

КУРТА С.А. ХІМІЯ ВИСОКОМОЛЕКУЛЯРНИХ СПОЛУК

Лекція №4

Тема 4. Аніонна та катіонна полімеризація ненасичених мономерів.

Мета: представити сучасні теорії хімічної будови високомолекулярних органічних отриманий методами аніонної та катіонної полімеризації. Вивчити їх реакційної здатності, промислових і лабораторних методів синтезу і властивостей основних класів катіонних та аніонних ВМС, їх взаємних перетворень і використання, найважливіших представників в галузях науки і техніки, і в побуті;

План:

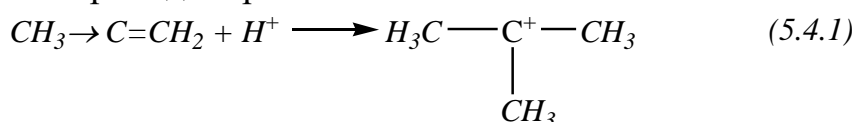
- Аніонна полімеризація вінільних мономерів. Каталізатори і сокаталізатори. Ріст і обмеження ланцюгів при катіонній полімеризації.
- Механізм та кінетика аніонної полімеризації.
- Катіонна полімеризація вінільних мономерів. Каталізатори аніонної полімеризації. Ініціювання, ріст і обмеження ланцюгів при аніонній полімеризації.
- Механізм та кінетика катіонної полімеризації.

Зміст лекції

Розділ 4. Аніонна та катіонна полімеризація ненавичених мономерів.

4.1. Катіонна полімеризація

Здатність до катіонної полімеризації мають мономер з електронодонорними замісниками



Крім протонів, каталізаторами катіонної полімеризації можуть бути кислоти й галогеніди бору, алюмінію, титану, олова, тобто речовини, що є сильними акцепторами електронів.

Каталізатор має першочергове значення. Наприклад, ізобутилен у присутності BF_3 протікає з вибухом навіть за низьких температур і закінчується за декілька секунд, у разі використання $AlBr_3$ – за декілька хвилин, а $TiCl_4$ – годинами.

Існує ряд закономірностей, що відрізняють катіонну полімеризацію від радикальної:

- Мм зменшується за наявності в реакційному середовищі невеликих добавок H_2O та інших речовин, здатних іонізуватися;

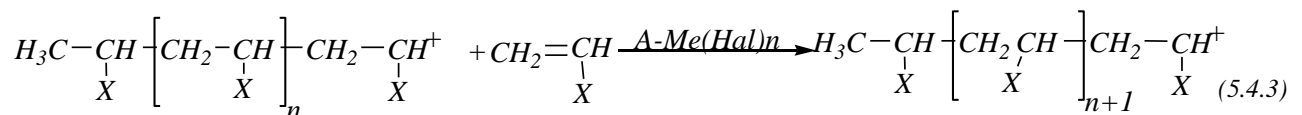
- полімеризація значно прискорюється в разі застосування разом із каталізатором невеликих кількостей води, кислот та інших донорів протонів (співкаталізаторів);
- на реакцію суттєво впливає діелектрична постійна середовища;
- енергія активації катіонної полімеризації завжди менша (15 ккал/моль) і є нижчою, ніж за радикальної. Тому катіонна полімеризація проходить з дуже великою швидкістю.

Катіонна полімеризація починається з того, що каталізатор $MeHal_n$, реагуючи зі співкаталізатором HA , утворює комплексну сполуку, яка є сильною кислотою.

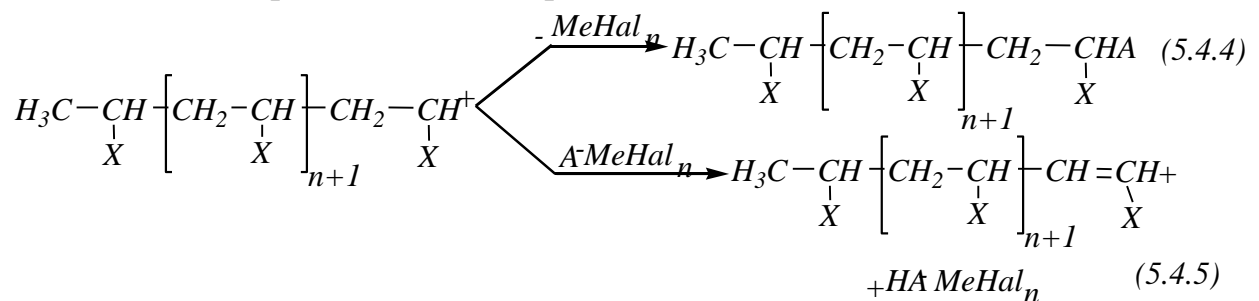
1. Ініціювання (каталіз) полягає в приєднанні протона цієї комплексної кислоти до молекули мономера $CH_2=CHX$



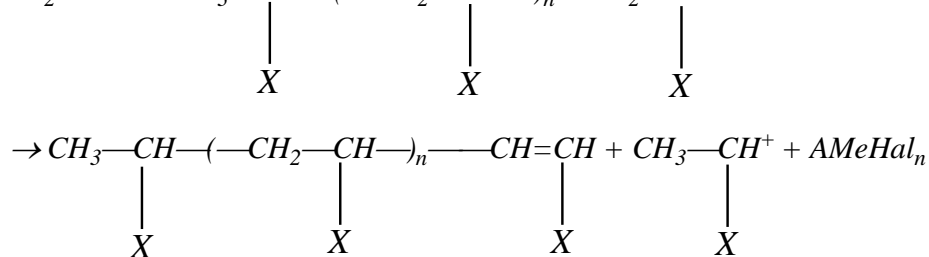
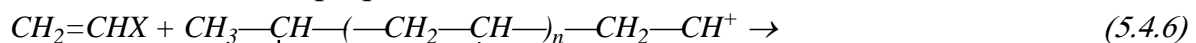
2. Ріст ланцюга. Кожний акт подальшого приєднання мономера до іона карбонію під час росту ланцюга супроводжується переміщенням позитивного заряду на кінець ланцюга з утворенням нового іона, у полі якого міститься протиіон:

