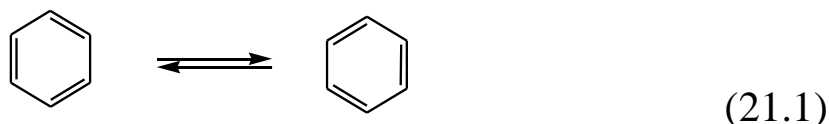


Курта С.А. Органічна хімія.
ЛЕКЦІЯ №18
РОЗДІЛ 21. АРОМАТИЧНІ ВУГЛЕВОДНІ

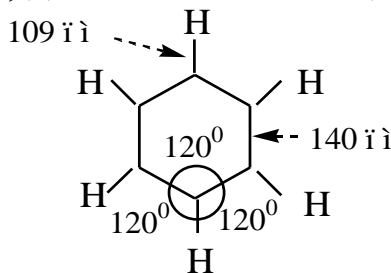
21.1 Арени

Ароматичними вуглеводнями або *аренами* називаються сполуки карбоциклічного ряду, молекули яких містять стійку циклічну групу – *бензенове кільце* (циклогексатрієновий цикл), яке володіє особливими фізичними й хімічними властивостями.

Формулу бензену (C_6H_6) запропонував Кекуле (1865 р.). Проте, незважаючи на наявність трьох зв'язків $-C=C-$, для бензену не характерні реакції приєднання, а в основному – реакції заміщення. Крім того, він виявився термічно стійким. На основі цього Кекуле запропонував формулу, згідно з якою в молекулі бензену немає фіксованих подвійних зв'язків, і висунув ідею *осциляції (переходу) зв'язків*:

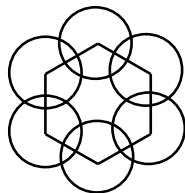


Сучасними фізичними методами встановлено, що молекула бензену має будову плоского шестикутника. Усі зв'язки між атомами карбону однакові, довжина яких складає 140 пм (1,4 Å):



Під час гідрування бензену виділяється 208 кДж/моль, що значно менше ніж слід було б очікувати на основі розрахунку суми тепла, що виділяється при гідруванні циклогексатрієну (120 кДж/моль). Різниця теплот складає $3 \cdot 120 - 208 = 152$ кДж/моль. Таку різницю між розрахованою й експериментальною величиною називають *енергією спряження* або *енергією резонансу*, яка свідчить про значну стабілізацію молекули бензену. Пояснення підвищеної стійкості молекули бензену в порівнянні з гіпотетичною молекулою циклогексатрієну з ізольованими подвійними зв'язками варто шукати в особливостях будови бензену. Атом карбону в бензені перебуває в

sp^2 -гібридному стані, а 6 p -електронів, що залишились (їх ще називають π -електронами), розташовані перпендикулярно до площини кільця, їх осі паралельні одна до одної й утворюють єдину електронну хмару (π -хмара):



вид зверху

Тому можна стверджувати, що в молекулі бензену немає автономних π - і σ -зв'язків, а відбувається їх делокалізація або вирівнювання. Утворення такої електронної хмари з рівномірним розподілом електронної густини між усіма шістьма атомами карбону викликає особливі властивості бензену (“ароматичний” характер). Існують такі способи написання формули бензену:



формули Кекуле

Суть поняття “ароматичний” характер або “ароматичність” включає:

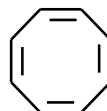
- 1) делокалізацію π -електронів у плоскій, замкнутій системі;
- 2) схильність до реакцій заміщення, а не приєднання;
- 3) високу стійкість ароматичних сполук;
- 4) підпорядкування правилу Хюккеля.

Е. Хюккель на основі квантово-механічних розрахунків сформулював правило, за яким замкнуті циклічні сполуки з кратними зв'язками можуть володіти ароматичним характером за умови, що вони містять $4n+2$ π -електронів, де $n=0,1,2,3\dots$ – натуральний ряд цілих чисел.

Наприклад, у циклобутадієні число π -електронів становить 4, а в циклооктатетраєні – 8:



циклобутадієн



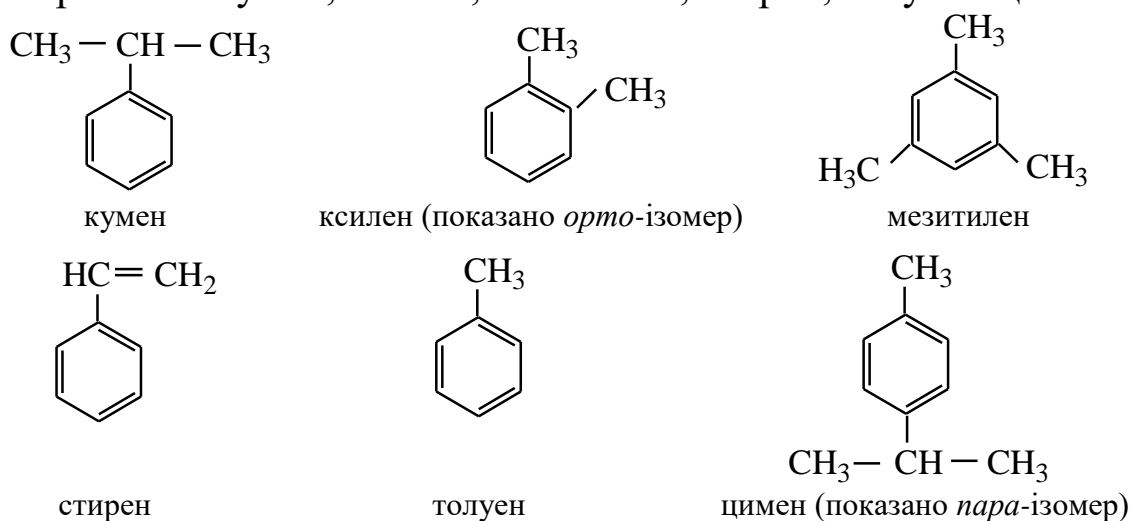
циклооктатетраєн

Тому вони не володіють ароматичними властивостями, це так звані *антиароматичні сполуки*.

У бензені число π -електронів, як уже вказувалося, становить 6 ($n=1$). Правилу Хюккеля підпорядковуються і сполуки, що не є похідними бензену, так звані *бензоїдні ароматичні сполуки*, наприклад:

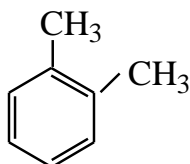


Ізмерія і номенклатура. Для ароматичних сполук до цього часу зберегли й використовують у великій кількості тривіальні назви. За правилами IUPAC збережено тривіальні назви: для незаміщеної сполуки – “бензен”, для моноциклічних, заміщених ароматичних гідрокарбонів – кумен, ксилен, мезитилен, стирен, толуен і цимен.

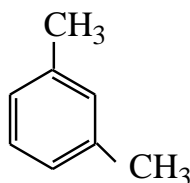


Інші моноциклічні заміщені гідрокарбони називають як похідні бензену або однієї з перелічених сполук. Вживаються, але не рекомендовані, назви ароматичних сполук, узяті з російської мови із суфіксом “ол”: бензол, кумол, ксилол, стирол, толуол і цимол.

