

# РЕАКЦІЇ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН. ДИДАКТИЧНІ МАТЕРІАЛИ

Людмила ВЕЛИЧКО, доктор педагогічних наук, професор, завідувач відділу біологічної, хімічної та фізичної освіти Інституту педагогіки НАПН України

## Взаємний вплив атомів у молекулі

Явище взаємного впливу атомів у молекулах властиве всім речовинам — і неорганічним, і органічним.

Взаємний вплив атомів має електронну природу.

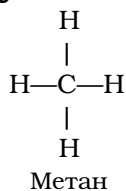
Взаємний вплив атомів у молекулі позначається на хімічній активності речовин.

### Завдання

1. Пригадайте, що таке електронегативність атомів, полярність хімічного зв'язку.

2. Наведіть приклади взаємного впливу атомів у молекулах неорганічних речовин.

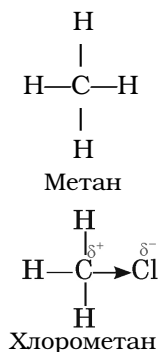
### Індукційний ефект



### Завдання

3. У молекулі метану зв'язки C—H слабко полярні, а молекула в цілому неполярна. Поясніть, унаслідок чого це відбувається.

4. Порівняйте будову молекул метану й хлорометану.



Як змінюється розподіл електронної густини в молекулі внаслідок заміщення атома Гідрогену на атом Хлору?

Під впливом атома Хлору на сусідньому атомі Карбону створюється дефіцит електронної густини, яку він компенсує внаслідок відтягання електронної густини від атомів Гідрогену. Отже, Хлор впливає й на атоми, що не зв'язані з ним безпосередньо.

### Завдання

5. Покажіть це зміщення в наведеній формулі хлорометану.

6. Як вам відомо, молекула метану досить інертна й реагує за особливих умов. Як змінюється хімічна активність хлорометану порівняно з метаном?

7. Яка сполука легше взаємодіє з хлором (реакція заміщення): метан чи хлорометан?

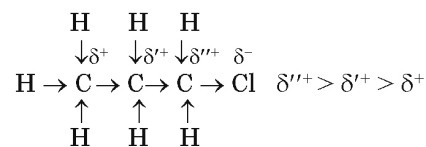
Метильна група —CH<sub>3</sub> своєю чергою впливає на атом Хлору. Порівняємо властивості HCl і CH<sub>3</sub>Cl. Сухий гідроген хлорид не взаємодіє з металами, а Хлор у хлорометані заміщується на активний метал.

### Завдання

8. Наведіть рівняння реакції.

9. Зважаючи на електронегативність атомів галогенів, порівняйте зміщення електронної густини (часткові заряди на атомах Карбону й галогену) в молекулах хлорометану й бромометану. У якій сполуці зв'язок C—Hal більш поляризований?

У молекулах вуглеводнів зміщення електронної густини C—C-зв'язків під впливом атомів галогенів поширюється на весь ланцюг атомів Карбону:

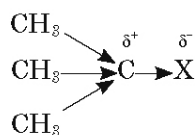


### Завдання

10. Поясніть за схемою згасання часткового позитивного заряду на атомах Карбону вздовж ланцюга.

**Зміщення електронної густини вздовж ланцюга σ-зв'язків, що відбувається в напрямку більш електронегативного атома, називають індукційним ефектом** (від лат. *inductio* — наведення, збудження).

Замісники, що притягують до себе електрони, виявляють **негативний індукційний ефект** (позначають -I), а ті, що відштовхують від себе електрони, — **позитивний індукційний ефект** (позначають +I). Галогени виявляють негативний індукційний ефект, а вуглеводневі групи (алкільні замісники) — позитивний:

**Завдання**

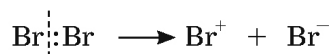
11. Чи можна стверджувати, що метильна група є донором електронів?

**Механізм реакції****Алкани. Механізм реакції заміщення****Завдання**

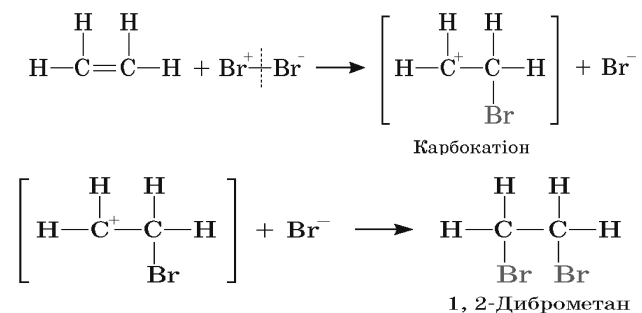
1. Пригадайте, що таке механізм реакції.  
2. Реакція заміщення Гідрогену на галоген відбувається за радикальним механізмом. Поясніть його на прикладі реакції метану з хлором. Опишіть стадії реакції. Наведіть схеми реакції.