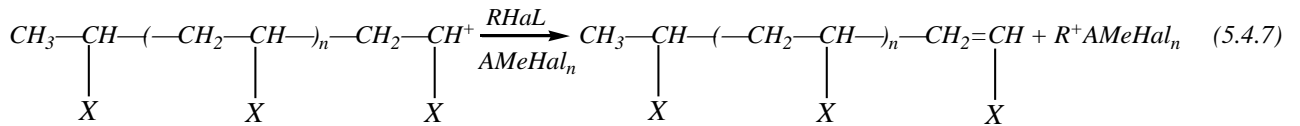


3. Обрив ланцюга. Ріст ланцюга припиняється внаслідок відщеплення (регенерації) комплексної кислоти від макроіона й перетворення його в неактивний незаряджений полімер:

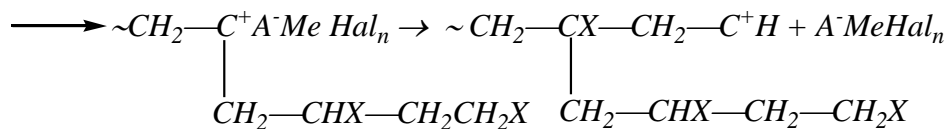
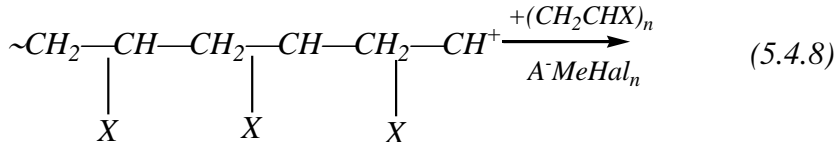


Унаслідок того, що однаково заряджені макроіони взаємно відштовхуються, обрив ланцюга шляхом рекомбінації неможливий. Під час катіонної полімеризації, як і під час радикальної, існує передача ланцюга на мономер і розчинник.





Регенований каталізатор може реагувати з неактивною макромолекулою, тобто процес зворотний. Передача ланцюга на полімер також можлива й призводить до утворення розгалужених полімерів:



Високу швидкість катіонної полімеризації за низьких температур пояснюють високою концентрацією активних центрів ($\approx 10^{-3}$ моль/л), що зв'язано з миттєвим ініціюванням і відносно повільним обривом ланцюга. Концентрація активних центрів під час радикальної полімеризації менша на 5 порядків.

Катіонну полімеризацію зупиняють (гальмують) за допомогою речовин, що є основами, які нейтралізують компоненти кислоти або взаємодіють з карбоній-іоном:



Полімери, одержані катіонною полімеризацією, вирізняються високою регулярністю, через те, що молекули весь час приєднуються одним кінцем одна до одної (голова до хвоста). Катіонну полімеризацію здійснюють за понижених температур 0°C (-5°C ÷ -70°C). У результаті низької температури полімери мають збільшену молекулярну масу і макромолекули майже не містять розгалужень.

Полімеризацію, як правило, проводять у середовищі з низькою електричною постійною (вуглеводні). Тому аніон каталізатора не віддаляється на значну віддаль від макроіона. Протион (аніон) впливає на реакцію росту й обриву ланцюга. У цьому відношенні катіонна полімеризація відрізняється від радикальної, в якій R^\bullet , що виникли в результаті розкладу ініціатора, впливають тільки на стадію зародження ланцюга (ініціювання).

Швидкість елементарних реакцій полімеризації, в найпростішому випадку, описується такими рівняннями:

$$V_k = k_k [\text{M}] [\text{кат}] \text{ -- швидкість каталізу,}$$

$$V_p = k_p [\text{M}] [\text{M}^+] \text{ -- швидкість росту,}$$

$$V_0 = [\text{M}^+] \text{ -- швидкість обриву,}$$

де $[\text{M}^+]$ – концентрація карбонієвих макроіонів.

$$\bar{x} = V_p/V_0 = \frac{k_p[\text{M}][\text{M}^+]}{k_0[\text{M}^+]} = k_p/k_0 * [\text{M}]$$

$$\bar{x} = k' [M],$$

де \bar{x} - середній ступінь полімеризації, прямо пропорційний швидкості росту і обернено – швидкості обриву.

З іншого боку, загальна швидкість полімеризації дорівнює добутку швидкості каталізу на \bar{x} : $V = V_k \bar{x} = k' k_k [M]^2 [\text{кат}]$.

4.2. Аніонна полімеризація

Здатність до аніонної полімеризації виявляють мономерні з електроноакцепторними замісниками, які поляризують подвійний зв'язок:



Каталізаторами служать речовини, що є донорами електронів: основи, лужні метали, їх гідриди, аміді, металоорганічні сполуки.

