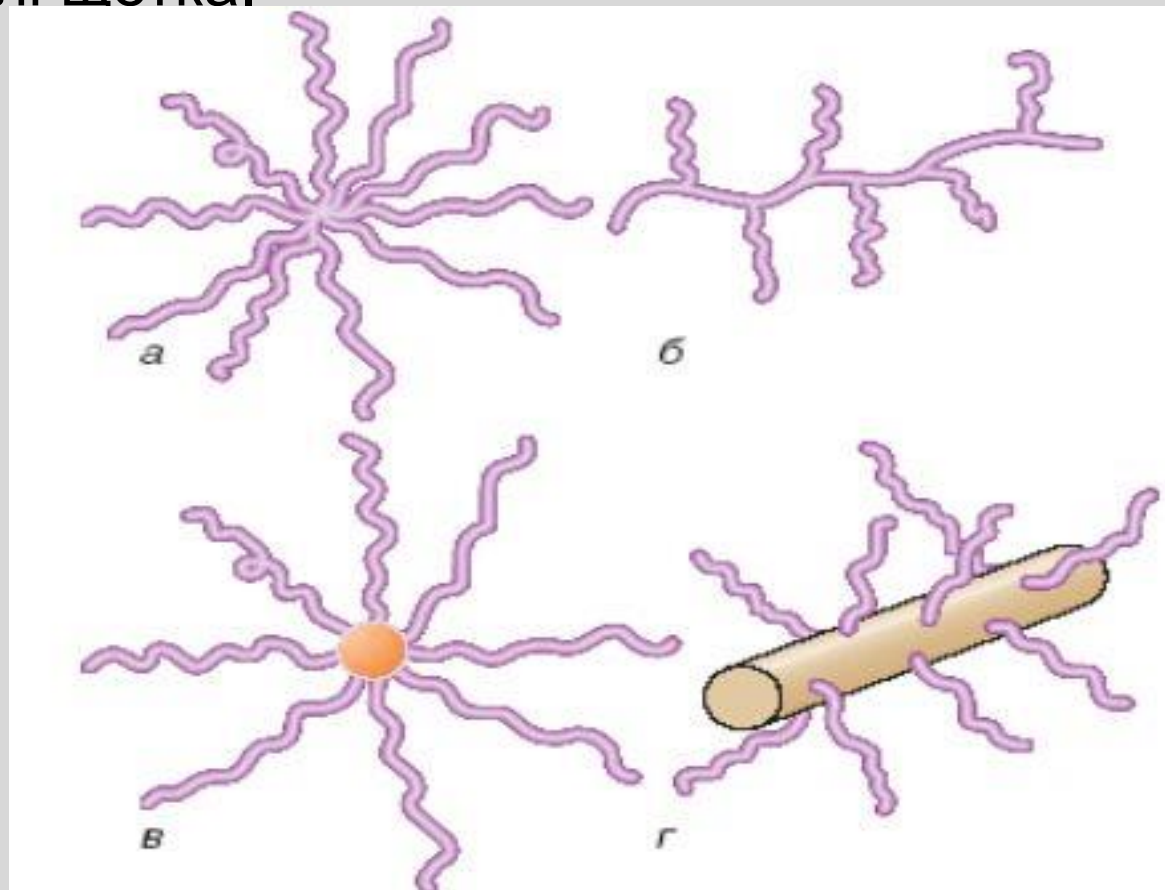




Молекула дендримера

- **Полимерлі щеткалар**
- Кейбір су өткізбейтін бетке соңғы топтар арқылы қосылған полимерлік тізбектердің бір қабаты щеткалар (Қылқаламдар) «химиялық» (тұрақты тармақталған полимерлер) та, өздігінен құрастыру арқылы да түзілуі мүмкін, мысалы, диблокты сополимерлер (полимер мицеллалары, моноқабаттар, суперкристалды құрылымдар).

- Біркелкі жайылған полимерлі щеткалар: а және б – тармақталған макромолекула: а – жұлдызша және тарақ тәрізді молекула; в,г – тегіс емес, бұлдырланған бет щеткасы: сфералық щетка (в) және цилиндрлік щетка (г) цилиндрлі щетка.



