

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті
Химия және химиялық технология факультеті
Органикалық заттар, табиғи қосылыстар мен полимерлер химиясы
және технологиясы кафедрасы

6 – Дәріс

Полимерлер ерітінділерінің табиғаты, олардың физика-химиялық қасиеттерінің ерекшеліктері. Гидрогельдер, оларды алу әдістері және физика-химиялық қасиеттері.

6B07101 – Химиядағы наноматериалдар және нанотехнологиялар»
білім беру бағдарламасы

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

Мақсаты:

Полимер ерітінділерінің табиғаты мен олардың физика-химиялық қасиеттерін түсіндіру, полимер мен еріткіш арасындағы термодинамикалық өзара әрекеттесудің маңызын ашу. Сонымен қатар гидрогельдердің құрылымы, алыну әдістері мен ісіну, тұтқырлық, механикалық және сорбциялық қасиеттерінің ерекшеліктерін қарастыру.

Жоспары:

1. Полимер ерітінділері туралы жалпы түсінік
2. Полимер мен еріткіштің өзара әрекеттесу табиғаты
3. Полимер ерітінділерінің физика-химиялық қасиеттері: тұтқырлық, осмостық қысым, тығыздық, молекулалық масса
4. Полимер ерітінділерінің концентрациялық аймақтары: сұйылтылған, жартылай сұйылтылған және концентрлі ерітінділер
5. Гидрогельдер туралы ұғым және олардың құрылымдық ерекшеліктері
6. Гидрогельдерді алу әдістері:
 1. химиялық тігуші агенттер арқылы тор түзу

2. физикалық тігілудің (сутектік, иондық, Ван-дер-Ваальс) нәтижесінде алу

7. Гидрогельдердің физика-химиялық қасиеттері мен қолданылу салалары

Қысқаша тезис:

Полимер ерітінділері – жоғары молекулалы заттардың еріткіштермен өзара әрекеттесуі нәтижесінде түзілетін бір фазалы жүйелер. Полимер ерітінділерінде молекулалардың үлкендігі мен иілгіштігіне байланысты ерекше физика-химиялық қасиеттер байқалады.

Полимер мен еріткіштің әрекеттесуі

- Еру процесі энтропияның артуымен жүреді;
- Полимер мен еріткіштің термодинамикалық сыйысуы маңызды;
- Сыйыспайтын жүйелер фазалық бөлінуге бейім.

Физика-химиялық қасиеттері

- Тұтқырлық, осмостық қысым, тығыздық, молекулалық масса;
- Осмостық қысым Вант-Гофф заңына бағынбайды, себебі макромолекула иілгіш.
- Тұтқырлық Хаггинс және Марк-Хаувинк теңдеулерімен анықталады

Ісіну процесі – полимердің еріткішті сіңіріп, көлемінің ұлғаюы; ісіну дәрежесі, жылдамдығы және қысымы арқылы сипатталады.

Гидрогельдер – суды сіңіріп, торлы құрылым түзетін полимерлік жүйелер.

- Химиялық (тігуші агенттер арқылы) және физикалық (сутектік, иондық, Ван-дер-Ваальс байланыстары арқылы) жолмен түзіледі.
- Ісіну қабілеті макромолекула табиғатына, тігілудің дәрежесіне және ортаның рН-на байланысты.

Полимерлер ерітіндісі

- Полимер ерітінділері олардың молекулалық массасын және макромолекулалардың өлшемін анықтау үшін де қажет.



шын ерітінділер	коллойдтық жүйелер
компоненттер арасында бір-біріне ынтықтық бар	ынтықтық жоқ
өздігінен пайда болады	мәжбүрлік түрде пайда болады
молекулалық немесе иондық дисперстілік (біркелкілік)	коллойдтық дисперстілік
термодинамикалық тұрақтылық	термодинамикалық тұрақсыздық
дисперстік дәрежеленуі уақытқа байланысты өседе	дисперстік дәрежеленуі уақытқа байланысты кемиді
агрегаттық тұрақтылық	агрегаттық тұрақсыздық
бір фазалық	екі фазалық
беттік бөліну жоқ	беттік бөліну бар
қайтымды	қайтымсыз