**Алкени. Механізм реакції приєднання**

Реакція приєднання галогену до етену відбувається за йонним механізмом, через утворення карбокатиону. Передусім між молекулами етену й галогену відбувається електростатична взаємодія, що спричиняє розривання молекули галогену з утворенням йонів:



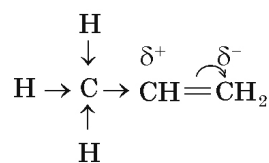
За подвійним зв'язком приєднується катіон Бром у й відтягує на себе електронну густину С=C-зв'язку. Внаслідок зміщення електронної густини сусідній атом Карбону набуває позитивного заряду, перетворюючись на карбокатион, далі карбокатион взаємодіє з аніоном Бром у:



3. Поясніть механізм приєднання полярної молекули гідроген галогеніду до етену. Складіть схему реакції.

**Правило Марковникова**

Подвійний зв'язок є скупченням підвищеного негативного заряду порівняно з одинарним С—С-зв'язком. У симетричній молекулі (етин) цей заряд розподіляється рівномірно, а в несиметричній (пропен) відбувається зміщення електронної густини від метильної групи, подвійний зв'язок поляризується.



Під час реакції приєднання гідроген хлориду позитивно заряджений атом Гідрогену спрямовується до негативно зарядженого атома Карбону, а негативно заряджений атом Хлору — до позитивно зарядженого атома Карбону.

**Завдання**

4. Покажіть це стрілками на схемі реакції:



Згідно з правилом Марковникова **в разі приєднання гідроген галогенідів до несиметричних алкенів атом Гідрогену приєднується за місцем подвійного зв'язку до того атома Карбону, що сполучений із більшою кількістю атомів Гідрогену.**

За цим правилом відбувається й приєднання води до алкенів.

**Завдання**

5. Складіть схему цієї реакції для пропену.

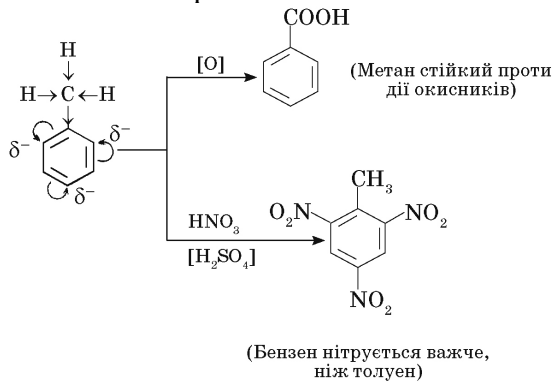
**Арени. Взаємний вплив атомів у молекулі толуену**

У молекулі толуену  $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_3$  метильна група  $-\text{CH}_3$  впливає на фенільну групу  $-\text{C}_6\text{H}_5$  (бензенове ядро), а остатня чинить вплив на метильну групу. Щоб з'ясувати характер цього взаємного впливу, уявімо, що молекула толуену утворилася внаслідок заміщення атома Гідрогену в метані на феніл або внаслідок заміщення атома Гідрогену в бензені на метильну групу. Отже, порівняємо толуен з метаном і бенzenом.

Розглянемо реакції окиснення толуену і метану. Вам відомо, що метан є достатньо стійкою сполукою, не окиснюється типовими окисниками, зокрема не знебарвлює розчин калій перманганату. Якщо ж здійснити цю реакцію з толуеном, то фіолетовий розчин калій перманганату знебарвлюється. Це свідчить, що реакція окиснення відбувається. Метильна група окиснюється до карбоксильної, утворюється бензойна кислота. Отже, фенільна група впливає на метильну.

Тепер порівняємо реакції нітрування толуену і бензену. Бензен взаємодіє під час нагрівання з нітрувальною сумішшю (пригадайте її склад), тобто реакція нітрування відбувається за достатньо жорстких умов. У толуені під впливом метильної групи, що є донором електронів, зростає електронна густина на бензеновому ядрі, яке активізується в певних положеннях, а реакція нітрування відбувається з розведеною нітратною кислотою. Отже, метильна група впливає на фенільну.

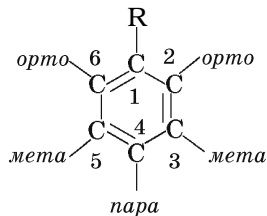
Через взаємний вплив атомів у молекулі толуену ця сполука виявляє більшу хімічну активність порівняно з метаном і бенzenом.