- **Алу әдістері.** Полимерлі щеткаларды алудың екі негізгі әдісі бар. Бірінші әдіс – полимер тізбектерінің бетінде және ұштарында орналасқан функционалдық топтардың физикалық немесе химиялық әсерлесуі нәтижесінде дайын полимердің ерітіндіден бетіне адсорбциясы. Бұл әдіс ең қарапайым, бірақ кейбір шектеулері бар. Оның көмегімен тігудің жоғары тығыздығына жету қиын, өйткені тігілген молекулалардың қабаты еріген молекулалардың бетіне қол жеткізуге кедергі келтіреді. Алынған пленкалардың қалыңдығы әдетте 100 нм-ден аспайды, өйткені олар ерітіндіден отырады, ал үлкен молекулалық массасы бар макромолекулалар әрқашан жақсы ери бермейді.

- Екіншісі, күрделірек, бірақ сонымен бірге тиімдірек, бетінде басталған «тірі» немесе бос радикалды полимерлену.
- Подложкада инициатор молекулаларының бір қабаты түзіледі. Содан кейін подложканы мономер ерітіндісіне салынып, полимерлеу иницирленіп басталады.
- Ерікті қалыңдықтағы тығыз щеткаларды алу мүмкіндігінен басқа, бұл әдіс өте күрделі құрылымның щеткаларын синтездеуге мүмкіндік береді. Бақыланатын кинетиканың арқасында тірі полимерлеу әдісі сыртқы жағдайлардың әсерінен макро- немесе микрофазаны бөлуге және өзін-өзі ұйымдастыруға қабілетті блок-сополимерлерден щеткаларды «өсіреді». Бұл үшін қайтымды ингибирлеу полимерленуі (ATRP) ең қолайлы.

- Сол сияқты, әртүрлі құрылымдардың макромолекулаларынан аралас щеткаларды синтездеуге болады. Осы мақсатта, мысалы, тұрақты нитроксильді радикалдарымен (НМП) полимерленуде бір мезгілде белсенді болатын екілік инициаторлар қолданылады. Көбінесе инициатор ретінде құрамында күкірт бар органикалық қосылыстар, алтынның бетіне жақсы адсорбцияланады.
- Фотолитография және микроконтактті басып шығару әдістерін қолдана отырып, инициатордың үздіксіз моноқабатын ғана емес, сонымен қатар микроүлгілер **паттерндер** - деп аталатындарды жасауға болады. Осының арқасында щеткаларды бөлек алдын ала белгіленген аймақтарында синтездеуге болады (сурет).

- Егу тығыздығы подложкадағы инициатор концентрациясы арқылы бақыланатындықтан, егу тығыздығы градиенті бар щеткалар физикалық адсорбцияланған инициатор молекулаларын бетке тарату арқылы алынады.
- **Зарядталмаған щеткалардың құрылымы мен термодинамикасы.**
- Қылқаламдардың құрылымы мен сипаттамасын анықтайтын негізгі факторлардың бірі - p бетіне тізбекті бекітудің тығыздығы (бірлік аудандағы тізбектердің саны). Төмен егу тығыздығында жеке полимер молекулалары бір-бірімен әрекеттеспейді және жақсы еріткіште саңырауқұлақ (гриб) конформациясы деп аталатын, су бетіне химиялық байланысқан бос статистикалық клубок болады (сурет).