Полимерные растворы – условия образования

Макромолекулы

G_2
 H_2
 S_2

Молекулы растворителя

G_1
 H_1
 S_1

Полимерный раствор

G_p
 H_p
 S_p

$\Delta G_{cm} = \Delta H_{cm} - T\Delta S_{cm} \leq 0$

$\Delta G_{cm} = G_p - G_1 - G_2$

$\Delta H_{cm} = H_p - H_1 - H_2$

$\Delta S_{cm} = S_p - S_1 - S_2$

$\Delta G_{cm} = \Delta G_{cm}(T, C)$

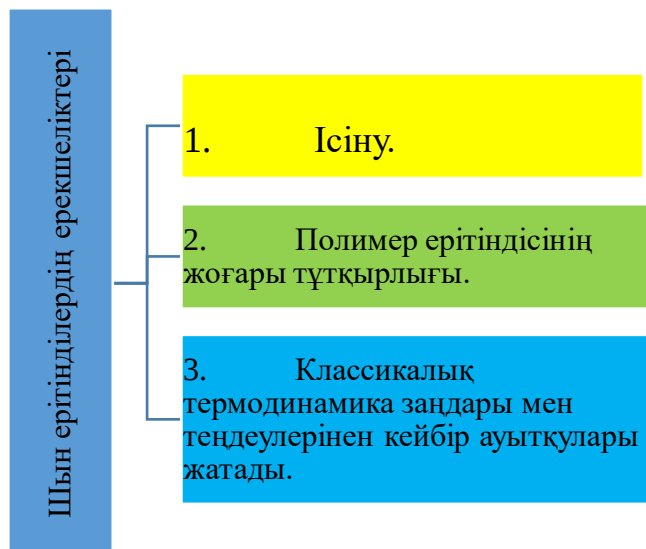
Правило фаз Гиббса

$K - \Phi + 1 = f$

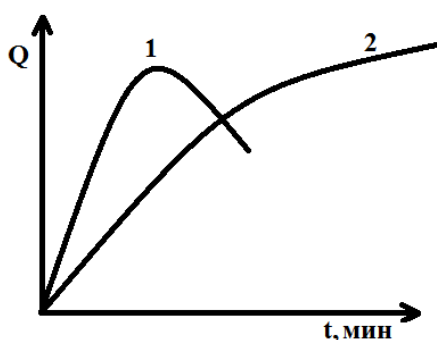
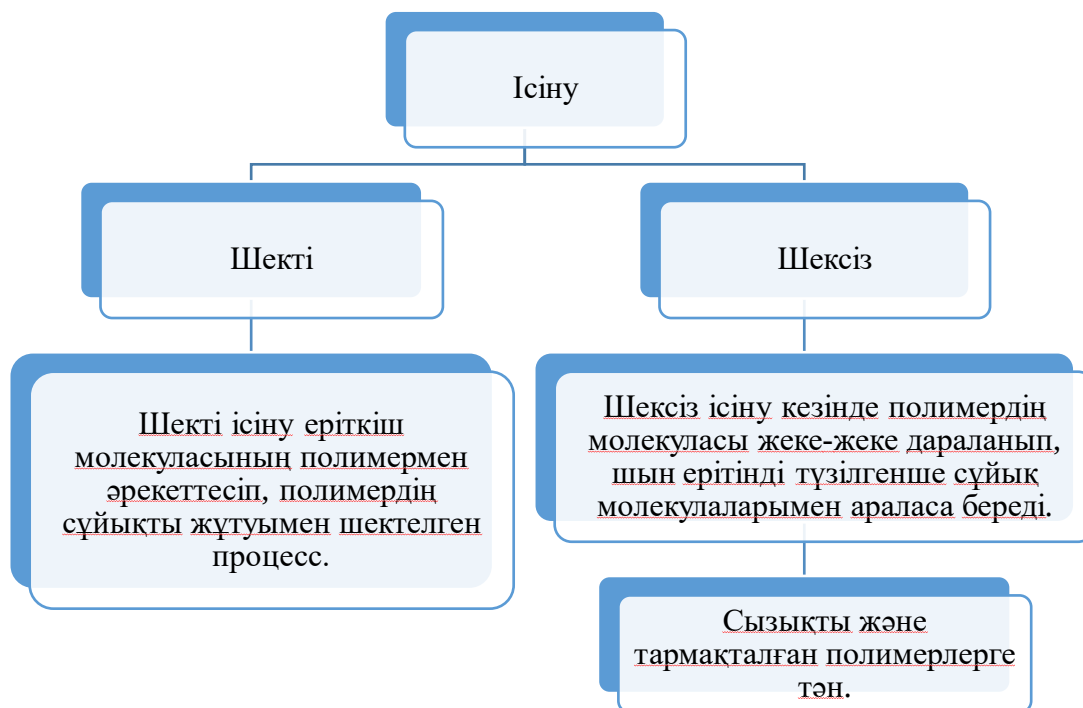
K – количество компонентов;
Φ – количество фаз;
f – количество степеней свободы;

- Шын ерітінділерде еріген заттың молекулаларының әрекеттесуінен **ассоциаттар** пайда болады, ал бұл ассоциаттар жылу қозғалысының нәтижесінде қайтымды бұзыла алады. Сөйтіп, шын ерітіндіде қайтымды процестер болуы мүмкін. Сондықтан шын ерітіндіні қыздыруға, суытуға, сұйылтуға, концентрлеуге болады, бірақ белгілі бір температура мен қысымда ерітіндінің концентрациясы, қасиеттері және құрылымы өзгермейді (ерітіндіні дайындау әдісіне тәуелсіз). Осындай тепе-теңдік жағдайды шын ерітінді жағдайы дейді.

- ▶ **Шын ерітінділер** – полимер макромолекулярлық деңгейге дейін бөлініп, қасиеттері уақыттың ұзақтығынан өзгермейтін бір фазалы ерітінділер.
- ▶ Ал коллойдты жүйелердің қасиеті мен құрылымы дайындау әдісіне тәуелді болады, оларда агрегаттық өзгеріс болып тұрады, соның салдарынан жүйе екі фазаға бөлінеді. Қандай да болмасын полимерден әрі шын ерітінді, әрі коллойдты жүйе алуға болады. Мысалы, полистирол бензолда, яғни алифатикалық еріткіштерде өздігінен ериді, бұл шын ерітінді, ал осы полимерлер суда немесе метанолда коллойдты жүйе береді.
- ▶ **Коллоидты ерітінділерге** уақыт өткен сайын біртіндеп екі фазаға бөлінетін, тұрақсыз жүйелер жатады. Коллойдты ерітінділер түзетін компоненттер өздігінен әрекеттеспейді. Полимерді еріту үшін механикалық немесе басқа энергия жұмсап, мәжбүр ету қажет.



- ▶ Полимер мен еріткіштің молекулалары бір-біріне жанасқанда сұйықтың молекуласы полимер фазасының ішіне жылдам кіреді, ал макромолекула еріткіштің фазасына еніп үлгермейді. Сондықтан ерімей тұрып полимер ісінеді.
- ▶ **Ісіну** – полимердің төмен молекулалық сұйықты сіңіру немесе сору процесі. Ісінгенде полимердің құрылымы өзгереді, массасы мен көлемі өседі.
- ▶ Полимер молекуласы мен еріткіш молекулаларының арасында әрекеттесу болады, оны **сольваттау** деп атайды. Еріткіш буылып-түйілу тығыздығы бастау макромолекулаға тез енеді.



- Шекті (1); шексіз (2) ісіну; Q – ісіну дәрежесі; τ – уақыт
- Ісіну процесін көптеген көрсеткіштермен сипаттайды. Мысалы, ісіну дәрежесі, ісіну жылдамдығы, ісіну қысымы және т.б.
- **Ісіну дәрежесі** – белгілі бір жағдайда ісінген полимердің массасының (Q_m) не көлемінің (Q_v) өсуін айтады.

$$Q_m = \frac{m_i - m_0}{m_0} 100\% \quad Q_v = \frac{V_i - V_0}{V_0} 100\%$$

m_0 , m_i – полимердің стандартты үлгісінің ісінуден кейінгі және бастапқы массасы.