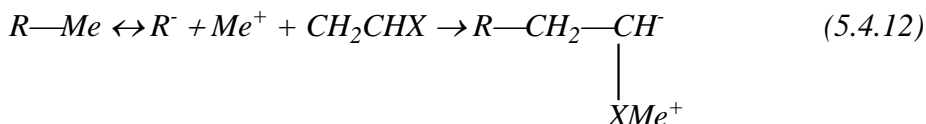
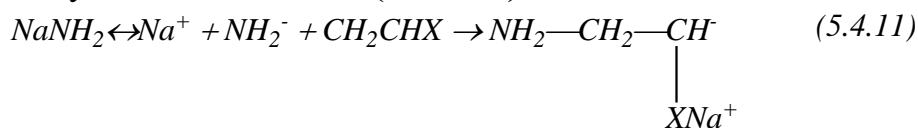
При цьому розрізняють:

1) взаємодію мономера з “вільним” аніоном (реакція аміді натрію в середовищі рідкого аміаку): $A^- + M \rightarrow A-M^-$;

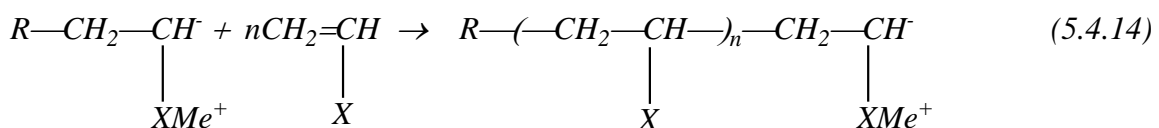
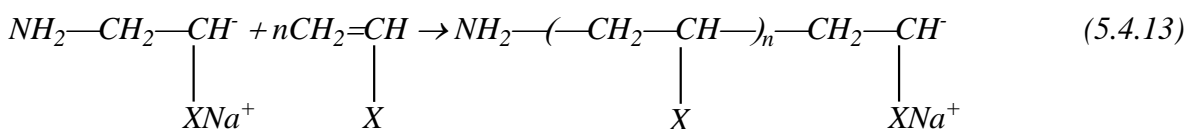
2) з полярними речовинами основного характеру (металоорганічні сполуки): $R^- Me^+ + M \rightarrow R-M^- Me^+$;

3) взаємодія з переносом електрона від каталізатора до мономера (взаємодія з лужними металами): $Me + M \rightarrow Me^- M^+$.

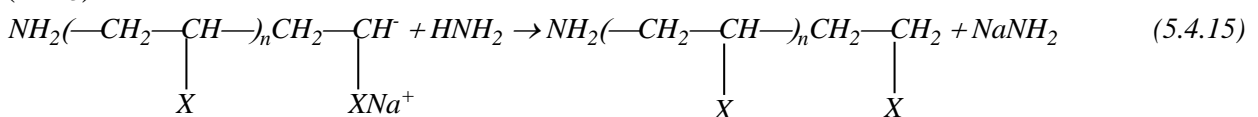
Механізм аніонних процесів у присутності $NaNH_2$ або металоорганічних сполук: **1. Ініціювання (каталіз)** :



2. Ріст ланцюга:



3. Припинення росту (обрив) ланцюга – шляхом передачі на розчинник (NH_3):



Часто аніонна полімеризація проходить в умовах, де відсутні реакції обриву ланцюга й ріст проходить до повного вичерпування, зникнення мономера. Аніонні центри залишаються незмінними, тому що переміщення протона (або іншої позитивної частинки) від розчинника відсутнє. Тому такі

полімерні аніони називають “живучими” полімерами. Живучі полімери утворюються в результаті використання розчинників (тетрагідрофуран, діоксан, 1,2-диметоксіетан), нездатних обривати зростаючий аніон у результаті передачі ланцюга.

Додавання, після 100% конверсії, нової порції мономера до “живучих” полімерів викликає додаткову полімеризацію. ММ у такому разі зростає, тому що число полімерних молекул не змінюється.

У разі обриву ланцюга швидкість реакції описують рівняннями, як і для катіонної полімеризації:

$$V_i = k_i [M] [\text{кат}]$$

$$V_p = k_p [M] [M^-]$$

$$V_0 = [M^-] [S]$$

$$\text{ступінь полімеризації} - \bar{x} = V_p/V_0 = k_p/k_o * [M]/ [S]$$

$$\text{швидкість полімеризації} - V = V_i \bar{x} = \frac{k_i k_p}{k_o} \frac{[M]^2 [kat]}{[S]}$$

де [S] – концентрація розчинника.

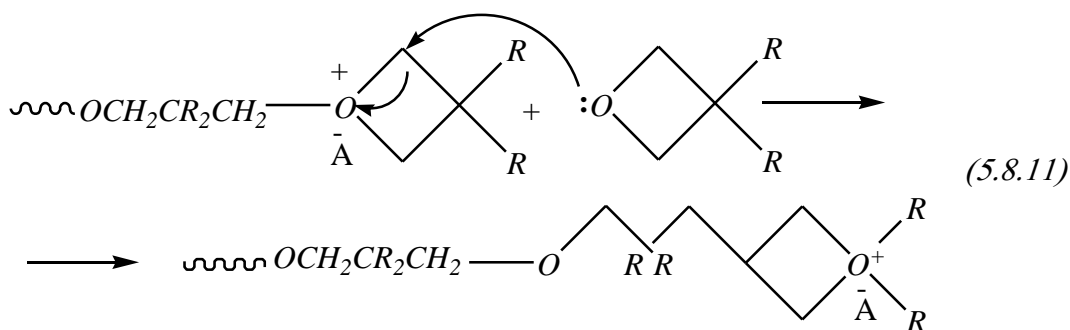
Метод полімеризації з утворенням “живучих” полімерів є унікальним способом синтезу стандартних полімерних зразків заданої ММ і ступеня полімеризації.

Хоча в результаті такої полімеризації не повинен проходити обрив ланцюга, присутність найменшої кількості домішок і забруднень може змінити цей стан. Треба застосовувати спеціальні методи для очистки від O₂, CO₂, CO. O₂ і CO₂ приєднуються до макроаніонів, утворюючи перокси- й карбоксианіони. Ці аніони недостатньо активні, і ланцюг обривається. Вода реагує з переносом протона H⁺.