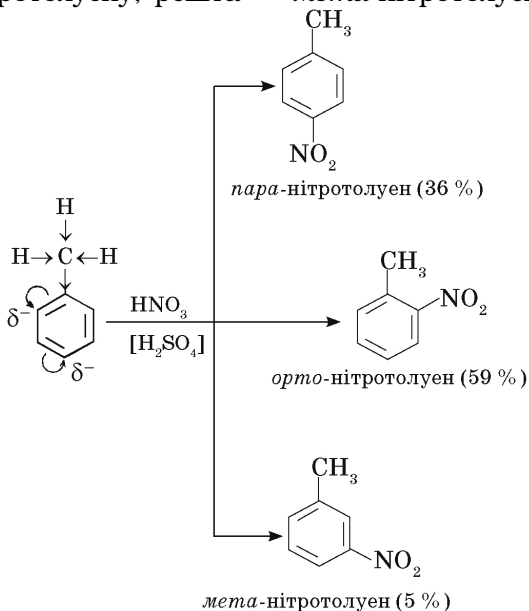
**Орієнтація замісників у бенzenовому ядрі**

Якщо в бенzenовому ядрі вже є один замісник (у толуені – це метильна група), то введення ще одного залежить від впливу першого.

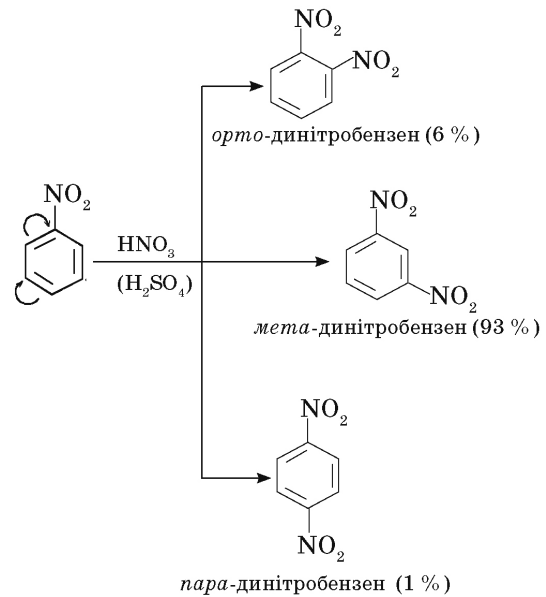
На попередньому прикладі ви переконалися, що метильна група активує атоми Карбону бенzenового ядра в певних положеннях. Пригадайте, як вони позначаються:



Під впливом метильної групи, що є донором електронів, найбільшу електронегативність спостерігають у атомів Карбону в орто- і пара-положеннях. Отже, електрофільні (ті, що «люблять» електрони) реагенти атакуватимуть бенzenове ядро переважно в цих положеннях. Унаслідок нітрування толуену утворюється 59 % орто-нітротолуену, 36 % пара-нітротолуену, решта — мета-нітротолуен.



У нітробензені нітрогрупа відтягує на себе електронну густину бенzenового ядра. Подальше нітрування бенzenу відбувається переважно в мета-положення:

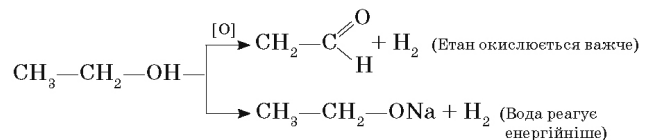


1. Пригадайте, що таке замісники першого і другого роду. До яких груп належать метильна і нітрогрупа?

2. Складіть схему реакції нітрування хлоробензену. Поясніть взаємний вплив замісників у молекулі.

**Спирти. Взаємний вплив атомів у молекулі спирту**

Щоб з'ясувати взаємний вплив атомів у молекулах спиртів, порівняємо реакційну здатність етанолу, етану і води:



Етан, як і інші алкани, окиснюється в жорстких умовах. А етанол під впливом гідроксильної групи окиснюється до етаналю у значно м'якших умовах – під дією калій дихромату або калій перманганату.

Водночас вода енергійно реагує з натрієм, а етанол — значно повільніше. Отже, під впливом етильної групи гідроксильний атом Гідрогену відщеплюється значно важче.

Цікаво, що з подовженням карбонового ланцюга реакція спиртів з натрієм уповільнюється.

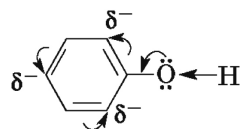
**Завдання**

1. Поясніть це явище, зважаючи на електронну природу взаємного впливу атомів у молекулі.

**Фенол. Взаємний вплив атомів у молекулі фенолу**

У молекулі фенолу неподілена пара електронів атома Оксигену взаємодіє з π-електронною

системою бензенового ядра. Як наслідок — зв'язок Н—О послаблюється, а в бензеновому ядрі підвищується електронна густина в орто- і пара-положеннях:



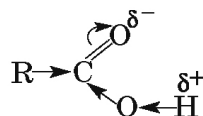
### Завдання

1. Зважаючи на електронну природу взаємного впливу атомів у молекулі, порівняйте хімічну активність фенолу й етанолу в реакції з натрій гідроксидом та фенолу й бензену — в реакції нітрування. Складіть схему, подібну до тієї, що її розглядали для толуєну.