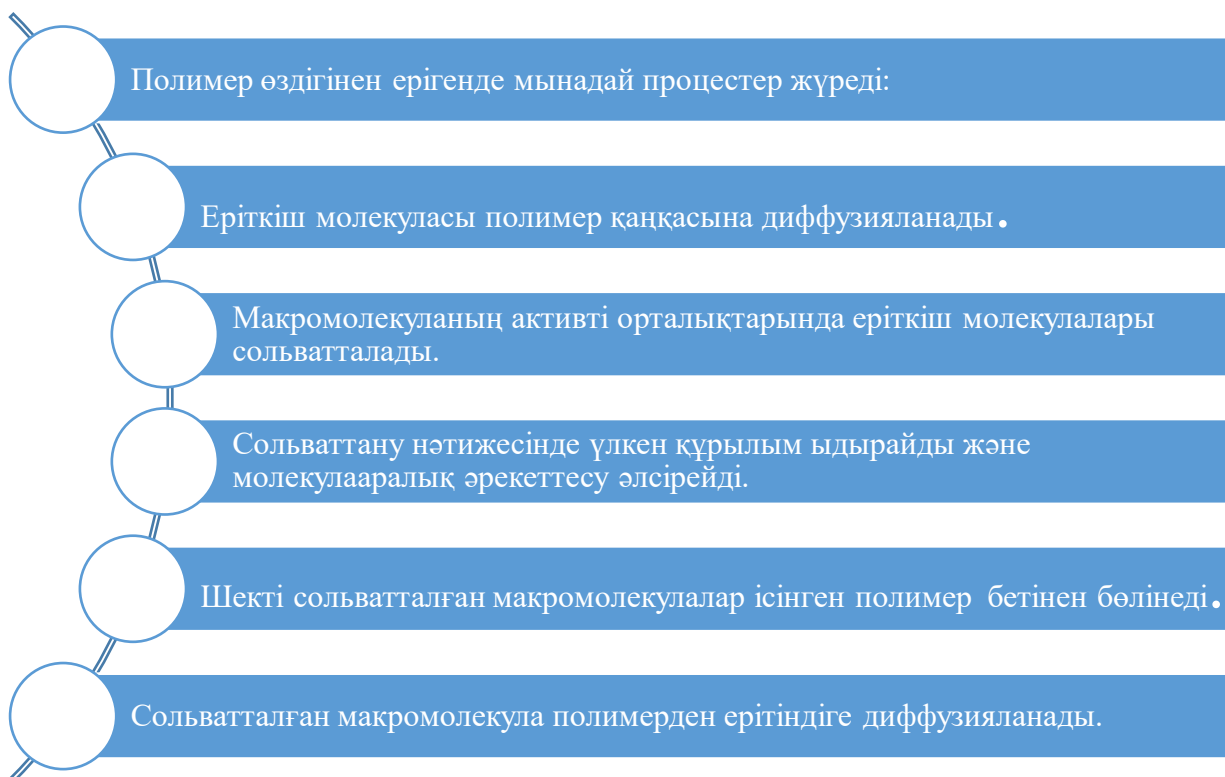
V_i , V_0 – полимердің стандартты үлгісінің ісінуден кейінгі және бастапқы көлемі.

Полимердің еру немесе ісіну
қабілеті мынадай
факторлармен анықталады:

- Полимер мен төмен молекулалық сұйықтық табиғаты;
- Макромолекула тізбегінің жылжымалылығы мен иілгіштігі;
- Полимердің молекулалық массасы мен полимерлену дәрежесі;
- Полимердің молекуладан ірі құрылымы;
- Макромолекулада көлденең химиялық байланыстың болуы;
- Жүйенің температурасы және компоненттердің концентрациясы.

Еру термодинамикасы

- Термодинамикалық тұрақты, гомогенді жүйе түзетін өздігінен жүретін процесті **еру** дейді.



- Ерудің міндетті шарты – компоненттерді араластырғанда бос энергияның азаюы.

- Полимерді ерітуде ерекшелік – **энтропия рөлінің жоғары** болуы, себебі полимер ертіндіні сіңіргенде макромолекула конформациясының өзгеру ықтималдылығы артады. Энтропияның өзгеруі Флори-Хаггинс теңдеуімен анықталады:

$$\Delta S = -R(n_1 \ln \phi_1 + n_2 \ln \phi_2)$$

мұндағы R – универсал газ тұрақтысы; n_1, n_2 – компоненттердің мольдер саны; ϕ_1, ϕ_2 – олардың көлемдік үлесі.

- **Полимер мен еріткіштің термодинамикалық ынтықтығы**
- Еру (ісіну) процесі компоненттер бір-бірімен араласқанда ғана жүреді, яғни олардың арасында **термодинамикалық ынтықтық** болуына байланысты.
- Еріткіштердің полимерге деген термодинамикалық ынтықтығының дәрежесіне қарай олар полимерлермен термодинамикалық **сыйысатындар және сыйыспайтындар** болып бөлінеді.
- Компоненттердің термодинамикалық ынтықтығының сандық мөлшерін олардың химиялық потенциалдарының бір-бірімен әрекеттескенде азаюынан анықтауға болады. Химиялық потенциал мынаған тең:

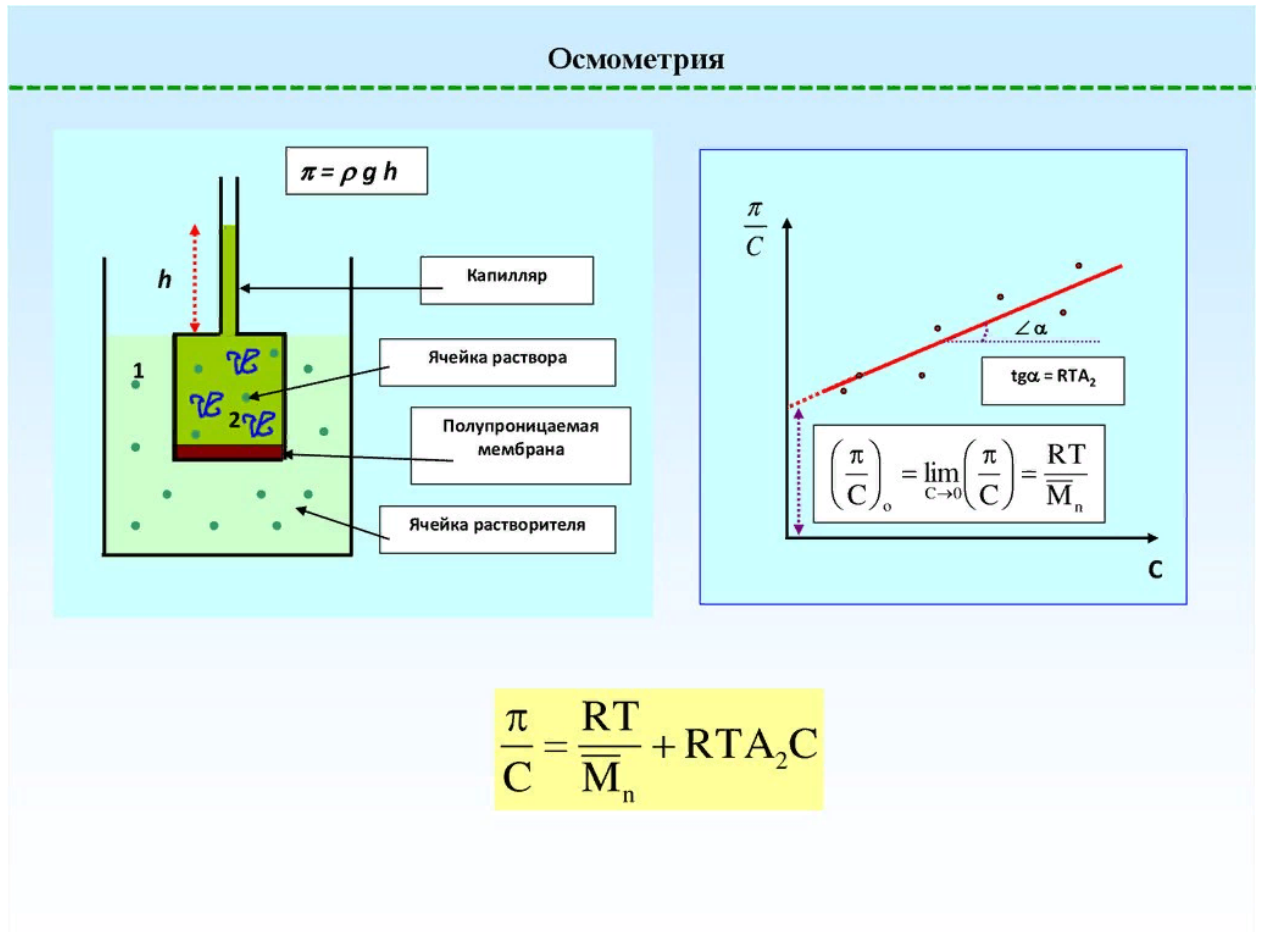
$$\mu_i = \left(\frac{dG}{dn_i} \right)_{p, T, \eta}$$