На практиці живучі кінці полімерів за бажанням (як правило, коли S=100%) обривають додаванням такого агента переносу, як вода. Величезна швидкість протікання аніонних реакцій полімеризації порівняно з радикальною полімеризацією, як і в разі катіонної полімеризації, пояснюється різницею в концентраціях ростучих аніонів і радикалів на 5–6 порядків. Для радикальної полімеризації [R•] = 10⁻⁹ – 10⁻⁷ моль/л. Для аніонної полімеризації [M⁻] = 10⁻³ – 10⁻² моль/л.[5]

Катіонна полімеризація циклічних ефірів

Ріст ланцюга під час катіонної полімеризації циклічних ефірів, звичайно, розглядається як процес, що протікає через утворення третинного іона оксонію (III), наприклад, під час полімеризації 3,3-біс(хлорметил)оксетану (R = CH₂Cl):

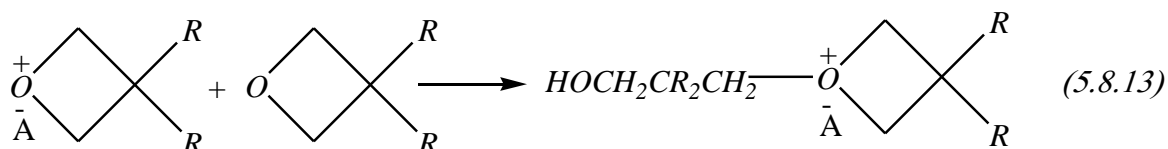
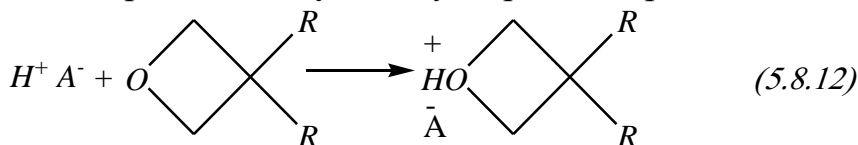


де A^- – протион.

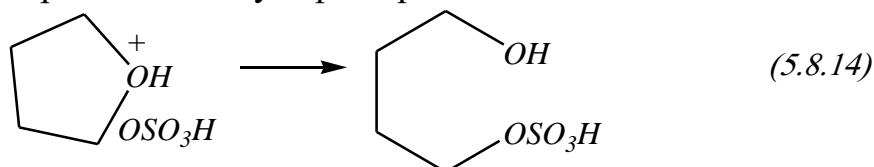
Ріст ланцюга являє собою нуклеофільну атаку атома кисню мономера на α -вуглецевий атом іона оксонію. Багато які полімеризаційні процеси є рівноважними, у них полімерні ланцюги досягають обмеженої величини, що відповідає рівновазі ріст ланцюга – розпад ланцюга.

Ініціювання. Каталітичні системи, застосовувані для катіонної полімеризації алкенів, можуть бути використані для одержання зростаючої частки – третинного іона оксонію [1, 2, 8, 9].

Протонні кислоти. Дуже сильні протонні кислоти, такі як концентрована сірчана, трифтороцтова або фторосірчана, ініціюють полімеризацію, утворивши спочатку вторинний іон Оксенію, який реагує з іншою мономерною молекулою з утворенням третинного іона оксонію.

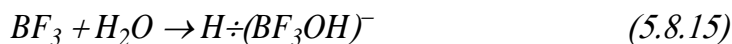


Цей тип ініціювання обмежений нуклеофільністю аніона A^- , що утворюється з протонної кислоти. У не дуже сильних кислот аніон досить нуклеофільний, щоб конкурувати з мономером за протон або за вторинний іон оксонію. Так, навіть сірчана кислота за концентрації 10 мол.% недостатньо сильна, щоб полімеризувати тетрагідрофуран. Іон бісульфату більш нуклеофільний, ніж тетрагідрофуран; протонований тетрагідрофуран реагує переважно з бісульфат-протионом



замість того, щоб утворити третинний іон оксонію. Присутність води в реакції полімеризації, ініційованої сильними кислотами, може також зумовити обрив реакції, тому що нуклеофільність її достатня для конкуренції з мономером за вторинний іон оксонію.

Кислоти Льюїса. Для ініціювання полімеризації можуть бути використані кислоти Льюїса, такі як BF_3 і SnCl_4 . Ці катализатори майже завжди вимагають присутності води (або якого-небудь іншого з'єднання з кислотним воднем) як співкатализатора. Взаємодія між катализатором і співкатализатором зумовлює утворення комплексу, наприклад,

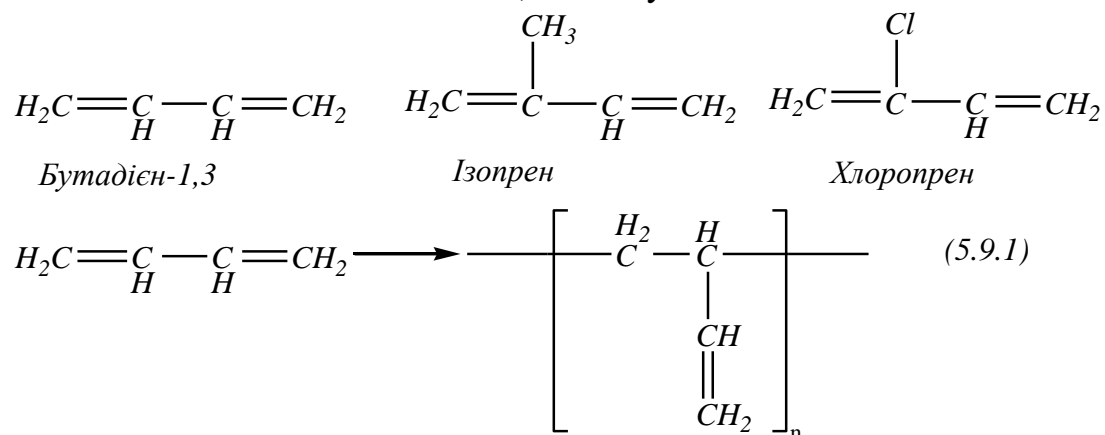


який ініціює полімеризацію, діючи як протонна кислота в рівнянні 21. Для невеликої кількості катализаторів присутність співкатализатора не є обов'язковою. Так, повідомлялося, що PF_5 і SbCl_5 ініціюють полімеризацію тетрагідрофурану, хоча завжди важко експериментально встановити відсутність слідів води або інших домішок, що можуть діяти як співкатализатори. Якщо ініціювання дійсно протікає під час відсутності співкатализатора, то це може відбуватися завдяки диспропорціонуванню катализатора з утворенням катіонних часток.