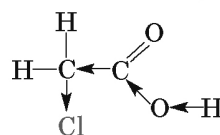
**Карбонові кислоти. Взаємний вплив атомів у молекулі карбонової кислоти**

### Завдання

1. Поясніть за схемою розподіл електронної густини в молекулі одноосновної карбонової кислоти:



2. Поясніть за схемою, який вплив чинить на розподіл електронної густини заміщення атома Гідрогену на атом Хлору в метильній групі етанової кислоти:



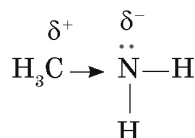
Хлороетанова кислота

3. Порівняйте етанову й хлороетанову кислоти. Яка з них сильніша? Поясніть.

4. Розмістіть у ряд за зростанням кислотних властивостей етанову, трихлороетанову, хлороетанову кислоти. Поясніть.

**Аміни. Взаємний вплив атомів у молекулах амінів**

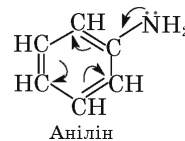
Вам відомо, що амоніак виявляє основні властивості через наявність неподіленої електронної пари в атома Нітрогену. Така сама пара електронів є й у молекулі метанаміну, але розподіл електронної густини в молекулі метанаміну змінюється під впливом метильної групи.



### Завдання

1. Поясніть, посилюються чи послаблюються основні властивості метанаміну порівняно з амоніаком.

2. Поясніть за схемою, як змінюється розподіл електронної густини в молекулі аніліну під впливом бензенового ядра:



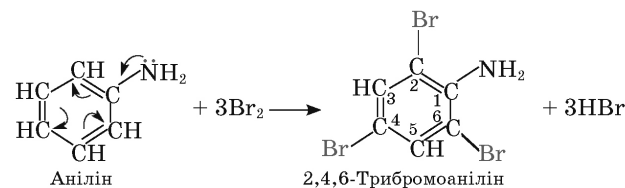
Анілін

3. У чому полягає відмінність між впливом метильної групи в метанаміні й впливом фенільної групи в аніліні?

4. Поясніть посилення (послаблення) основних властивостей метанаміну й аніліну порівняно з амоніаком.

Попереднє порівняння амоніаку, метанаміну й аніліну свідчить про вплив метильної та фенільної груп на здатність атома Гідрогену аміногрупи відщеплюватись. У метанаміні він утримується сильніше, основні властивості посилюються. В аніліні зв'язок N—H послаблюється, внаслідок чого основні властивості також послаблюються.

Порівняємо анілін і бензен щодо здатності реагувати з бромом (реакція заміщення). Вам відомо, що бензен не знебарвлює бромну воду, тобто не реагує з бромом. Унаслідок подібної реакції з аніліном утворюється триброманілін:



### Завдання

5. Поясніть за схемою реакції, чому заміщення атомів Гідрогену на атоми Брому відбувається саме в цих положеннях.

6. Зробіть загальний висновок про природу взаємного впливу атомів у молекулі.

### Реакції органічних речовин різних класів

Хімічні реакції супроводжуються розриванням одних зв'язків і утворенням інших. Вам відомо, що перебіг реакцій залежить від природи речовин, що взаємодіють, їхньої концентрації, температури, наявності каталізатора.

Хімічні реакції органічних речовин мають низку особливостей порівняно з реакціями неорганічних речовин. Органічні речовини реагують повільніше; реакції можуть відбуватися в кількох напрямках; крім основної реакції можуть відбуватися побічні процеси з утворенням побічних продуктів; деякі реакції мають кілька стадій.

З теорії будови органічних сполук ви знаєте, що властивості речовин крім складу молекул визначаються їхньою будовою. Хімічна будова виявляється в наявності карбонових ланцюгів різної довжини й розгалуженості,

циклів; електронна будова — простих і кратних зв'язків у одній молекулі, тобто одночасно  $\sigma$ - і  $\pi$ -зв'язків. Ковалентні зв'язки, що переважають у молекулах органічних сполук, мають значну міцність. Усе це позначається на хімічній активності органічних сполук.

**Завдання**

1. Пригадайте шляхи розривання хімічних зв'язків: з утворенням йонів — гетеролітично або радикалів — гомолітично. Поясніть значення цих термінів.

Відповідно, реакції відбуваються за радикальним або йонним механізмом, про що йшлося на початку цієї теми.

Реакції органічних сполук класифікують за характером змін у будові молекул вихідних речовин за такими типами: окиснення і відновлення, заміщення, приєднання, відщеплення (розкладу), ізомеризації. Є ще й інші типи реакцій, які ви не вивчали.