яғни химиялық потенциал тұрақты, қысым мен температура тұрақты.

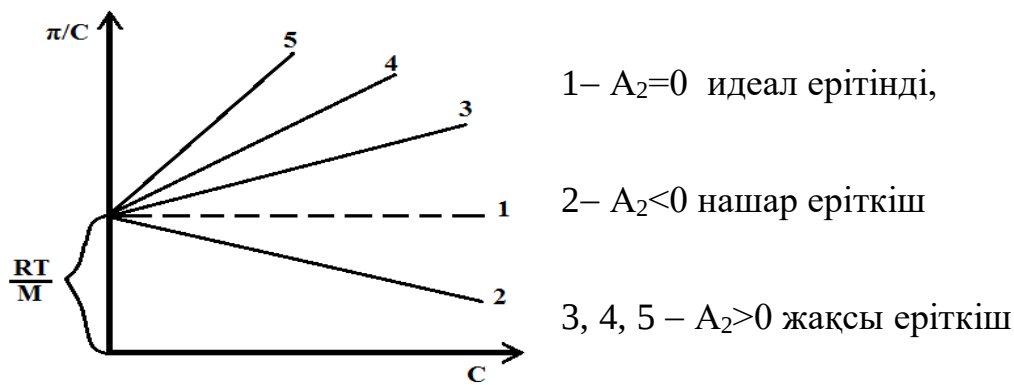
μ_i - тұрақты компонентінің өте аз мөлшерін қосқанда ерітіндінің еркін бос энергиясының өзгеруі не өсуі химиялық потенциал болып табылады.

- **Осмостық қысым**
- Төменгі молекулалық сұйылтылған қосылыстар үшін осмостық қысым Вант-Гофф заңына бағынады. $\pi = cRT$
- c – концентрация, R – универсал газ тұрақтысы, T – температура.
- Полимерлер ерітіндісінің осмос қысымы Вант-Гофф заңына бағынбайды, ол макромолекуланың иілгіштігіне тәуелді. Иілгіштік неғұрлым жоғары болса, осмос қысымы да жоғары болады.
- Осмостық қысымының полимер концентрациясына тәуелділігі Ван-дер-Ваальс теңдігімен көрсетіледі: $\pi = RT(A_1 C + A_2 C^2 + A_3 C^3 + \dots)$

- Немесе $\frac{\pi}{C} = RT(A_1 + A_2 C^1 + A_3 C^2 + \dots)$
- C – полимердің ерітіндідегі концентрациясы, $A_1, A_2, A_3 \dots$ – I, II, III вириал коэффициенттері, олар еріген зат молекулаларының формалары мен өлшемдеріне және олардың арасындағы әрекеттесуші күштерге тәуелді.



- Коэффициент мәнін $\frac{\pi}{C} = f(C)$ эксперименталды тәуелділіктен есептеуге болады.
 - Бірінші вириал A коэффициенті полимердің молекулалық массасына $A_1 = 1/M$ тікелей қатынасымен байланысқан. Үшінші және одан кейінгі мүшелері нәтижеге көп бөлінбейді, сондықтан жоғарыдағы теңдеуді былай жазуға болады:
- $$\frac{\pi}{C} = RT\left(\frac{1}{M} + A_2 C\right)$$
- Бір полимердің әртүрлі еріткіштердегі ерітіндісі үшін $\pi/C = f(C)$ тәуелділік желпігіш сияқты қисықтар құрайды



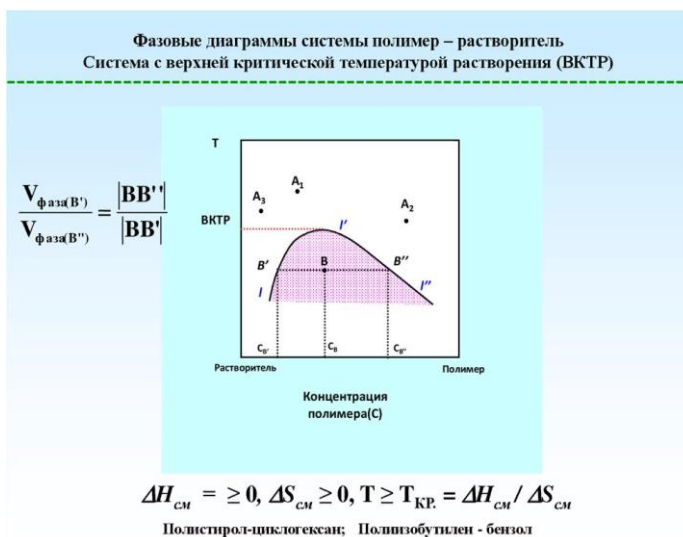
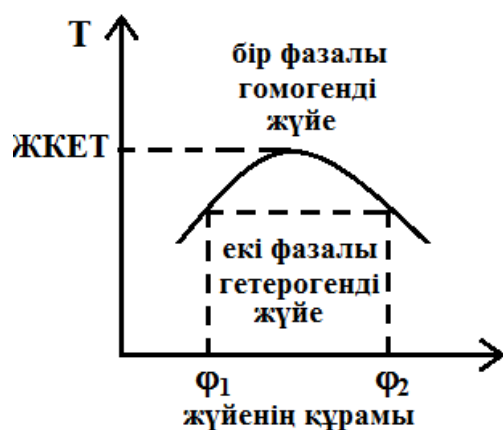
► **Полимер-еріткіш жүйесіндегі фазалық тепе-теңдік**

- Жүйенің тұрақтылығы компоненттердің термодинамикалық дәрежесімен анықталады және олардың химиялық құрамы мен құрылымына, сыртқы жағдайларға тәуелді. Көп фазалы көп компонентті жүйенің негізгі тепе-теңдік заңы Гиббстің фазалар ережесі болып табылады.