4.4. Полімеризація бутадієну-1,3 (1,2- і 3,4-полімеризація)

У результаті полімеризації дієнів-1,3, наприклад, бутадієну, ізопрену й хлоропрену, можливе утворення полімерів з оптичною й геометричною ізомерією. Полімеризація таких мономерів по одному з подвійних зв'язків дає можливість вияву оптичної ізомерії.

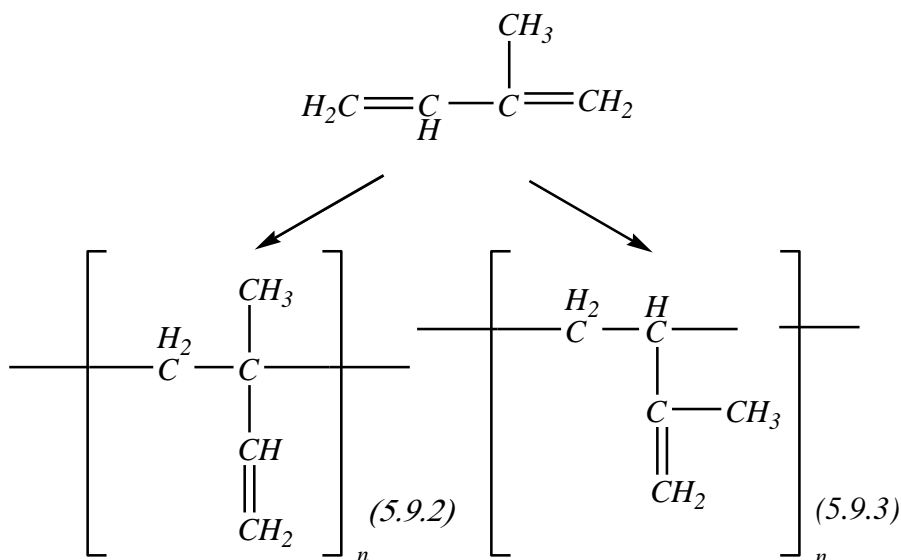
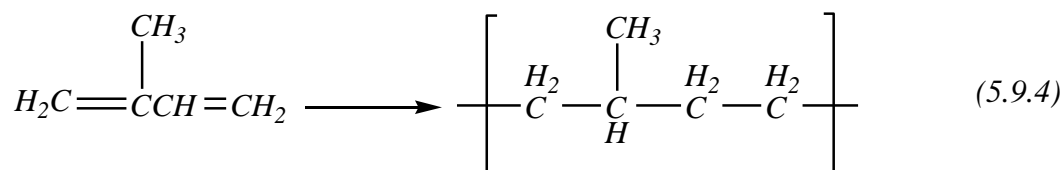
Так, під час 1,2-полімеризації бутадієну може виходити ізотактичний, синдіотактичний і атактичний 1,2-полібутадієн:



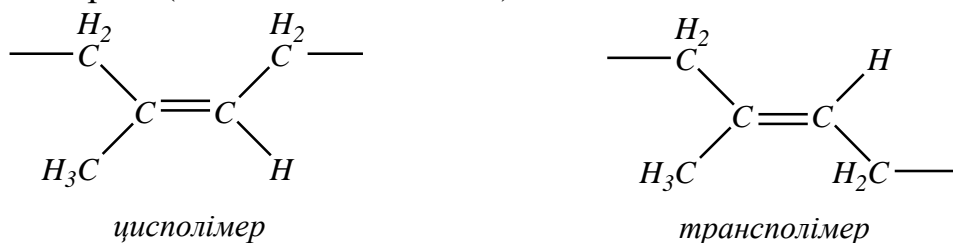
Отже, утворяться полімери таких же типів, що й у результаті полімеризації монозаміщених олефінів, тому сполуки можна виразити формулами (5.9.1). Для полімеризації хлоропрену й ізопрену характерна ще більша кількість можливих структур, тому що в разі заміщення різних подвійних зв'язків утворюються різні ізомери. На відміну від полімеризації бутадієну, 1,2 і 3,4-полімеризація хлоропрену й ізопрену призведе до утворення різних продуктів. Крім того, у такому разі можливе утворення шести структур, що відповідають двом ізотактичним, двом синдіотактичним і двом атактичним полімерам. Так, наприклад, поліізопрен має структури з трьома різними формами для кожної структури.[7].

1,4-Полімеризація

Великий практичний інтерес викликають продукти 1,4-полімеризації сполучених дієнів-1,3, наприклад, ізопрени.



У результаті 1,4-полімеризації виходить полімер (рівн. 5.9.4), що містить повторюваний подвійний зв'язок $>C=C<$. Такий подвійний зв'язок є центром стеричної ізомерії, тому що стає можливим існування цис- і трансконфігурації. У цисконфігурації полімерні сегменти, зв'язані з атомами вуглецю подвійного зв'язку, розташовуються по одному боці від подвійної зв'язки, тоді як у трансконфігурації вони по різні боки її. Якщо всі подвійні зв'язки в полімері мають однакову конфігурацію, то можна говорити про існування двох по-різному впорядкованих (тактичних) полімерних структур – геометричних ізомерів $-(CH_2-CH=CR-CH_2)-$.