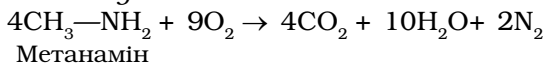
**Реакції окиснення**

**Повне окиснення.** Вам відома горючість органічних речовин, унаслідок чого утворюються вуглекислий газ і вода й виділяється велика кількість теплоти. З хімічного погляду відбувається реакція повного окиснення.

**Завдання**

2. Складіть схеми реакцій повного окиснення алкану, арену, спирту, вуглеводу, тобто сполук, що містять у своєму складі атоми Карбону, Оксигену, Гідрогену.

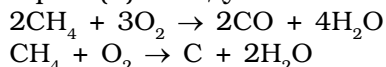
3. Пригадайте реакцію повного окиснення метанаміну:



Поясніть, як змінюється склад продуктів повного окиснення органічної речовини, у складі якої є Нітроген.

**Часткове окиснення** органічних речовин може відбуватись за значно більш різноманітними схемами. Розглянемо деякі приклади.

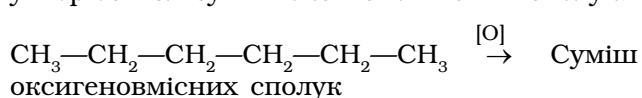
У разі нестачі кисню метан може окиснюватись не до вуглекислого газу, а до вуглецю (сажі) або карбон(II) оксиду:



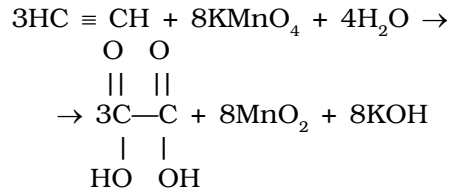
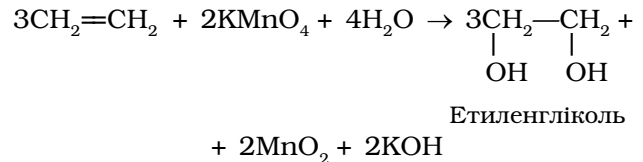
**Завдання**

4. Поясніть, у чому полягає потенційна небезпека цієї реакції.

Часткове окиснення вищих алканів відбувається за наявності каталізатора, при цьому утворюється суміш оксигеновмісних сполук:



Хімічно стійкі алкани не окиснюються калій перманганатом, а алкени й алкіни взаємодіють із цим окисником:



Щавлева кислота

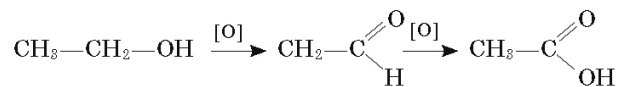
Бензен окиснюється лише за наявності каталізатора, а його алкільні похідні легко окиснюються до ароматичних кислот.

**Завдання**

5. Складіть схему реакції окиснення толуену до бензойної кислоти.

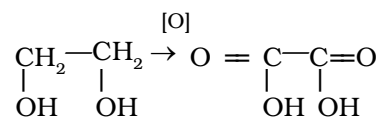
6. Поясніть причину різної активності в реакціях окиснення алканів і бензену; алкенів, алкінів і гомологів бензену.

Унаслідок реакції часткового окиснення відбуваються генетичні переходи від одного до іншого класу сполук. Наприклад, поступовим окисненням спирту можна добути альдегід, а далі — карбонову кислоту:



**Завдання**

7. Часткове окиснення етиленгліколю відбувається за схемою:



Яка сполука утворюється? До якого класу вона належить?

8. Як відбуваються процеси часткового окиснення та відновлення глюкози? Складіть схеми реакцій.

9. Зробіть загальний висновок про значення реакцій окиснення органічних речовин.

10. Складіть рівняння реакції окиснення толуену та вкажіть назву продукту.

- А** бензен
- Б** фенол
- В** бензойна кислота
- Г** саліцилова кислота

Відновлення органічних речовин полягає в приєднанні атомів Гідрогену (гідрогенізація), тому розглянемо їх пізніше, серед реакцій приєднання.

**Реакції заміщення**

У таблиці наведено узагальнені відомості про найважливіші реакції заміщення.