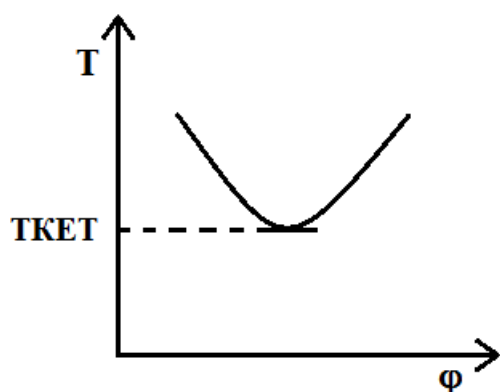
$$C = K - \Phi + 2$$

C – жүйенің еркіндік дәрежесі, K – компоненттер саны, Φ – фазалар саны, 2 – қысым (P) және температура (T).

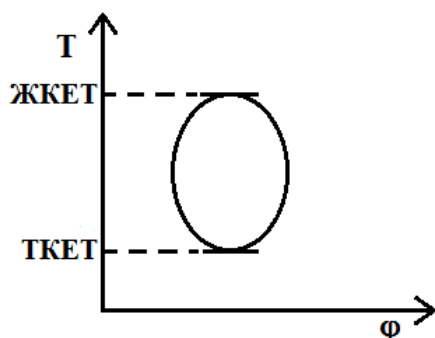
- Жіктелу басталған температура **фазамен жіктелу немесе фазалық ыдырау (T_f)** температурасы деп аталады. Әртүрлі концентрациялы ерітінділерде өзіне тән T_f болады және оның ерітінді құрамына тәуелділігі өзара араласу қисығымен белгіленеді. Ол қисық бір фазалы ерітіндіні екі фазалылардан бөліп тұрады. Фазалар диаграммасы деп T мен жүйенің құрамы арасындағы тәуелділікті график түрінде бейнелеуін айтады. Ол диаграммалардың бірнеше түрі болады.
- а) **Жоғары критикалық еру температура (ЖКЕТ)** (мысалы целлюлазы ацетаты мен хлороформ полиизобутилен-бензол, полистирол-циклогексан)



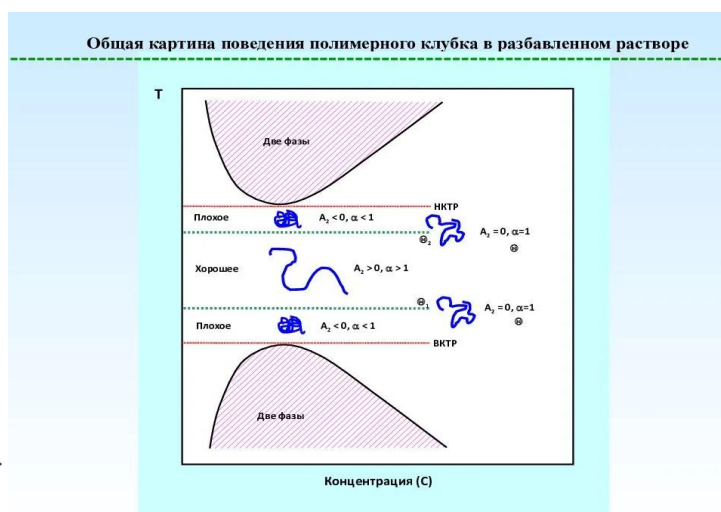
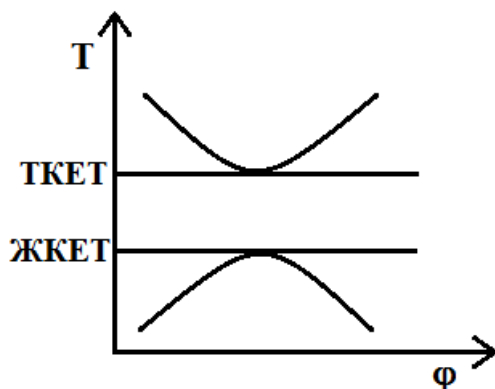
- ә) Төменгі критикалық еру температурасы (ТКЕТ)
(полиэтиленоксид-су, метилцеллюлоза-су)



- б) Тұйық ерігіштік қисықтар полипропиленоксид-су, ТКЕТ < ЖКЕТ, ТКЕТ еріткіштің қайнау температурасы төмен



в) $ТКЕТ > ЖКЕТ$. Химиялық құрылымы жағынан бір-біріне жақын, бірақ өлшемі жөнінен көп айырмашылығы бар жүйелерге тән. Полиэтилен-алкан, полистирол-циклогексан



► **Полимердің сұйылтылған ерітіндісі**

► Полимерді еріткішке қосқанда системаның тұтқырлығы күрт жоғарылайды. Мұндай ерітіндінің тұтқырлық коэффициенті капиллярлы түтікті **вискозиметрде** анықталады. Орташа молекулалық массаны анықтау үшін тұтқырлық коэффициенті **салыстырмалы**

$$\eta_{\text{сал}} = \frac{\eta_{\text{ерітінді}}}{\eta_{\text{еріткіш}}} = \frac{\tau_{\text{ерім}}}{\tau_0}$$

тұтқырлық деген мәнін қолданады.

► мұндағы τ , τ_0 – ерітінді мен еріткіштің түтіктен ағып өтетін уақыты

$$\eta_{\text{мен}} = \frac{\eta_{\text{ерітінді}} - \eta_0}{\eta_0}$$

- мұндағы η_0 – еріткіштің тұтқырлығы, $\eta_{\text{мен.}}$ – *меншікті тұтқырлық*, осы тұтқырлықтың концентрацияға қатынасын *келтірілген тұтқырлық* дейді

$$\eta_{\text{келт}} = \frac{\eta_{\text{мен}}}{c}$$

c Концентрация өскен сайын осы тұтқырлықтың бәрі өседі.

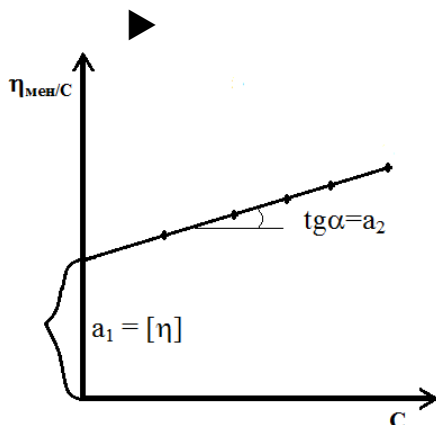
$$\frac{\eta_{\text{мен}}}{c} = f(c)$$

қатынасы сұйылтылған ерітінділерде түзу сызықпен көрсетіліп, мына теңдікпен өрнектеледі:

$$\frac{\eta_{\text{мен}}}{c} = a_1 + a_2 c$$

a_1 – түзумен ордината өсінің қиылған кесіндісі, a_2 – түзудің еңкею бұрышының тангенсі.