У рівн. 5.9.7 наведені структури цис- і трансполімерів 2-заміщеного бутадієну. Для позначення їхньої стереохімії вживають префікси цис-1,4- і транс-1,4-, наприклад, цис-1,4-поліізопрен і транс-1,4-поліізопрен. У разі статистичного розташування трансконфігурацій виходить атактичний полімер. Чергування цис- і трансконфігурацій, подібне із синдіотактичним розташуванням у полімерах алкенів, майже ніколи не зустрічається.

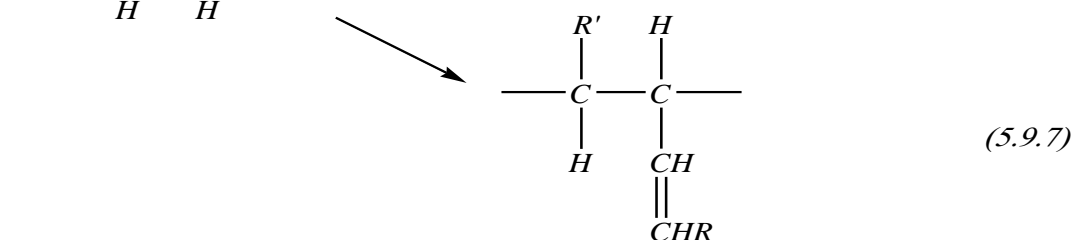
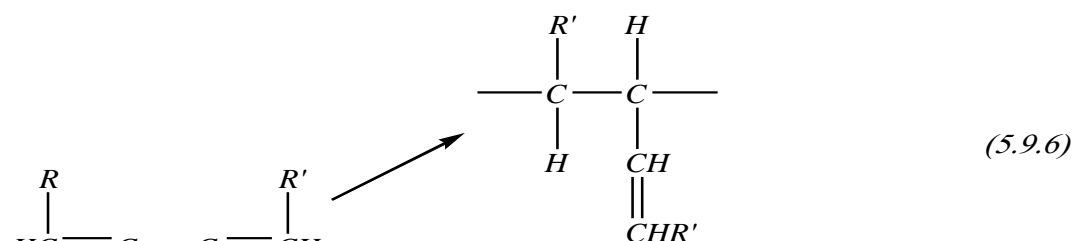
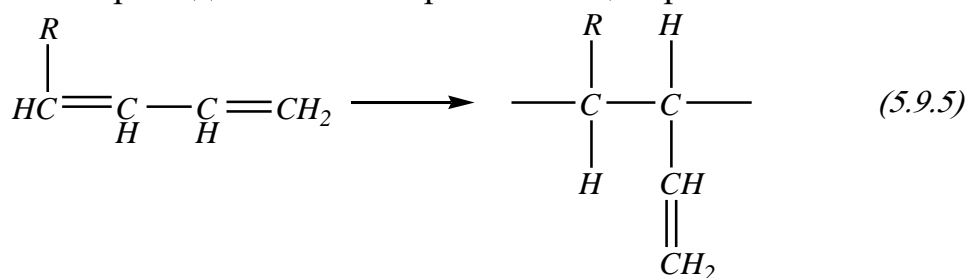
Полімеризація 4-моно- і 1,4-дизаміщених бутадієнів-1,3

1,2- і 1,4-полімеризація

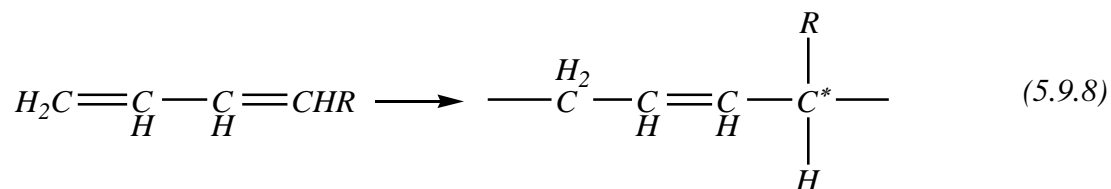
Особливий інтерес викликає полімеризація 4-моно- і 1,4-дизаміщених бутадієнів-1,3 (структури X і XI відповідно):



1,2-полімеризація мономерів обох типів (рівн. 5.9.5 і 5.9.6), а також 3,4-полімеризація 1,4-дизаміщених дієнів-1,3 (рівн. 5.9.7) спричиняють утворення полімерів з двома “асиметричними” центрами:



1,4-полімеризація монозаміщених дієнів викликає особливий інтерес, оскільки вона може призводити до утворення полімерів з геометричною й оптичною ізомерією. У результаті 1,4-полімеризації 4-заміщеного бутадієну-1,3



можливе утворення дев'яти дитактичних полімерів, складених з різних геометричних і оптичних ізомерів. Подвійні зв'язки можуть мати цис-, транс- або статистичні конфігурації, кожна з них, у свою чергу, може сполучатися з ізотактичною, синдіотактичною або атактичною конфігурацією при асиметричному атомі вуглецю (C*). Так, як приклад на рис.5.4 наведені всі ізотактичні трансструктури і всі синдіотактичні трансструктури, що утворяться в результаті.

1,4-полімеризації пентадієну-1,3. У назві полімерів з оптичною й геометричною ізомерією спочатку відбиває оптична ізомерія, наприклад, назва ізотранстактичний 1,4-поліпентадієн-1,3 або *it*-[транс- $\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}(\text{CH}_3)]_n$ належить до всіх ізотактичних трансструктур.