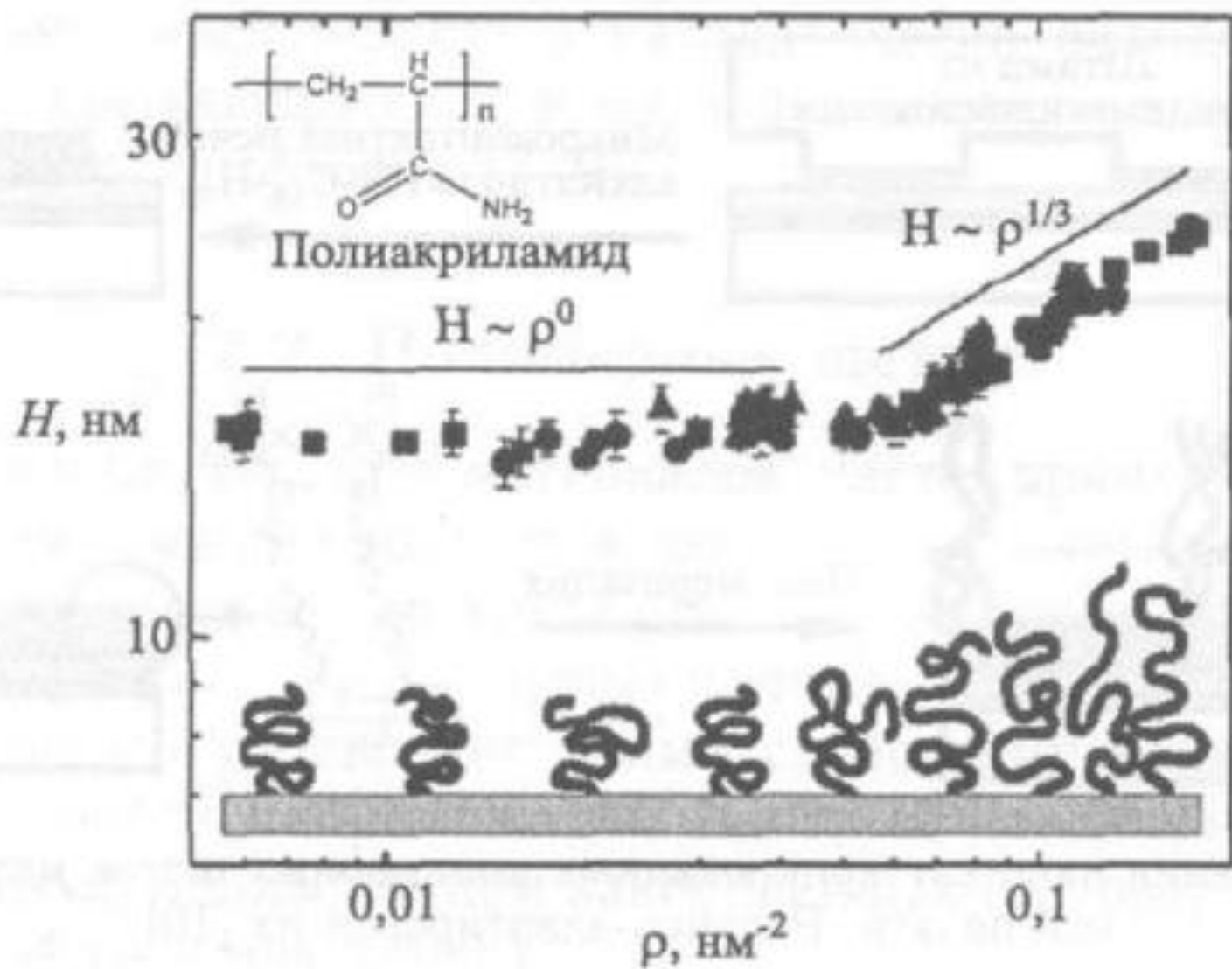
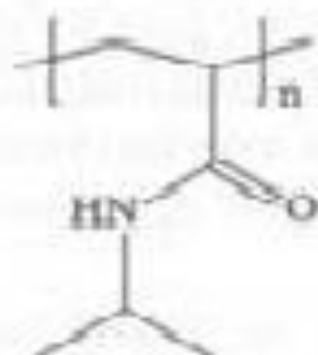
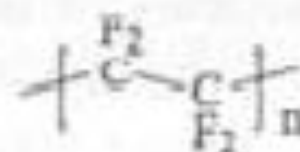


Рис. 2 **Зависимость толщины щётки полиакриламида от плотности пришивки**

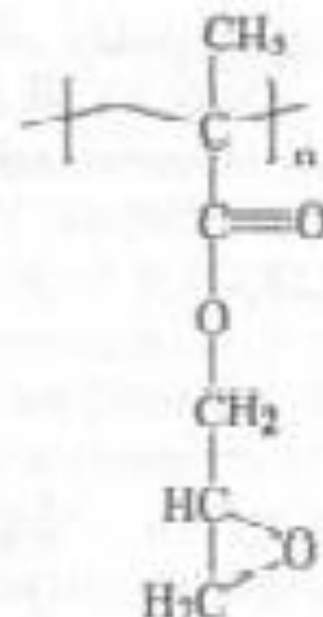
- Егу тығыздығы артқан сайын көршілес тізбектер бір-бірімен жанаса бастайды. Молекула аралық тебілуді әлсірету үшін молекулаларды бетке перпендикуляр түзеді. Полимерлі щетка деген осы. Полимерлі щеткалардың құрылымының анизотропиясы - олардың ерекше қасиеттерінің негізгі көздерінің бірі болып табылады.
- **Қасиеттер және қолдану.** Беттердің маңызды қасиеттерінің бірі олардың суланғыштығы болып табылады, ол бірқатар басқа маңызды құбылыстармен тығыз байланысты: адсорбция, ядролану, реактивтілік, тіпті механикалық қасиеттер. Ылғалдылық ең алдымен беттің микрорельефімен және химиялық құрылымымен анықталады. Бұл бағытталған бақылаудың кең мүмкіндіктері полимерлі щеткалардың бетінде сыртқы жағдайларға (температура, еріткіш, ортаның қышқылдығы, жарықтандыру және т.) сезімтал қасиеттер ашылады.