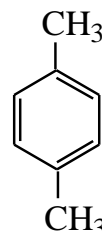
Положення замісників указують цифрами, за винятком тих випадків, коли при наявності всього двох замісників замість 1,2-, 1,3- або 1,4- можуть бути поставлені позначення *о-* (*орто*), *м-* (*мета*) і *п-* (*пара*) відповідно. Для двозаміщеного бензену-ксилену існують три ізомери:



o-ксилен (*орто*-ізомер)

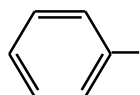


m-ксилен (*мета*-ізомер)



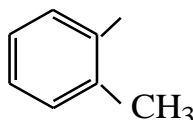
p-ксилен (*пара*-ізомер)

Радикали ароматичних гідрокарбонів, що найчастіше вживаються, перелічені нижче. Атом карбону, який несе вільну валентність, позначають номером 1:

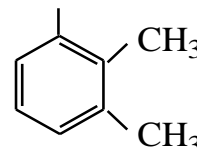


або C_6H_5

феніл



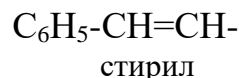
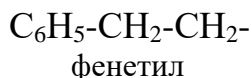
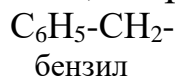
толіл (показано *o*-ізомер)



ксиліл (показано 2,3-ізомер)

Оскільки зберігається назва “фенілен” (*o*-, *m*- або *p*-) для радикалу C_6H_4 -, двовалентні похідні бензену називають як заміщені феніленові радикали.

Для радикалів, які мають єдину вільну валентність у бічному ланцюзі, зберігають такі тривіальні назви:



21.1.1 Методи одержання аренів

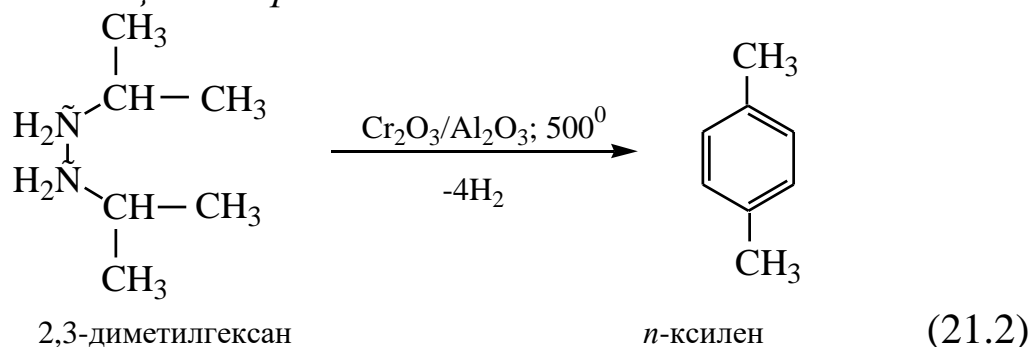
1. Отримання з природних джерел:

а) суха перегонка (без доступу повітря) кам'яного вугілля. Вугілля за температури 900–1200°C розщеплюється на коксовий газ, кам'яновугільну смолу й кокс. У 1 м³ коксового газу, що складається переважно з CH_4 , $CH_2=CH_2$, H_2 , CO , C_3H_6 , міститься приблизно тільки 30 г бензену і 10 г толуену. У смолі, крім бензену й толуену, містяться ксилени, феноли, поліциклічні арили та гетероциклічні сполуки (усього більше 100 компонентів), які за потреби виділяють;

б) переробка нафти. Арили можуть бути виділені шляхом перегонки деяких сортів нафти (ароматичної), а також шляхом її піролізу (нагрів до 700–800°C) і каталітичного крекінгу (ароматизації) нафти. Крім того, можлива дегідрогенізація аліциклічних сполук (циклогексану), які виділяються з нафти.

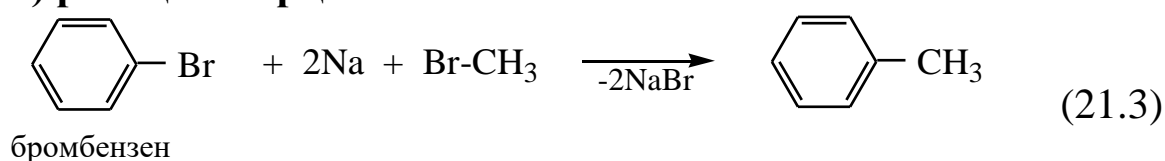
2. Дегідроциклізація алканів (Казанський, Плате, Зелінський).

У випадку нафтового джерела таких алканів процес називається *ароматизацією нафти*:

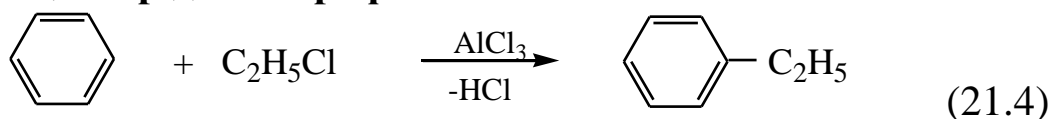


3. Алкілювання бензену і його гомологів:

а) реакція Вюрца–Фіттіга:

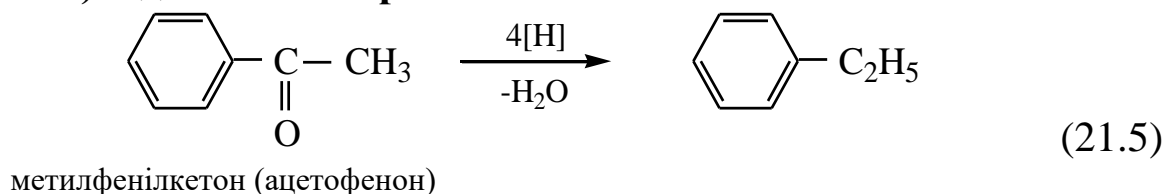


б) реакція Фріделя–Крафтса:

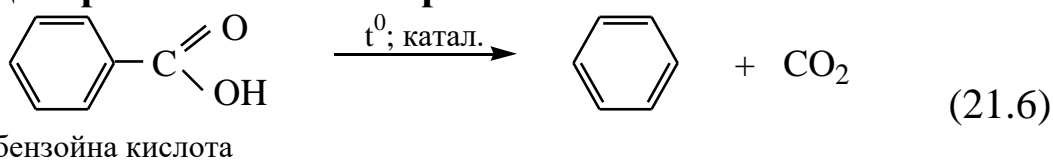


4. Синтез з оксигеновмісних аренів:

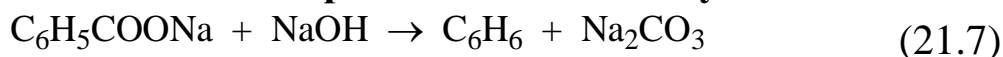
а) відновлення ароматичних кетонів:



б) декарбоксілювання аренових кислот:



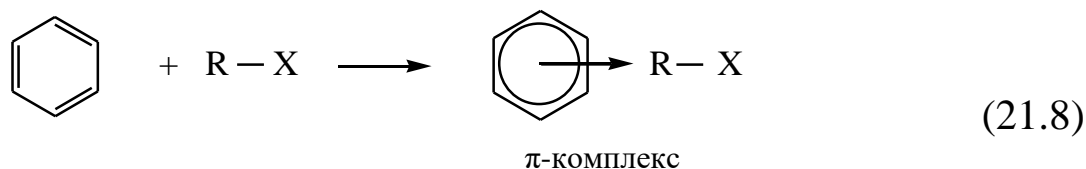
в) сплавлення солей аренових кислот із лугами:



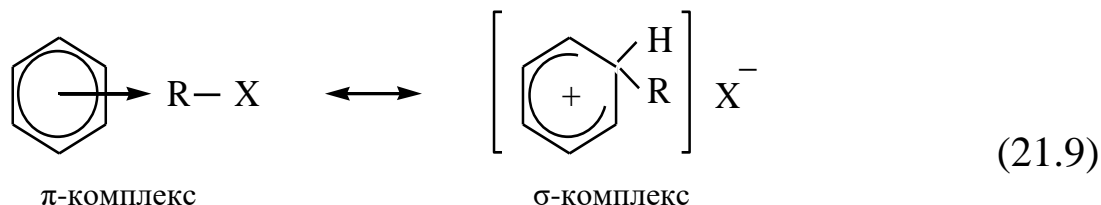
21.1.2 Хімічні властивості аренів

Для аренів найбільш характерні реакції заміщення.

I. Реакції електрофільного заміщення S_E. Реакції S_E мають іонний характер і протікають у дві стадії. Вони мають багато спільного з реакціями електрофільного приєднання до алкенів (частина 1, розділ 5). На першій стадії швидко проходить утворення π-комплексу:



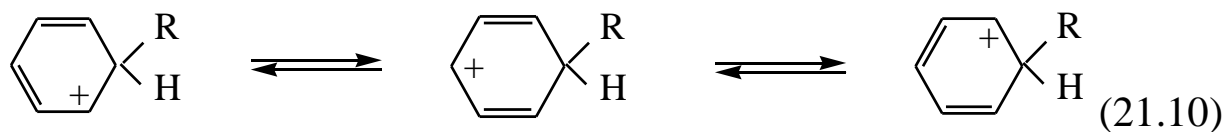
На другій стадії π-комплекс переходить у σ-комплекс.



При цьому 2 *p*-електрони ароматичного секстету виходять зі спряження й утворюють новий σ-зв'язок (C-R), а решта 4 *p*-електрони перерозподіляються між п'ятьма атомами карбону. σ-Комплекс являє собою спряжений карбокатион без ароматичних властивостей, де 5 атомів карбону знаходяться в *sp*²-гібридному стані, а один – у *sp*³-гібридному стані. Обидва замісники R і H лежать у площині, яка перпендикулярна площині бензенового кільця.

Утворення σ-комплексу не потребує значної затрати енергії, і це не перехідний стан молекули, а реальний проміжний комплекс. Тим не менше σ-комплекс малостабільний у порівнянні з вихідною ароматичною структурою і легко перетворюється в бензенове кільце шляхом відщеплення, як правило, протону (H⁺).

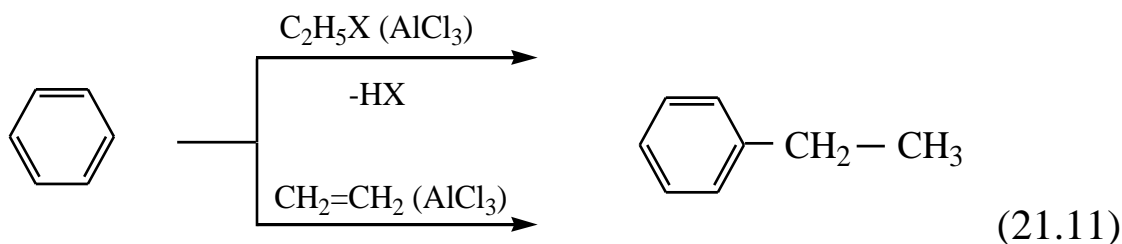
Розподіл електронної густини спряженого карбокатиона (циклогексадієніл-катиона) у σ-комплексі можна зобразити трьома резонансними (граничними) структурами:



Унаслідок незначної енергії активації утворення π-комплексу він незначно впливає на напрям реакції заміщення. Тому π-комплекс часто не враховується, а розглядаються тільки умови утворення σ-комплексу.

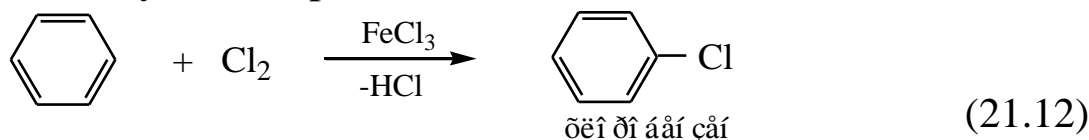
До найважливіших реакцій електрофільного заміщення належать реакції алкілювання, галогенування, нітрування, сульфування й ацилювання.

1. Алкілювання аренив (див. реакцію Фріделя–Крафтса):

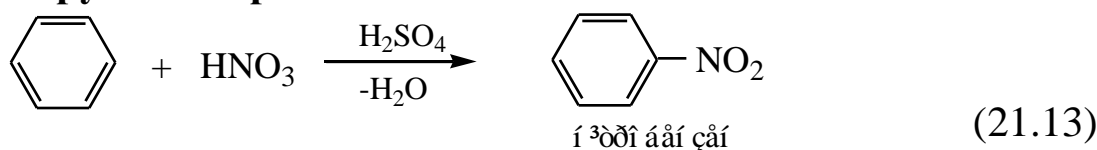


Бензен алкілується важче, ніж його гомолог – толуен.

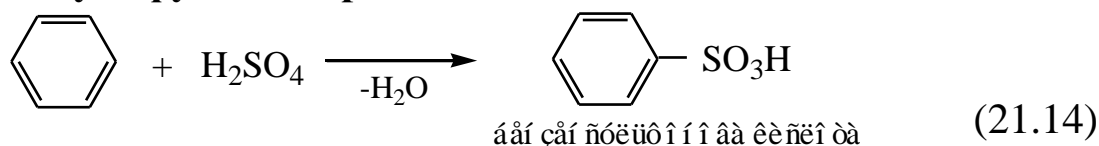
2. Галогенування аренів:



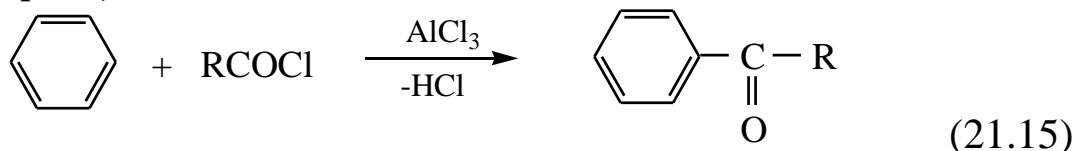
3. Нітрування аренів:



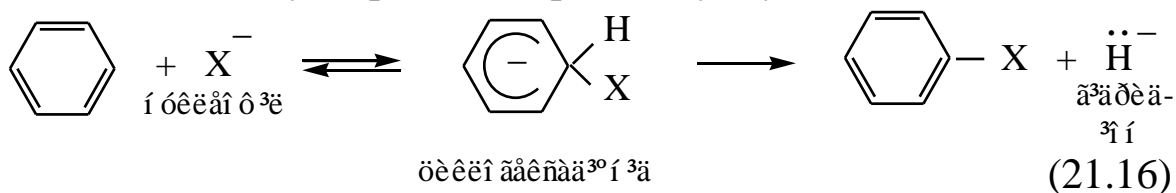
4. Сульфування аренів:



5. Ацилювання аренів (у присутності каталізаторів Фріделя–Крафтса):

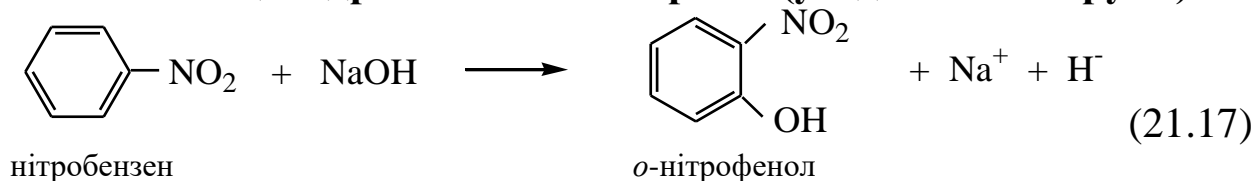


II. Реакції нуклеофільного заміщення S_N. Незаміщений бензен із нуклеофільними реагентами не взаємодіє, тому що циклогексادیєнід, що утворюється при цьому, дуже нестабільний:



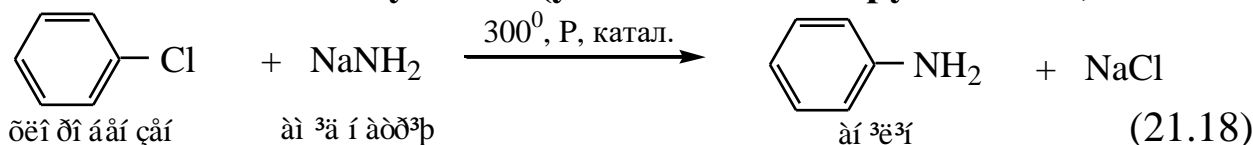
Арени здатні реагувати із сильними нуклеофілами в разі наявності в бензеновому ядрі електроноакцепторних груп, наприклад, NO₂-групи.

1. Реакції гідроксилювання аренів (уведення OH-групи):

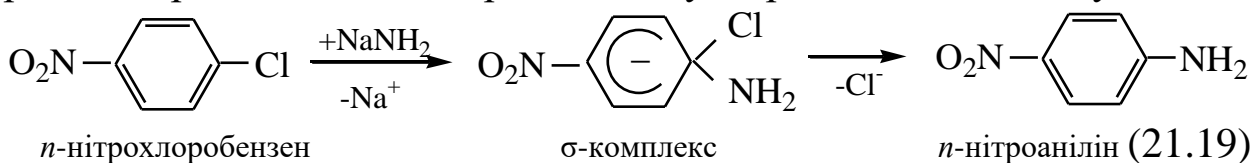


Ще легше реакція протікає, коли в ароматичному кільці знаходяться два або три електроноакцепторні замісники.

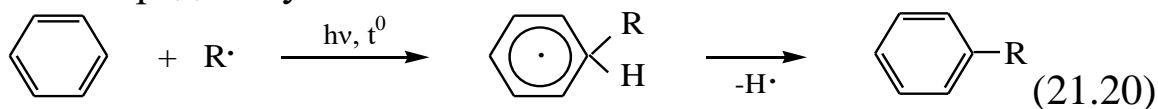
2. Реакція амінування (уведення аміногрупи – NH₂):



Указана реакція протікає важко, у жорстких умовах. За введення в *o*-або *n*-положення до галогену електроноакцепторних груп реакція протікає легше, через стадію утворення σ -комплексу:



III. Реакції радикального заміщення S_R. Бензен є відносно інертним до реакції S_R, що пояснюється малою стабільністю проміжного радикалу:



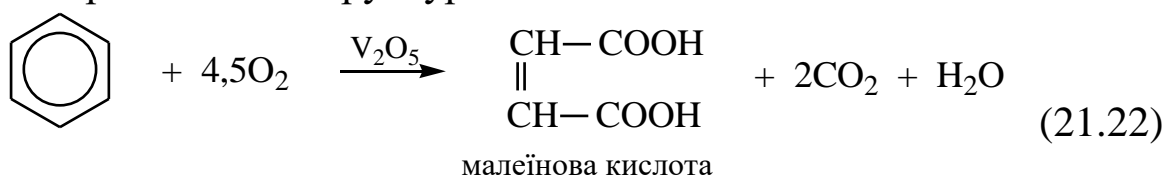
IV. Реакції приєднання.

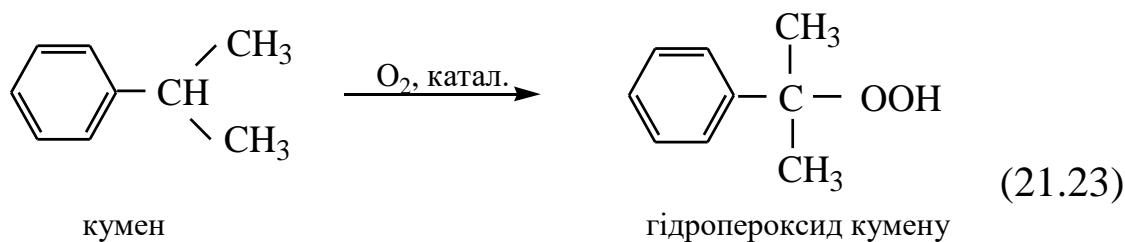
1. Приєднання водню (гідрування) (частина 2, розділ 3).

2. Приєднання галогенів. На світлі або під дією УФ-опромінення хлор приєднується до бензену за радикальним механізмом:

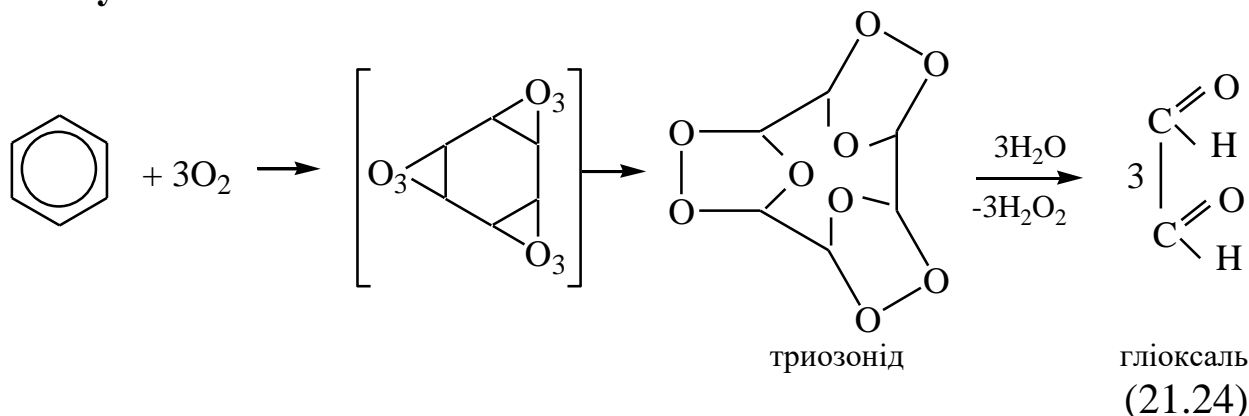


V. Реакції окиснення. У силу ароматичного характеру бензенового ядра останній не окиснюється навіть HNO₃. Тільки в присутності каталізаторів типу V₂O₅ протікає реакція, яка має промислове значення. Гомологи бензену окиснюються легше, зі збереженням ароматичної структури:





Озонування:



21.1.3 Теорія заміщення в ароматичному ядрі

Якщо в бензеновому ядрі перебуває який-небудь замісник, то входження тої чи іншої групи проходить селективно, залежно від природи замісника.

Реакційна здатність атома карбону в бензеновому кільці визначається:

- 1) положенням і природою вже наявного замісника;
- 2) природою діючого реагенту (електрофіл чи нуклеофіл);
- 3) умовами проведення реакції.

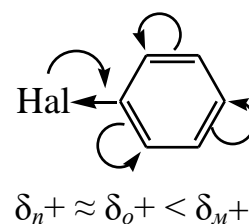
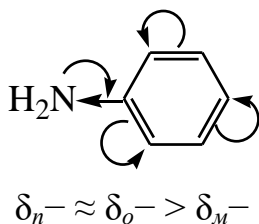
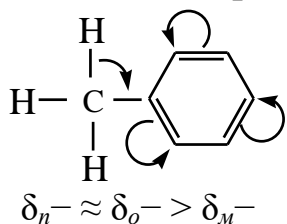
Присутність замісників порушує рівномірний розподіл електронної густини й по кільцю з'являється полярність – *альтернуючий ефект* ($\pm\sigma$).

Усі відомі замісники поділяють на дві групи.

I. Замісники I роду (*o*-, *p*-орієнтанти в реакціях електрофільного заміщення):

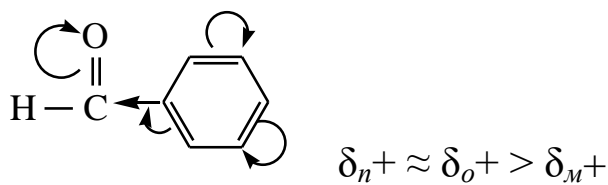
- замісники, які мають *+I* ефект і не мають *M*-ефекту. До цієї групи належать алкільні групи, які направляють електрофільний замісник переважно в *орто*- і *пара*-положення й дещо полегшують його входження;
- замісники, які мають незначний *-I* ефект і великий *+M* ефект. Сюди належать групи $-\text{OH}$ і $-\text{OAlk}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{NHAlk}$ і $-\text{N}(\text{Alk})_2$. Ці замісники значно прискорюють реакції електрофільного заміщення і направляють новий замісник в *орто*- і *пара*-положення;

- замісники, які мають великий $-I$ ефект і невеликий $+M$ ефект. Сюди належать галогени. Унаслідок великого $-I$ ефекту, галогени затrudнюють протікання реакції S_E , але направляють заміщення в *орто*- і *пара*-положення:



II. Замісники II роду (*м*-орієнтанти в реакціях електрофільного заміщення):

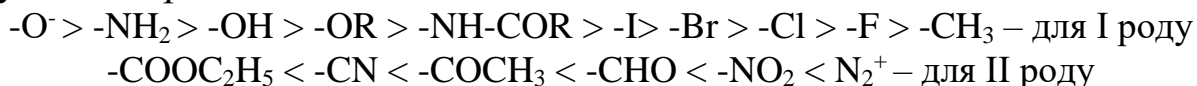
- замісники, які мають $-I$ і $-M$ ефекти. Сюди належать групи $-\text{NO}_2$, $-\text{CN}$, $-\text{COAlk}$, $-\text{CHO}$, $-\text{COOR}$, $-\text{CON(Alk)}_2$. Ці замісники сильно затrudнюють протікання реакції S_E і направляють замісник переважно в *мета*-положення:



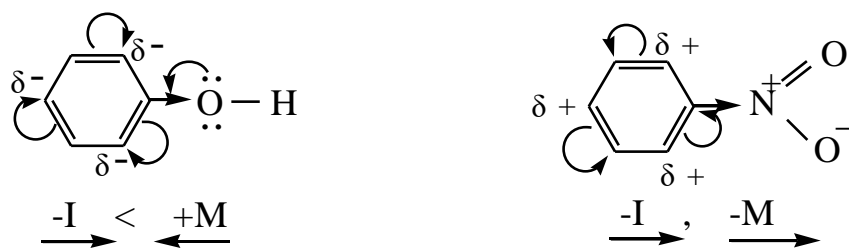
- замісники, які мають $-I$ ефект і M ефект, що дорівнює нулю. Сюди належать групи $-\text{N(CH}_3)_2$, $-\text{CCl}_3$. Ці замісники сильно утруднюють протікання реакцій S_E і направляють замісник у *мета*-положення.

Крім указаних двох груп замісників, є замісники змішаного характеру, що мають одночасно як $+I$, так і $-I$ ефект, але M -ефект, який дорівнює нулю. Сюди належать групи $-\text{CH}_2\text{NO}_2$, $-\text{CH}_2\text{Cl}$, $-\text{CHCl}_2$, $-\text{CH}_2\text{OH}$. Ці замісники дещо сповільнюють реакцію S_E і дають у різних співвідношеннях суміші трьох ізомерів.

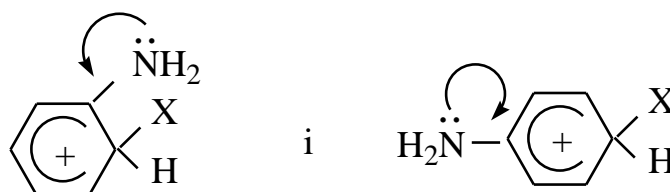
За силою орієнтувального заміщення замісники розташовуються в *ряди Голлемана*:



Замісники, які знаходяться в бензеновому кільці, можуть взаємодіяти з існуючими двома шляхами: 1 – за рахунок індукційного ефекту ($\neq I$) і 2 – за рахунок мезомерного ефекту ($\neq M$). Напрям цих електронних ефектів може збігатися або не збігатися:



У випадку збігу напрямів зміщення електронної густини вирішальне значення має мезомерний ефект. Вирішальним фактором, який визначає напрям реакції електрофільного заміщення, є вплив замісника на стійкість утвореного проміжного σ -комплексу. Так, замісники I роду, які володіють, як правило, $+I$ і $+M$ -ефектом, підвищують стійкість σ -комплексу в o - і p -положеннях, завдяки частковій компенсації позитивного заряду за рахунок $+I$ і $+M$ -ефекту замісника. При цьому в m -положенні X-замісник у спряженні участі не бере:

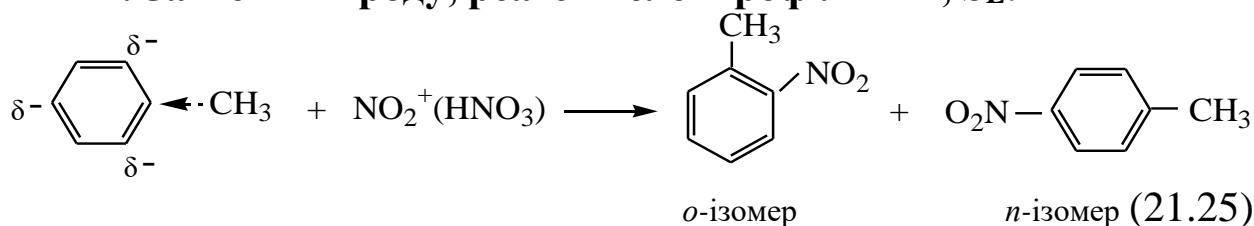


Більш стійкі під час введення замісників II роду ($-I$, $-M$ -ефект) σ -комплекси в реакціях S_E утворюються, якщо замісники знаходяться в m -положенні.

У випадку реакцій нуклеофільного заміщення визначальними будуть фактори, які стабілізують негативно заряджений проміжний комплекс. Електроноакцепторні замісники, які знаходяться в $ortho$ - і $para$ -положенні відносно місця заміщення, значною мірою полегшують нуклеофільне заміщення. Послідовність зміни реакційної здатності галогенів в арилгалогенідах у реакціях S_N , зазвичай, така: $F \gg Cl > Br > I$.

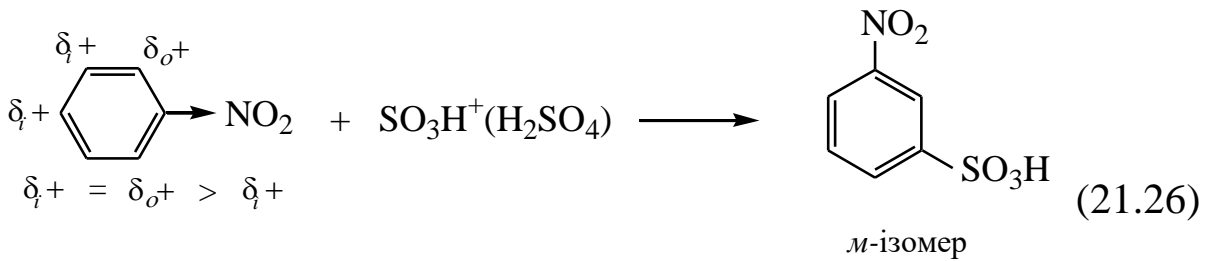
Таким чином, реакція заміщення для гомологів бензену може протікати теоретично чотирма шляхами:

1. Замісник I роду, реагент електрофільний, S_E :

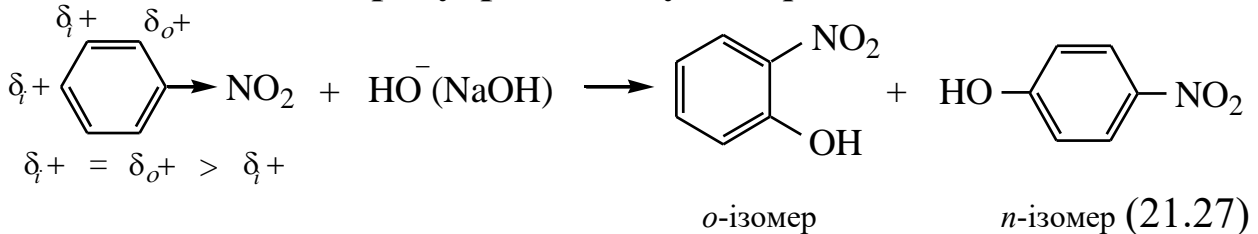


(Тут і далі знак $+$ або $-$ вказує на відносну величину заряду на атомі карбону.)

2. Замісник II роду, реагент електрофільний, S_E :



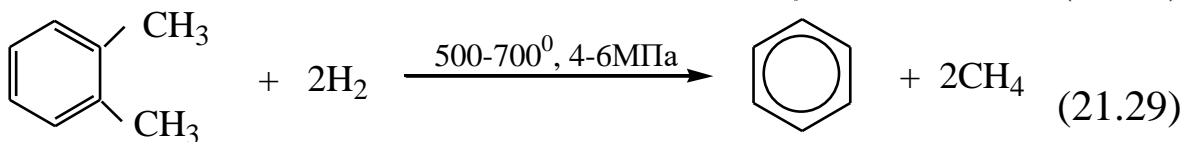
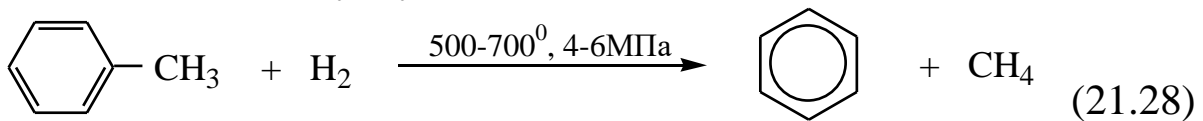
3. Замісник II роду, реагент нуклеофільний, S_N:



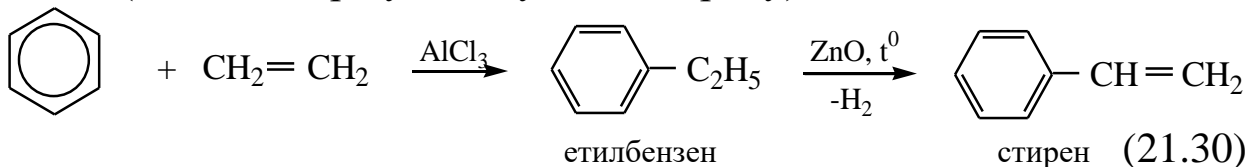
4. Замісник I роду, реагент нуклеофільний, S_N. Зазначені реакції проходять дуже важко і їх приклади з достовірно відомим механізмом невідомі.