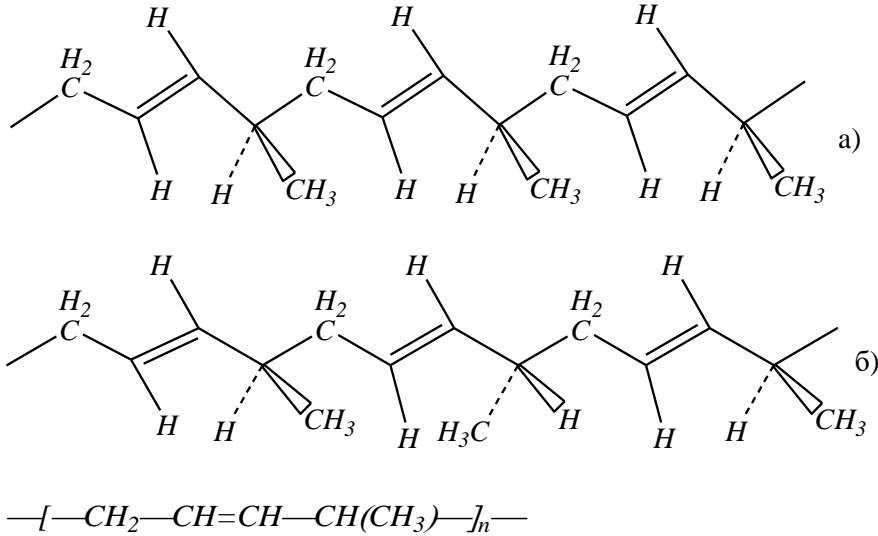
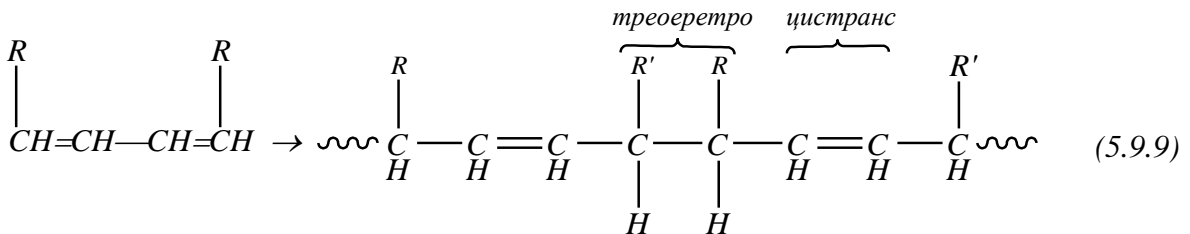
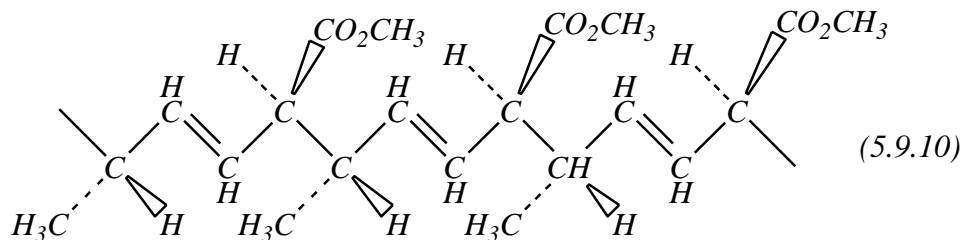


Рис. 5.4 Дві стереорегулярні структури 1,4пентадієну-1,3
а) ізотранстактичний;
б) синдіотранстактичний.

А для всіх синдіотактичних трансструктур 1,4-поліпентадієну-1,3 застосовують позначення синдіотранстактичний 1,4-поліпентадієн-1,3 або *st*-[транс- $\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}(\text{CH}_3)]_n$. 1,4-полімеризація 1,4-дизаміщених бутадієнів-1,3 призводить до полімеру (5.9.9),



який може бути тритактичним, тому що в його повторюваній ланці є три центри стеричної ізомерії: один центр геометричної і два центри оптичної ізомерії. У такому разі для позначення двох асиметричних атомів вуглецю, що перебувають у положенні 1,2 у полімерному ланцюзі, за аналогією з полімерами 1,2-дизаміщеного етилену, полімер (5.9.10), наприклад, називають еритро-дизотранстактичним 1,4-поліметилсорбатом або *eit*-[транс- $\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CHCH}(\text{CO}_2\text{CH}_3)]_n$.



1,4-полімеризація 4-моно- і 1,4-дизаміщених бутадієнів також викликає особливий інтерес, оскільки оптична ізомерія в структурах (5.9.8) і (5.9.9) зумовлена дійсною асиметрією. Приєднання подвійного зв'язку

безпосередньо до центра стеричної ізомерії робить його суто асиметричним атомом вуглецю. Тому в таких полімерах можлива оптична активність.

Висновки

1. Існує ряд закономірностей, що відрізняють катіонну полімеризацію від радикальної: М_n зменшується за наявності в реакційному середовищі невеликих добавок Н₂О та інших речовин, здатних іонізуватися; полімеризація значно прискорюється в разі застосування разом із каталізатором невеликих кількостей води, кислот та інших донорів протонів (співкаталізаторів); на реакцію суттєво впливає діелектрична постійна середовища; енергія активації катіонної полімеризації завжди менша (15 ккал/моль) і є нижчою, ніж за радикальної. Тому катіонна полімеризація проходить з дуже великою швидкістю.
2. Часто аніонна полімеризація проходить в умовах, де відсутні реакції обриву ланцюга й ріст проходить до повного вичерпування, зникнення мономера. Аніонні центри залишаються незмінними, тому що переміщення протона (або іншої позитивної частинки) від розчинника відсутнє. Тому такі полімерні аніони називають “живучими” полімерами
3. Для ініціювання катіонної полімеризації можуть бути використані кислоти Льюїса, такі як ВF₃ і SnCl₄. Ці каталізатори майже завжди вимагають присутності води (або якого-небудь іншого з'єднання з кислотним воднем) як співкаталізатора. Взаємодія між каталізатором і співкаталізатором зумовлює утворення комплексу.
4. На відміну від полімеризації бутадієну, 1,2 і 3,4-полімеризація хлоропрену й ізопрену призведе до утворення різних продуктів. Крім того, у такому разі можливе утворення шести структур, що відповідають двом ізотактичним, двом синдіотактичним і двом атактичним полімерам.
5. Подвійні зв'язки можуть мати цис-, транс- або статистичні конфігурації, кожна з них, у свою чергу, може сполучатися з ізотактичною, синдіотактичною або атактичною конфігурацією при асиметричному атомі вуглецю (C*).