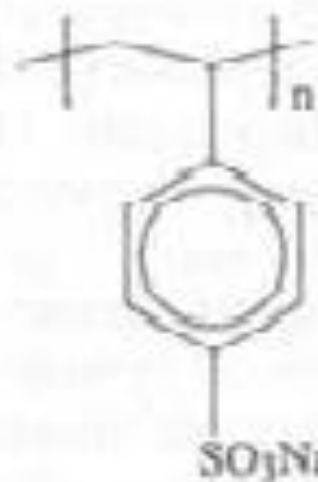
Поли-N-изопропилакриламид



Политетрафторэтилен
(тефлон)



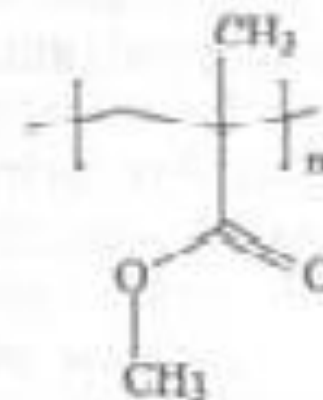
Поливинилметакрилат



Полистиролсульфонат натрия



Полистирол



Полиэтилметакрилат

Рис. 7.9. Типичные полимеры, призываемые к поверхностям

- Щетка сополимер арқылы пайда болған жағдайда, құрамында әртүрлі құрылымдардың байланыстары немесе екі полимер болса, онда осы еріткішпен жақсырақ үйлесетін блоктар щетканың бетіне өздігінен шығады (сурет).
Нәтижесінде еріткішті өзгерту щетка құрылымының қайтымды өзгеруіне әкеледі.
Бұл жағдайда суланғыштық, механикалық қасиеттері және бетінің микроқұрылымы өзгеруі мүмкін. Ұқсас қасиеттерді полистирол-блок-полиметилметакрилат, полистирол-блок-поливинилпиридин сополимерлері және т.б. щеткалары көрсетеді.