Т а б л и ц я

Сполука	Приклад реакції	Продукт реакції
Алкан	Заміщення атома Гідрогену на атом Хлору	Хлоропохідна алкану
Алкен, алкадієн	Реакції заміщення при кратному зв'язку нехарактерні	
Алкін	Заміщення атома Гідрогену на атом Аргентуму	Аргентум ацетиленід
Бензен	Заміщення атома Гідрогену на нітрогрупу	Нітробензен
Спирт	1. Заміщення атома Гідрогену гідроксильної групи на атом Натрію 2. Заміщення гідроксильної групи на атом бром	Натрій алканолат  Бромоалкан
Фенол	1. Заміщення атома Гідрогену гідроксильної групи на атом Натрію 2. Заміщення атомів Гідрогену бензенового ядра на атоми Бром	Натрій фенолят  Трибромфенол
Альдегід	Заміщення атома Гідрогену в $\alpha$ -положенні до альдегідної групи на атом Хлору	Хлоропохідна альдегіду
Карбонова кислота	1. Заміщення атома Гідрогену карбоксильної групи на атом Магнію. 2. Заміщення гідроксильної групи на атом Хлору 3. Заміщення атома Гідрогену в $\alpha$ -положенні до карбоксильної групи на атом Хлору	Магній алканоат  Хлорангідрид карбонової кислоти $\alpha$ -Хлорозаміщена карбонова кислота
Анілін	Заміщення атомів Гідрогену бензенового ядра на атоми Бром	Триброманілін

**Завдання**

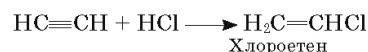
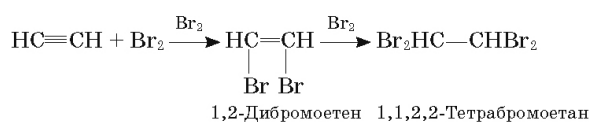
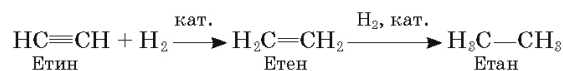
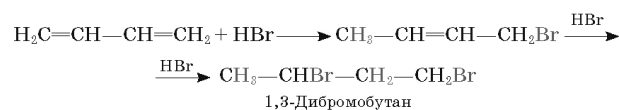
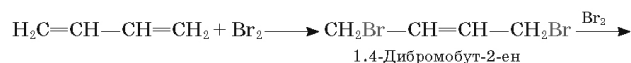
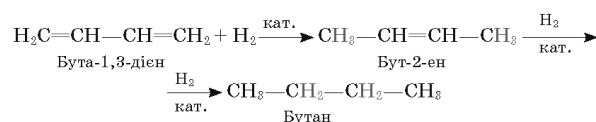
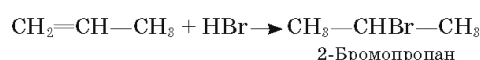
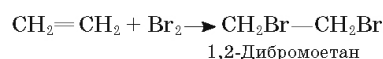
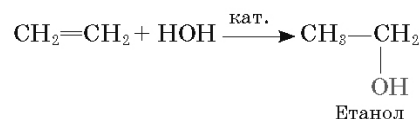
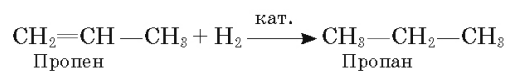
1. Складіть для конкретних речовин схеми реакцій, що їх зайдано в таблиці. Уточніть назви продуктів реакцій.

2. Поясніть радикальний механізм реакції нітрування алканів.

3. Який продукт утворюється внаслідок повного заміщення атомів Гідрогену на атоми Хлору в бензені?

**Реакції приєднання**

Реакції приєднання властиві сполукам, що містять кратні зв'язки. Передусім це алкени, алкадієни, алкіни:

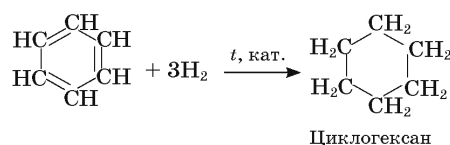


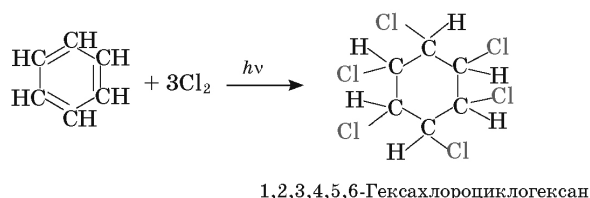
Реакцію приєднання атомів Гідрогену називають **реакцією гідрування**, а реакцію приєднання води — **реакцією гідратації**.

**Завдання**

1. Поясніть, зважаючи на електронну будову молекул, чому реакції приєднання є типовими для ненасичених вуглеводнів.

Вам відомо, що бензен легше взаємодіє в реакціях заміщення порівняно з алканами і важче — в реакціях приєднання порівняно з ненасиченими вуглеводнями.

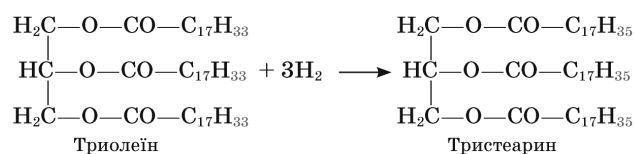


**Завдання**

2. Поясніть ці факти на основі електронної будови молекули бензену.