- Еріткіштің қасиетін Хаггинс константасы анықтайды. $\text{tg}\alpha = a_2$. Нашар еріткіш үшін $a_2 = 0,7-0,8$, ал жақсы еріткіш үшін $a_2 = 0,1-0,3$.



Егер $c \rightarrow 0$, онда $a_1 = [\lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{\text{мен}}}{c}]$ – бұл сипаттамалық тұтқырлық.

$$\eta] = [\lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{\text{мен}}}{c}]$$

- **Сипаттамалық тұтқырлықты** ($[\eta]$) сұйытылған ерітінділердің бірнеше концентрациясының салыстырмалы тұтқырлығынан анықтайды. Содан кейін меншікті және келтірілген тұтқырлықты есептеп график құрады. Түзудің еңкею бұрышының тангенсі сипаттамалық тұтқырлықтың квадратын көрсетеді.

$$\frac{\eta_{\text{мен}}}{c} = [\eta] = k' [\eta]^2 c$$

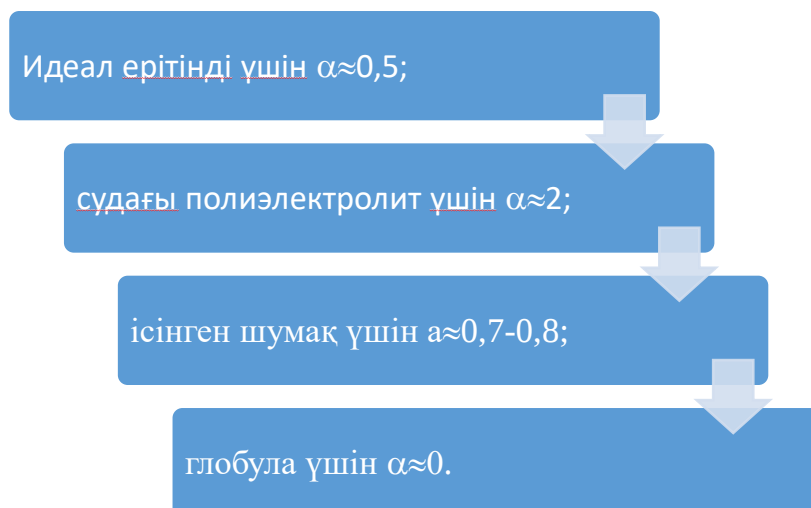
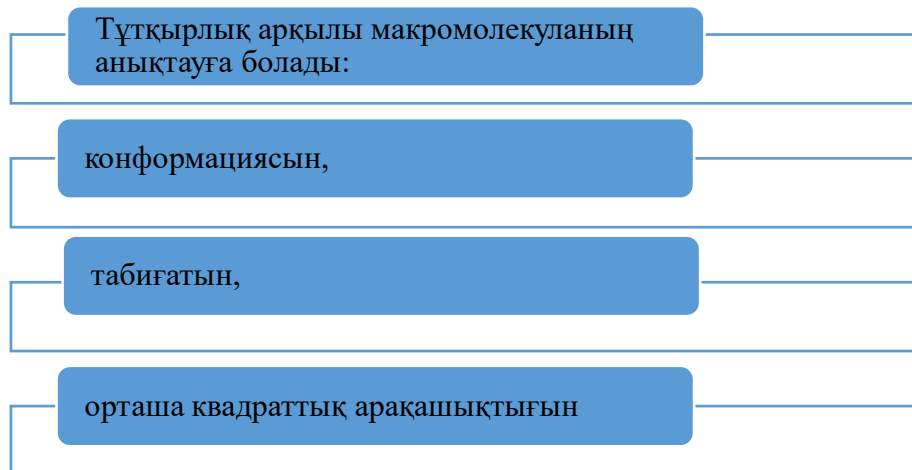
- k' – полимер мен еріткіштің әсерлесуін көрсететін тұрақты.
- Оны Хаггинстің вискозиметрлік тұрақтысы дейді.
- Бұл теңдеу Хаггинс теңдеуі деп аталады.

$$\frac{\eta_{\text{мен}}}{c} = [\eta](1 + kc[\eta] + k^2 c^2 [\eta]^2 + \dots)$$

Сипаттамалық тұтқырлық ($[\eta]$) пен полимердің молекулалық массасының арасында мынадай тәуелділік болады: $[\eta] = kM^\alpha$

Мұны *Марк-Хаувинк-Кун* теңдеуі деп атайды.

Мұндағы k тұрақтысы – еріткіштің қасиетіне тәуелді константа, α макромолекуланың ерітіндідегі конформациясымен анықталатын тұрақты $0 < \alpha < 2$ арасында болады.



► *Полиэлектролиттер ерітіндісі*

Полиэлектролиттер деп макромолекуласында иондарға диссоциацияланатын **ионогенді тобы** бар жоғары молекулалық қосылыстарды айтады.

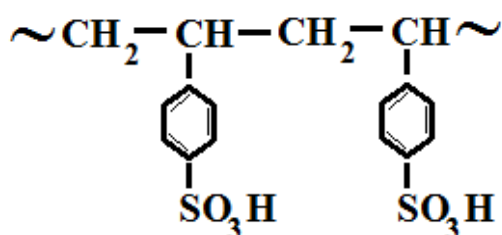
Полиэлектролиттер табиғатта да кездеседі (белок – тізбегі шамамен 20 шақты амин қышқылдарының түрлерінен құралған және тізбегінде полипептид $-\text{CO}-\text{NH}-$ тобы бар).

- Полипептид тізбегіндегі орынбасарлар **қышқылдық және негіздік қасиет** көрсетеді. Сондықтан белок *полиамфолит* болып есептелінеді.