Рекомендована література

Базова

1. Курта С.А., Курганський В.С. Хімія і технологія ВМС, навчальний посібник, рекомендовано МОН України, Івано-Франківськ: Видав. «Плай» ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. –291 с., ISBN 966-640-164-9. II доповнене видання. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір в Україні, № 25394 від 20.08.2008р.
2. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія. Підручник для вищих навчальних закладів.– Л: Центр Європи, 2001.– 864 с.
3. Курта С.А., Лучкевич Є.Р., Матківський М.П. Хімія органічних сполук. Підручник для вищих навчальних закладів. – Івано-Франківськ:, 2013.– 599 с. вид-во. Прикарпат.нац.ун-т ім. В.Стефаника.400 екз.
4. Стельмах Г.І., Микитин І.М., Курта С.А., Ляковська М.Р., Методичні вказівки до лабораторних та практичних робіт з курсу «Хімія ВМС». МОН ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ 2019, 92 с.

5. Ю.П.Гетьманчук, М.М.Братичак. Хімія та технологія полімерів, підручник. — Львів.: Бескид Біт, 2006 – 496 с.
6. Ю.П. Гетьманчук, М.М.Братичак. Хімія високомолекулярних сполук, підручник. — Львів, Видав. у-ту «Львівівська політехніка», 2008 – 460 с.
7. Курта С.А. Наповнювачі-синтез властивості та використання. // Навчальний посібник. ISBN 947-966-640-337-0, вид-во. Прикарпат. нац. у-ту. ім. В.Стефаника, м.Івано-Франківськ, 2012р.-296с. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. № 52698 від 19.02.2013 р. Міністерство освіти і науки України, державний департамент інтелектуальної власності.
8. Хома М.І., Федорченко С.В. Карбамідо-і мелаїноформальдегідні олігомери.//навчальний посібник. 2008 р. -156с. кафедра ОАХ, Вид. ВДВ .ПНУ,Івано-Франківськ.
9. Курта С.А. Хімія і технологія хлорорганічних сполук. Монографія. Видавництво “Плай” ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника Підп. до друку 30.12.2008., опуб. 12.03.2009 р.,-262 с. тираж 300 шт., 76000, м. Івано-Франківськ, вул. С. Бандери 1, свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір в Україні № 30576 від 08.10.2009 р.

Допоміжна

10. Курта С.А. Будова речовини, навчально-методичний посібник, ВДВ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника м.Івано-Франківськ-Калуш.,2007 р.,162 с. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.. № 25395,від 20.08.2008р. Міністерство освіти і науки України, державний департамент інтелектуальної власності.
11. Курта С.А. Взаимодействие хлористого винила с поверхностью дисперсных окислов. Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. тех. наук. Львов, 1988. -22 с.
12. Курганський В.С. Кинетика синтеза и физико-химическое изучение пероксидных полимерных ПАВ на основе малеинового ангидрида. Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. хим. наук. — Львов, 1984. -16с.
13. Лучкевич Є.Р. Хімія ароматичних азосполук : монографія / Є.Р.Лучкевич. – Івано-Франківськ : ВДВ ЦІТ Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2013 р. – 285 с.
14. Курта С.А. Природні вуглеводи і полісахариди. Навчальний посібник. ISBN 878-866-8868-84-3. Видав: Супрун В.П.76025, Івано-Франківськ, вул. В.Великого,12,аХТел.: (0342) 71-04-40,e-mail:printsv@ukr.net, Свід. про внесення до Держреєстру від 17.10.2005р. Серія ІФ №25. – 100с.
15. Курта С.А. Основи нафтохімії. Навчальний посібник. Друк: Голіней О.М..76008, Івано-Франківськ, вул. Галицька 128 Тел.: (0342) 58-04-32(+380505403064 – 183 с.(друк. арк. 11,62) Рішення Вченої Ради Факультету природничих наук ПНУ, протокол №3 від «12» грудня 2018 року. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.№85804 від 10.02.2020р. ст.1.Рішення Мінекономіки торг. Та сільс. Госп.. України.м. Київ. 01008 вул. Грушевського 12\2.
16. Курта С.А. , Хацевич О.М. Основи квантової хімії. (навчально посібник) . Рішення Вченої Ради Факультету природничих наук ПНУ, протокол № 2 від «22» лютого 2018 року р.-235с. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.№85470 від 21.01.2020р. ст.1.Рішення Мінекономіки. України м. Київ, 01008 вул. Грушевського

Завдання для самоконтролю

Питання 1. Аніонна полімеризація. Здатність мономерів до аніонної полімеризації. Каталізатори. Стадії аніонної полімеризації.

Питання 2. Конформаційна ізомерія і конформація макромолекули. Внутрішньомолекулярне обертання й гнучкість макромолекул. Поворотні ізомери й гнучкість ланцюгів.

Питання 3. Швидкість і середня довжина ланцюга при аніонній полімеризації. Живучі полімери.

Питання 4. Стадії катіонної полімеризації.

Питання 5. Полімери і співполімери діолефінів (дієнів): полібутадієн і співполімери бутадієну, поліізопрен.

Питання 6. Синтезувати стереорегулярний ізотактичний поліізопрен.

Питання 7. Синтезувати каучуки: бутадієновий (СКБ); поліізопреновий (СКІ), поліхлоропреновий; бутадієн-стирільний; бутадієн-нітрильний.