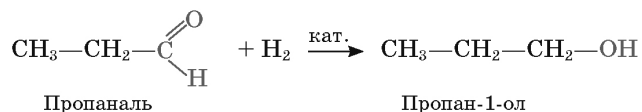
3. За наведеними вище схемами реакцій поясніть, які генетичні переходи відбуваються внаслідок цих реакцій ненасичених вуглеводнів і бензену. До яких класів сполук належать продукти реакцій? Назвіть їх.

4. Пригадайте реакцію гідрування жирів:



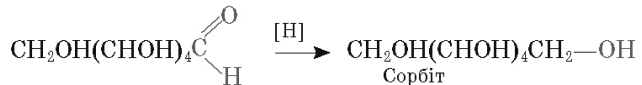
Які жири піддаються гідруванню? Схарактеризуйте значення цієї реакції.

Сполуки, що містять карбонільну групу, а отже, подвійний зв'язок C=O, також взаємодіють з воднем у реакції приєднання, при цьому карбонільні сполуки перетворюються на гідроксильні, тобто відбувається реакція відновлення:

**Завдання**

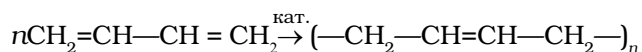
6. Пригадайте, які функціональні групи містить молекула глюкози і як відбувається часткове окиснення цієї сполуки, складіть схему реакції.

7. Реакція відновлення цієї сполуки відбувається за схемою:



Порівняйте реакції окиснення та відновлення глюкози. Які функціональні групи беруть участь у цих реакціях?

**Реакції полімеризації та поліконденсації.** Окремим випадком реакції приєднання є полімеризація:



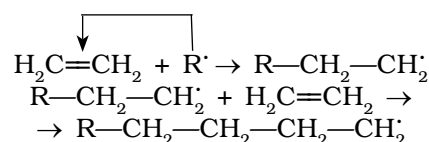
Є два основні способи утворення полімерів: реакція полімеризації та реакція поліконденсації. Обидві реакції вам знайомі в загальному вигляді. Розглянемо їх докладніше.

Реакція **полімеризації** властива ненасиченим речовинам, молекули яких можуть спо-

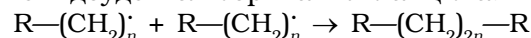
лучатися між собою. Власне реакція полімеризації є різновидом реакції сполучення.

З'ясовано, що полімеризація етену відбувається за радикальним механізмом. Ви можете пригадати радикальну реакцію хлорування метану. У цій реакції радикали, що є надзвичайно активними частинками, утворювалися під дією світла. Полімеризація етену розпочинається завдяки спеціальним речовинам — ініціаторам реакції, які розщеплюються з утворенням радикалів, тобто активних частинок з неспареним електроном (R·)

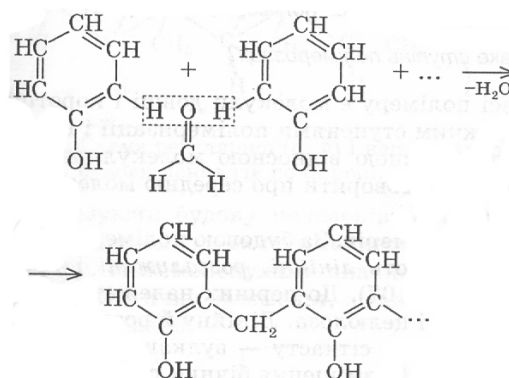
Радикал взаємодіє з π-електронною системою подвійного зв'язку і приєднується до молекули етену. Внаслідок цього утворюється новий радикал, який так само діє на іншу молекулу етену:



З кожною стадією довжина радикала зростає, аж доки не «зустрінуться» два радикали і не відбудеться обривання ланцюга:



Реакція **поліконденсації**, на відміну від реакції полімеризації, відбувається з утворенням побічного продукту, яким найчастіше буває вода або інша низькомолекулярна сполука. У цьому разі молекули сполучаються не через розривання кратних зв'язків, а внаслідок взаємодії функціональних груп, як це відбувається у відомій вам реакції між фенолом і формальдегідом:



Отже, в результаті цих реакцій утворюються полімери.

**Завдання**

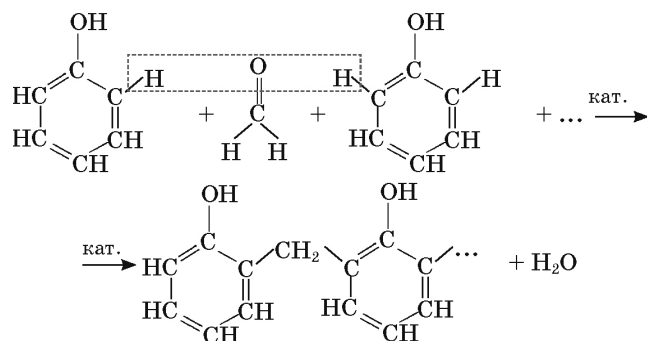
1. Пригадайте, як називають вихідні низькомолекулярні речовини в реакції полімеризації.