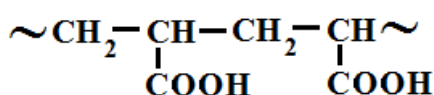
Ионогендік топтардың табиғатына және диссоциациялану дәрежесіне байланысты полиқышқылдар және полинегіздер бөлінеді:

күшті

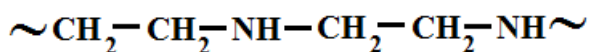
әлсіз



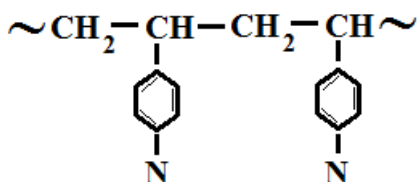
полистирол сульфоқышқылы
(күшті қышқыл)



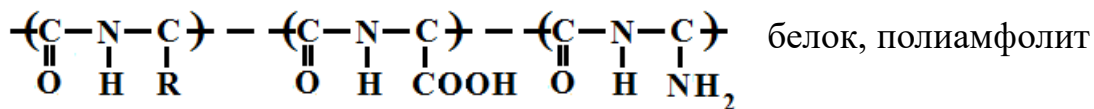
полиакрил қышқылы
(әлсіз қышқыл)



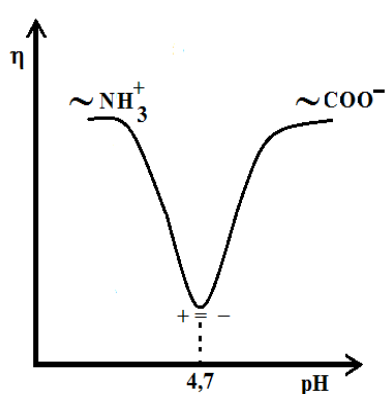
полиэтиленимин
(әлсіз негіз)



полиэтиленпиридин
(күшті негіз)



- Желатина (белок) ерітінділерінің тұтқырлығының рН орталыққа тәуелділігі.



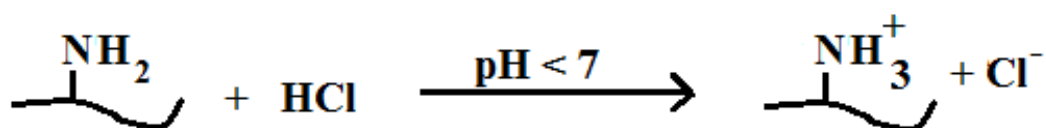
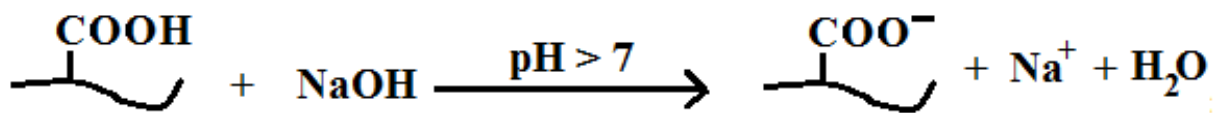
pH=4,7 ерітіндінің тұтқырлығы ең минималды мәнінде болады. Оны *изоэлектрлік нүкте* (pH_и) деп атайды.

Изоэлектрлік нүктеде

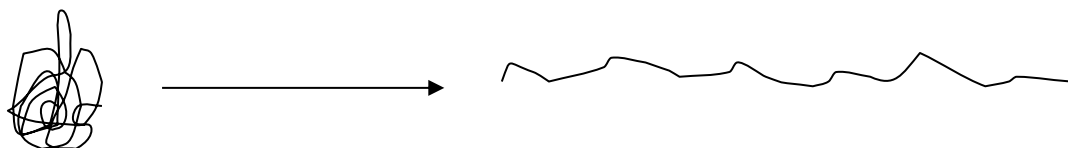
диссоциаланған қышқылдық және негіздік топтардың саны **тең және минималды**

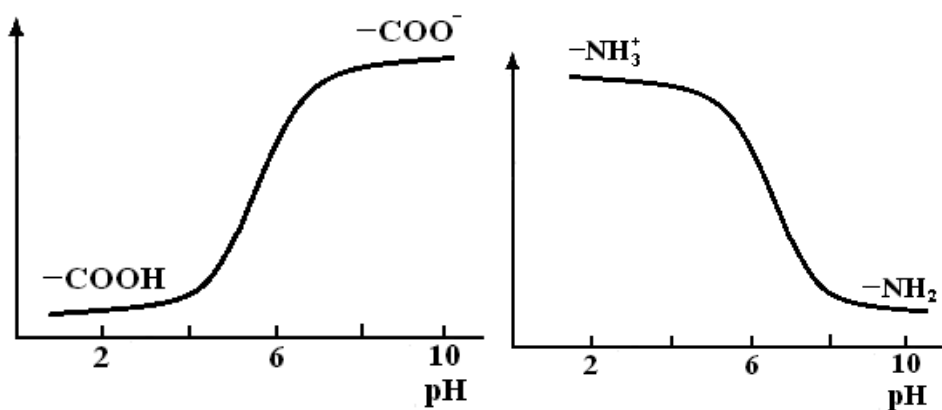
бұл жағдайда полимер тізбегі жұмырланып, **кішірейді.**

Егер осы ерітіндіге төмен молекулалық электролиттерді (қышқыл немесе негіз) қосса, pH жылжиды, желатиннің диссоциалану дәрежесі өседі.



Екі жағдайда да макромолекула конформациялық өзгеріске ұшырайды, яғни тығыз шумақтан жазылған шумаққа айналады