Окремі представники аренів

Бензен. Донедавна основним джерелом отримання бензену була кам'яновугільна смола, одержана сухою перегонкою кам'яного вугілля. Бензен отримують дегідроциклізацією гексану й деметилуванням толуену й ксиленів:



Бензен використовують як розчинник, а також як вихідну сировину в хімічній промисловості. З бензену отримують стирен, необхідний для виготовлення пластмас і синтетичних каучуків типу СКБС (співполімер бутадієну-1,3 і стирену):

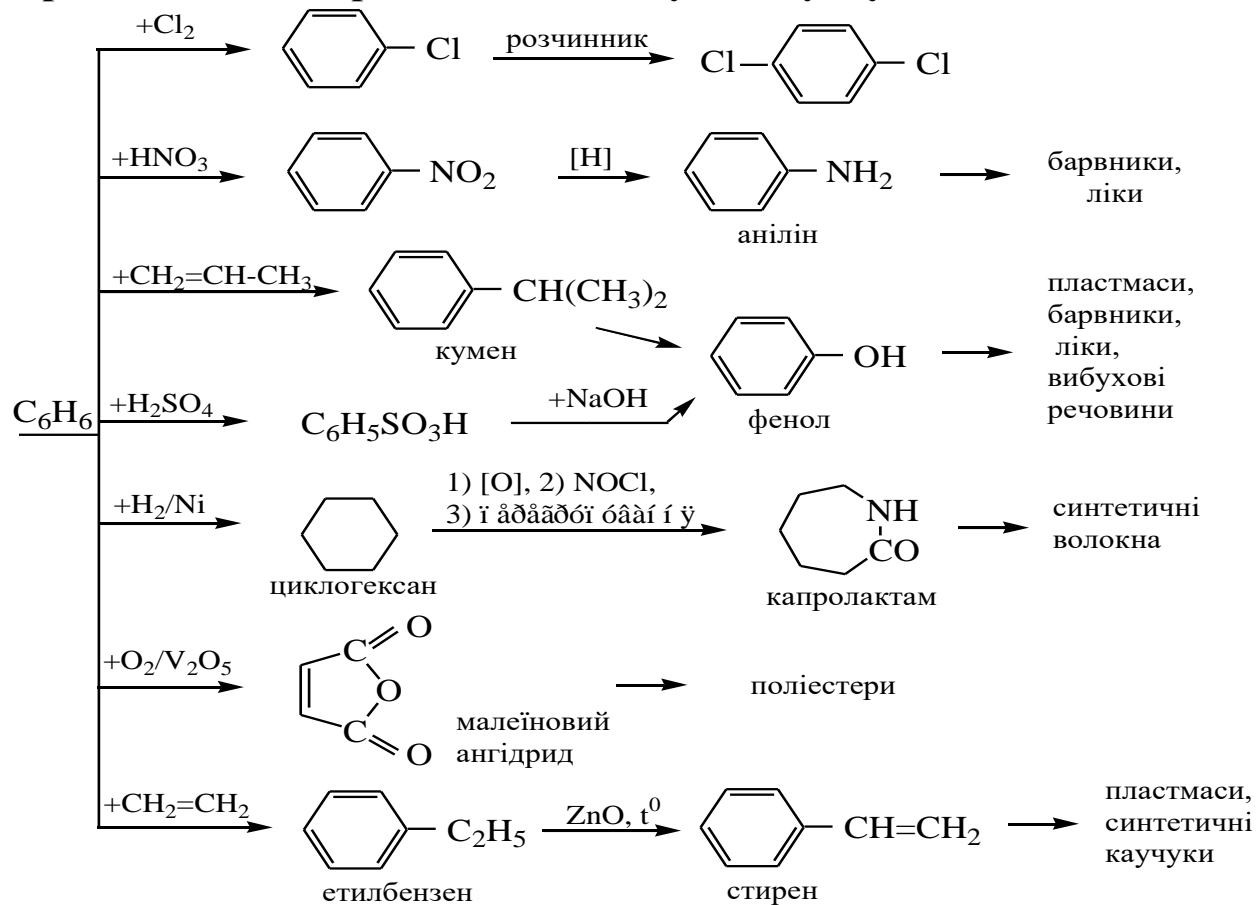


Толуен отримують із кам'яновугільної смоли або реакцією дегідроциклізації гептану. Це розчинник і сировина для промислового органічного синтезу.

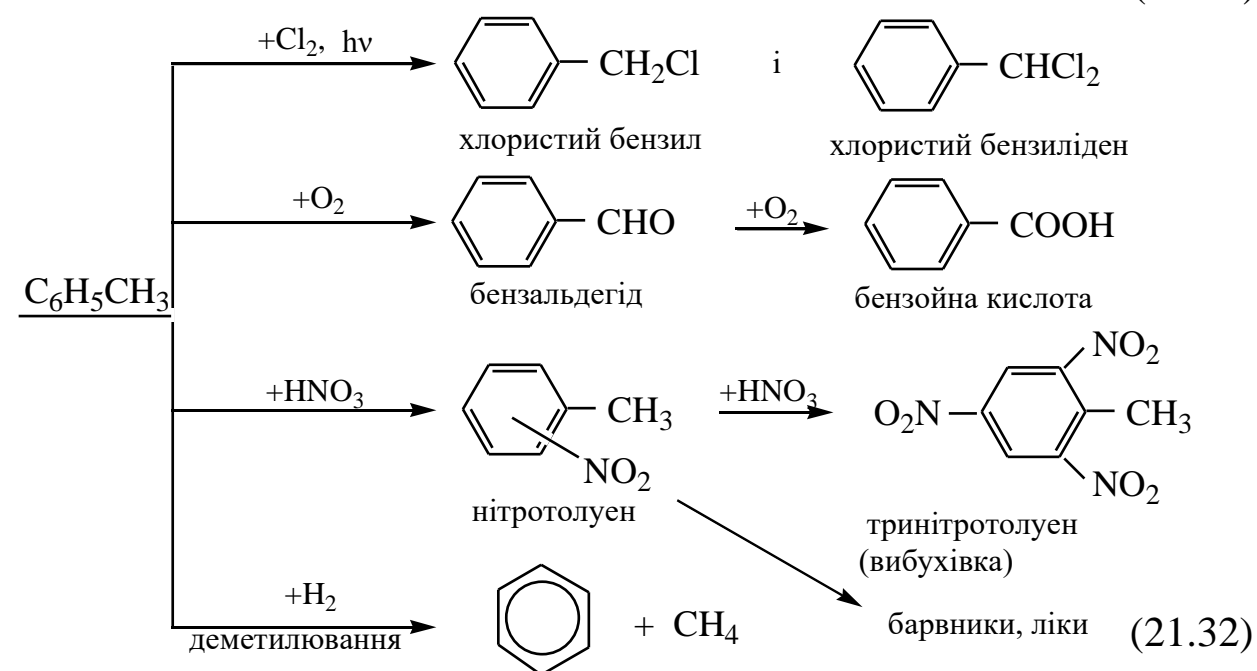
Ксилени одержують також із продуктів переробки кам'яного вугілля і дегідроциклізації октанів. Утворену суміш ізомерних ксиленів розділяють на чисті ксилени різними методами. Використовують як розчинники компоненти високооктанових бензинів, сировину для промислової хімії.

Стирен отримують з бензену й використовують для синтезу полімерів і співполімерів на основі полістиролу та інших високомолекулярних сполук, що мають широке використання в промисловості та побуті.