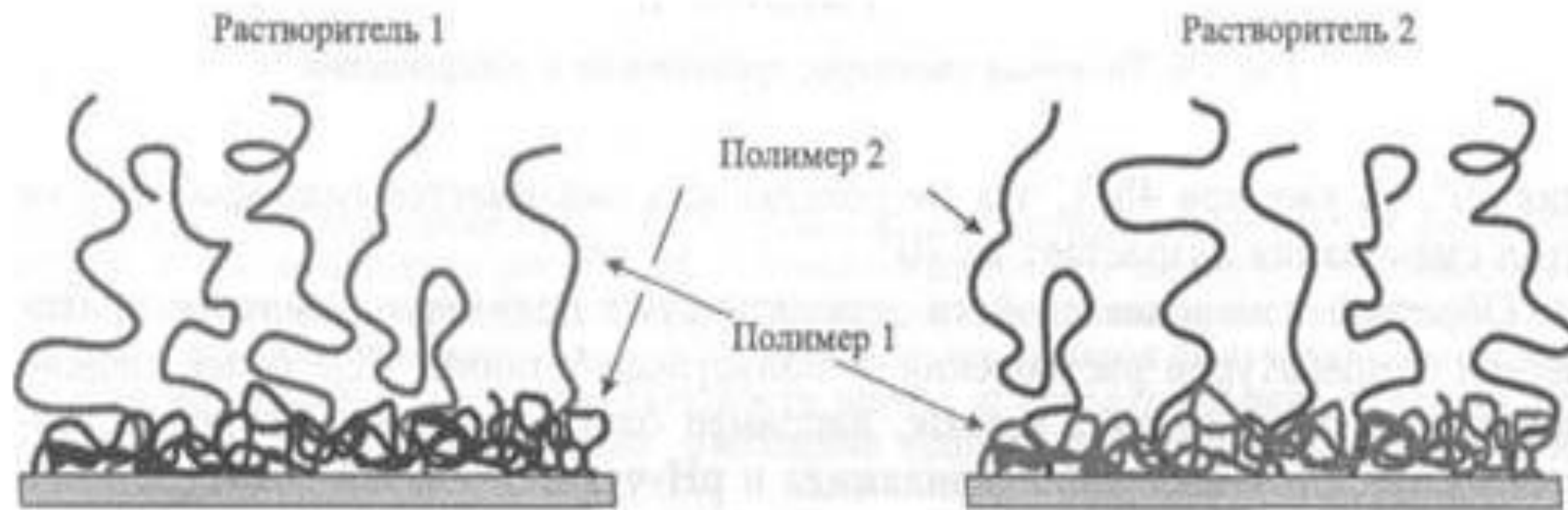


Рис. 4 **Структура бинарной щётки, «переключающейся» при смене растворителя**

- **Полиэлектrolитті щеткалардың ерекшеліктері.** Полимерлі щеткаларға зарядтарды енгізу олардың сипаттамасын айтарлықтай қиындатады, бұл сапалы жаңа әсерлердің пайда болуына әкеледі. Тігіс тығыздығы ρ маңызды рөл атқара бастайды. Өлшеміне байланысты полиэлектролит щеткасы үш режимнің бірінде болуы мүмкін, олардың арасындағы байланыс суретте көрсетілген.



Рис. 5 **Различные режимы существования полиэлектролитной щетки в координатах степень ионизации - плотность пришивки.**

- Осмостық режим күшті полиэлектролиттердің тығыз щеткалары үшін тән. Мұнда молекулалардың конформациясы мен щетка өлшемі щетканың қалыңдығын арттыруға бейім болатын қарсы иондық атмосфераның осмостық қысымы мен конформациялық энтропияны сақтауға бейім тізбектің серпімділік кедергісі арасындағы бәсекелестікпен анықталады. Бұл режимде щетканың қалыңдығы тұз концентрациясына байланысты емес.
- Егер тізбектердің беткі концентрациясын төмендететін болса, онда щетканың биіктігі Пинкус щетка режимі орнатылған тігу тығыздығының белгілі бір мәніне дейін тұрақты болып қалады.
- Ақырында, заряд аз немесе жоқ болғанда, оның жүйенің сипатының әсері шамалы болады.

1									Т								
2									О								
3									Л								
4									Т								
5									Ы								
6									Р								
7									Ғ								
8									Ы								
9									Ш								

- **Қорытынды:**

- **Блок-сополимерлеу әдісі** — химиялық тұрғыдан әртүрлі мономерлерден тұратын макромолекулаларды синтездеудің тиімді тәсілі. Бұл әдіс арқылы алынған блок-сополимерлердің құрамында өзара үйлеспейтін фрагменттер бар болғандықтан, олар өздігінен ұйымдасып, **наноқұрылымды морфология** түзеді (мысалы, сферикалық, цилиндрлік, ламеллярлы және т.б. құрылымдар). Мұндай жүйелердің қасиеттері блоктардың химиялық табиғатына, молекулалық массасына және олардың арақатынасына тәуелді.

- **Әдебиет:**

1. Тоқтабаева А.Қ. Полимерлік композициялық материалдарды алу және зерттеу әдістері. Алматы, 2009. -153б.
 2. Ирмухаметова Г.С. Основы технологии полимерных композиционных материалов: учеб. пособие для вузов; КазНУ им. аль-Фараби. - Алматы: Қазақ ун-ті, 2016. - 175 с.
 3. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология. Под.редакцией Берлина А.А. – СПб., Изд-во «Профессия», 2008. – 560с.
 4. Принципы создания композиционных полимерных материалов А.А. Берлин, С. А. Вольфсон, В. Г. Ошмян, Н. С. Ениколопов. — М.: Химия, 1990. — 240 с.
 5. Сайфуллин, Р.С. Физикохимия неорганических полимерных и композиционных материалов / Ренат Саляхович Сайфуллин- М.: Химия, 1990.- 239 с.
 6. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М. Л. Кербер и др.; под общ. ред. А. А. Берлина- СПб.: Профессия, 2009.- 556, [4] с.
- Батаев, А. А. Композиционные материалы. Строение, получение, применение: учеб. пособие / А. А. Батаев, В. А. Батаев- М.: Логос, 2006.- 397, [3] с.- (Новая унив. б-ка).
 -