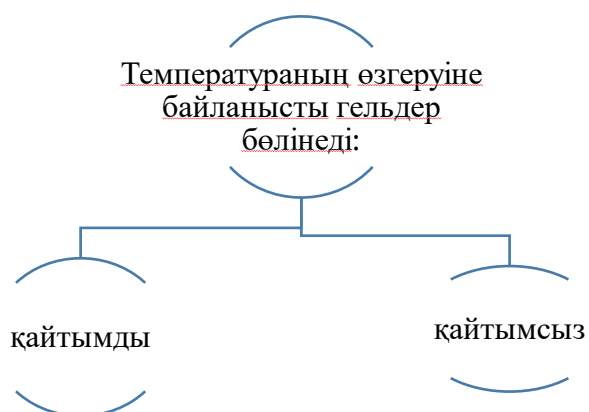




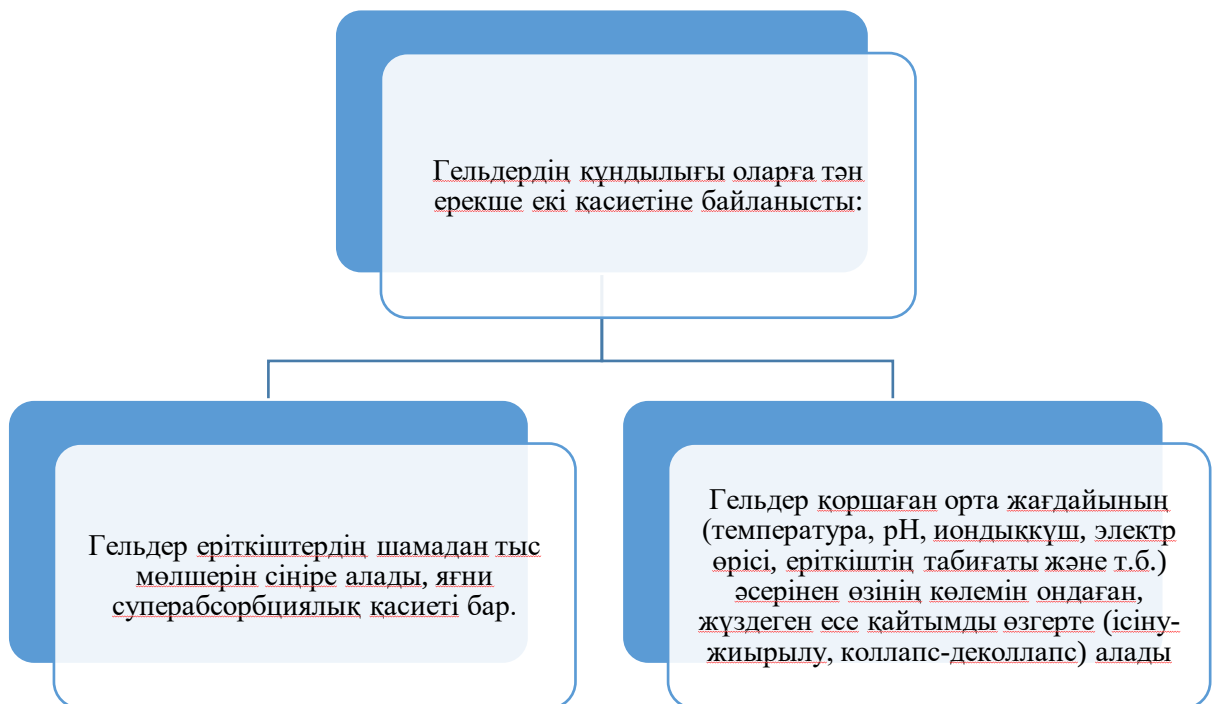
► Полимерлік гидрогельдер

Полимерлік **гельдер** деп макромолекулалардың өзара байланысынан түзілген, үш өлшемді аса бағалы қасиеттерге ие жоғары молекулалық қосылыстарды айтады.

Ерітіндіден айырмашылығы гель ақпайды, себебі молекулалар арасында



Суда ісінетін гельдер – гидрогельдер деп аталады



- ▶ Полимерлік гельдердің ісінуге әсер ететін параметрлері:
- ▶ 1. Макромолекуланың табиғаты, яғни суға ынтықтығы.
- ▶ 2. Гельдің тігілу дәрежесі. Қазіргі кезде 50-400 мономерлік буынға бір көлденең тігіс келетін сирек тігілген гельдердің маңызы артуда. Өйткені мұндай гельдердің ісінгіштік дәрежесі үлкен. Тігілу дәрежесі артқан сайын ісінгіштік кемиді.
- ▶ 3. Функционалдық топтың полярлығы, яғни полиэлектролиттің күші.
- ▶ 4. Функционалдық (ионогендік) топтың үлесі және иондану дәрежесі.
- ▶ 5. Қоршаған ортаның жағдайы (температура, қысым, рН және ерітіндінің иондық күші).
- ▶ **Полимерлік гидрогельдерді алудың негізгі әдістері**
- ▶ 1. Гидрофильді мономерлерді (мысалы: акриламидті, гидроксипалкиметакрилаттарды, акрил қышқылы және оның тұздарын, N-винилпирролидон және т.б.) түзуші агенттермен (этиленгликольдиметакрилат, N, N'-метилен-бисакриламид) радикалдық полимерлеу.
- ▶ 2. Гидрофильді олигомерлерді (мысалы: олигоэтиленгликольдер) немесе полимерлерді торлы полимерлер синтездеу әдістерін қолданып тігу.

- ▶ 3. Жоғарыда келтірілген мономерлерді табиғи полимерлерге (целлюлоза және оның эфирлері, декстран, желатин) жалғау.
- ▶ 4. Полимерлердің химиялық реакциялары арқылы, мысалы, торланған немесе жалғанған полиакрилонитрилды гидролиздеу.
- ▶ **Қорытынды:**
- ▶ Полимер ерітінділері – жоғары молекулалы қосылыстардың еріткіштермен әрекеттесу нәтижесінде түзілетін, ерекше физика-химиялық жүйелер. Мұндай ерітінділерде полимер молекулаларының үлкен өлшемі мен иілгіштігі олардың қасиеттерін кәдімгі төмен молекулалы ерітінділерден айтарлықтай өзгешелендіреді. Ерітінділердің тұтқырлығы, осмостық қысымы және ісіну дәрежесі полимердің молекулалық массасына және еріткішпен өзара әрекеттесу дәрежесіне тәуелді.
- ▶ Гидрогельдер – суды көп мөлшерде сіңіріп, көлемін өзгерте алатын, кеңістіктік торлы құрылымға ие полимер жүйелері. Олар химиялық немесе физикалық жолмен тігілген полимер тізбектерінен тұрады. Гидрогельдердің ісіну қабілеті мен серпімділігі функционалдық топтардың табиғатына, тігілудің тығыздығына және сыртқы факторларға (рН, температура, иондық күш) байланысты.
- ▶ Гидрогельдер медицинада (жара таңғыштар, дәрілік заттарды жеткізу жүйелері), ауыл шаруашылығында (топырақ ылғалын сақтау, тұқым түйіршіктеу), экологияда (суды тазалау, ауыр металл иондарын сіңіру) және басқа да салаларда кеңінен қолданылады.
- ▶ Осылайша, полимер ерітінділері мен гидрогельдер – жоғары молекулалы қосылыстардың маңызды түрлері, олардың құрылымы мен қасиеттерін зерттеу жаңа функционалды материалдар жасаудың ғылыми негізін қалайды.

Өз-өзі бақылау сұрақтары:

1. Полимер ерітінділері дегеніміз не және олар неліктен ерекше жүйелерге жатады?
2. Полимер мен еріткіштің өзара әрекеттесуінің термодинамикалық шарты қандай?
3. Ісіну процесі қалай жүреді және оның негізгі сипаттамалары қандай?
4. Полимер ерітінділерінің физика-химиялық қасиеттеріне қандай факторлар әсер етеді?
5. Гидрогель дегеніміз не және ол қалай түзіледі?

6. Гидрогельдердің физикалық және химиялық тігілудің айырмашылығы неде?
7. Гидрогельдердің ісіну қабілетіне қандай факторлар әсер етеді?
8. Гидрогельдердің практикалық қолданылу салаларын атаңыз.
9. Осмостық қысым мен тұтқырлық қандай заңдармен сипатталады?
10. Полимер ерітінділерін зерттеу не үшін маңызды?