Промислове використання бензену й толуену:



(21.31)



(21.32)

Питання для самоконтролю. Арени

1. Напишіть схему співполімеризації стирену з: а) дивінілом; б) акрилонітрилом.
2. Напишіть схеми окиснення толуену, бутилбензену, *o*-ксилену, цимену.
 3. З бензену й пропілового спирту отримайте пропілбензен й ізопропілбензен. Отримані вуглеводні окисніть KMnO_4 .
 4. Запропонуйте схеми отримання з толуену таких сполук: 2-хлоро-4-нітробензойної кислоти; 5-бромо-2-толуенсульфонової кислоти.
 5. Отримайте реакцією електрофільного заміщення етилбензен і піддайте його окисненню KMnO_4 .
 6. Назвіть і напишіть хоча би дві реакції, у які бензен вступає інакше, ніж етилен. Вкажіть як на структурну близькість між етиленом, так і на причини, які викликані різницею реакційної здатності стосовно до електрофілів.
 7. Поясніть причини різної реакційної здатності бензену й толуену щодо електрофілів.
 8. Який тип реакцій найбільш характерний для бензену? Напишіть рівняння трьох різних реакцій цього типу. Який каталізатор часто використовується в цих реакціях? Напишіть механізм однієї з таких каталітичних реакцій, детально пояснивши, як діє каталізатор. Запропонуйте можливий варіант такої реакції: $\text{C}_6\text{H}_5\text{Si}(\text{CH}_3)_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{Br} + (\text{CH}_3)_3\text{SiBr}$.
 9. Бензен реагує з пропеном у присутності гідроген хлориду, утворюючи ізопропілбензен. Напишіть рівняння реакції. Напишіть формулу карбокатиона, який утворюється при протонуванні пропену, і формулу інтермедіта, який утворюється при приєднанні карбокатиона до бензену. Цей інтермедіт втрачає протон, перетворюючись в ізопропілбензен. Що далі відбувається із цим протоном?
 10. Напишіть механізми реакцій: а) алкану з бромом; б) алкену із сульфатною кислотою; в) ароматичного вуглеводню з нітруючою сумішшю.
 11. Якого типу реагенти атакують бензенове ядро в реакціях заміщення? Укажіть, якого типу реагенти використовуються при: а) нітруванні бензену; б) ацилюванні бензену.
 12. Якого типу реагенти атакують бензенове ядро в реакціях заміщення? Укажіть, якого типу реагенти використовуються при: а) сульфуванні бензену; б) алкілюванні бензену.
 13. Як реагують з бензеном і толуеном хлор і нітратна кислота? У чому полягає відмінність? Напишіть рівняння реакцій.
 14. Поясніть, чому при УФ-опроміненні 1 моль бензену реагує з хлором кількістю 3 моль без утворення гідроген хлориду, а в

присутності ферум(III) хлориду 1 моль бензену реагує з 1 моль хлору з виділенням

15. Напишіть схему співполімеризації стирену з: а) дивінілом; б) акрилонітрилом.
16. Напишіть схеми окиснення толуену, бутилбензену, *o*-ксилену, цимену.
17. З бензену й пропілового спирту отримайте пропілбензен й ізопропілбензен. Отримані вуглеводні окисніть KMnO_4 .
18. Запропонуйте схеми отримання з толуену таких сполук: 2-хлоро-4-нітробензойної кислоти; 5-бромо-2-толуенсульфонової кислоти.
19. Отримайте реакцією електрофільного заміщення етилбензен і піддайте його окисненню KMnO_4 .
20. Назвіть і напишіть хоча би дві реакції, у які бензен вступає інакше, ніж етилен. Вкажіть як на структурну близькість між етиленом, так і на причини, які викликані різницею реакційної здатності стосовно до електрофілів.
21. Поясніть причини різної реакційної здатності бензену й толуену щодо електрофілів.
22. Який тип реакцій найбільш характерний для бензену? Напишіть рівняння трьох різних реакцій цього типу. Який каталізатор часто використовується в цих реакціях? Напишіть механізм однієї з таких каталітичних реакцій, детально пояснивши, як діє каталізатор. Запропонуйте можливий варіант такої реакції: $\text{C}_6\text{H}_5\text{Si}(\text{CH}_3)_3 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{Br} + (\text{CH}_3)_3\text{SiBr}$.
23. Бензен реагує з пропеном у присутності гідроген хлориду, утворюючи ізопропілбензен. Напишіть рівняння реакції. Напишіть формулу карбокатиона, який утворюється при протонуванні пропену, і формулу інтермедіта, який утворюється при приєднанні карбокатиона до бензену. Цей інтермедіт втрачає протон, перетворюючись в ізопропілбензен. Що далі відбувається із цим протоном?
24. Напишіть механізми реакцій: а) алкану з бромом; б) алкену із сульфатною кислотою; в) ароматичного вуглеводню з нітруючою сумішшю.
25. Якого типу реагенти атакують бензенове ядро в реакціях заміщення? Укажіть, якого типу реагенти використовуються при: а) нітруванні бензену; б) ацилюванні бензену.
26. Якого типу реагенти атакують бензенове ядро в реакціях заміщення? Укажіть, якого типу реагенти використовуються при: а) сульфуванні бензену; б) алкілюванні бензену.
27. Як реагують з бенzenом і толуеном хлор і нітратна кислота? У чому полягає відмінність? Напишіть рівняння реакцій.
28. Поясніть, чому при УФ-опроміненні 1 моль бензену реагує з хлором кількістю 3 моль без утворення гідроген хлориду, а в присутності ферум(III) хлориду 1 моль бензену реагує з 1 моль хлору з виділенням

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Курта С.А., Лучкевич Є.Р., Матківський М.П. Хімія органічних сполук. Підручник для вищих навчальних закладів. м. Івано-Франківськ: При-карпат.нац.ун-т ім. В.Стефаника, 2013. – 588 с. вид-во. Прикарпат. нац. у-ту. Авторські права захищені свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір № 52578 від 13.12.2013 р. державним департаментом інтелектуальної власності МОН України.
2. Ластухін Ю. О. Органічна хімія : підруч. [для вищ. навч. закл.] / Ластухін Ю. О., Воронов С. А. – Л. : Центр Європи, 2001. – 864 с.
3. Домбровський А. В. Органічна хімія / Домбровський А.В., Найдан В.М. – М. : Вища шк., 1882. – 503 с.
4. Будова і реакційна здатність органічних сполук / Ганущак М. І., Кириченко В. І., Клим М. І. та ін. – К. : НМК ВО, 1882. – 216 с.
5. Курта С. А. Будова речовини : навчально-методичний посібник / Курта С. А. – Івано-Франківськ ; Калуш : ВДВ ЦІТ Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2007. – 162 с. – (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. № 25385 від 20.08.2008 р.).
6. Курта С. А. Хімія і технологія хлороорганічних сполук : монографія / С. А. Курта. – Івано-Франківськ : ВДВ ЦІТ Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2008 р. – 262 с. – (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір в Україні № 30576 від 08.10.2008 р.).
7. Хімія : збірник тестів для абітурієнтів, які вступають на спеціальності “Хімія” та “Агрохімія і ґрунтознавство” / Курта С. А., Лучкевич Є. Р., Матківський М. Г. та ін. – Івано-Франківськ : Плай, 2005. – 184 с.
8. 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.
9. 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.
10. Серняк І.М., Микитин І.М., Курта С.А., Ляковська М.Р., Методичні вказівки до лабораторних робіт з Органічної хімії(ароматичні вуглеводні). МОН ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,Івано-Франківськ 2018, 118 с.
11. 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.
12. 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