2. Як називають групи атомів, що повторюються й становлять основу хімічної будови полімерного ланцюга?

3. Що таке ступінь полімеризації?

4. Реакція полімеризації відбувається за радикальним механізмом. Які інші відомі вам реакції відбуваються так само?

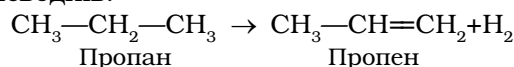
5. Нижче наведено схему реакції поліконденсації фенолу й формальдегіду. Поясніть відмінність між реакціями полімеризації і поліконденсації.



### Специфічні реакції сполук

#### Вуглеводні. Реакції розщеплення

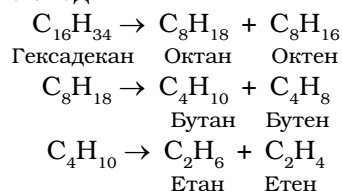
Алкани можуть розщеплюватися по зв'язках C—H або C—C за підвищеної температури (450—1 000 °C). У першому випадку відбувається реакція *дегідрування* (відщеплення водню) з утворенням ненасичених вуглеводнів:



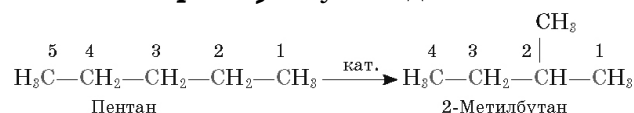
Деструкція карбонового ланцюга в другому випадку відбувається складніше, до дегідрування додаються процеси *ізомеризації* та *циклізації* (ароматизації).

Ці реакції становлять основу процесів *крекінгу* й *риформінгу* нафти.

Розщеплення алканів відбувається за високої температури (термічний крекінг) або за наявності каталізатора (каталітичний крекінг). Температура *крекінгу* сягає понад 500 °C. Унаслідок термічного крекінгу вуглеводнів нафти утворюються переважно ненасичені вуглеводні:



У процесі каталітичного крекінгу відбувається **ізомеризація** вуглеводнів:



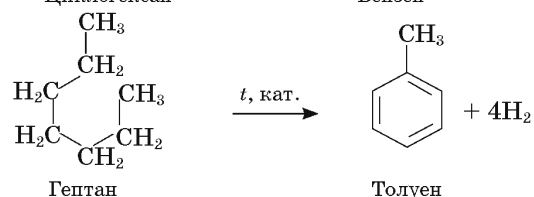
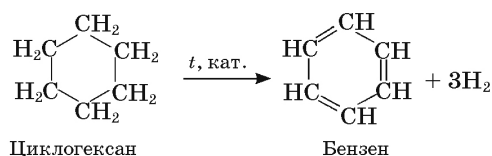
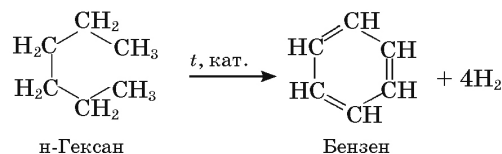
#### Завдання

1. У чому полягає значення цієї реакції для поліпшення якості пального?

2. Пригадайте, що таке октанове число пального. Який сорт пального кращій: бензин-95 чи бензин-76?

3. Що таке цетанове число? У чому полягає принципова відмінність у складі пального для бензинових і дизельних двигунів?

Перетворення неароматичних сполук на ароматичні також відбувається під час крекінгу нафти. Наприклад, циклогексан і гексан перетворюються на бензен:

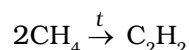


#### Завдання

4. Поясніть хімічну суть наведених реакцій. Які з них належать до реакцій дегідроциклізації?

Процес розщеплення, що відбувається за температури 700—1 000 °C і вище називається *піролізом*.

Пригадайте піроліз метану:



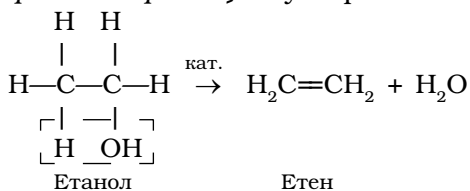
#### Завдання

5. Яка сполука утворюється?

6. Схарактеризуйте значення цієї реакції для промисловості.

### Спирти. Реакції внутрішньо-і міжмолекулярної дегідратації

Спирти беруть участь у реакції **дегідратації**. Перебіг цієї реакції визначається зовнішніми умовами. Якщо етанол нагрівати до температури понад 170 °C із сильною кислотою, наприклад концентрованою сульфатною, або пропускати випари спирту над каталізатором ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), то відбувається реакція *внутрішньомолекулярної дегідратації* з утворенням етену:

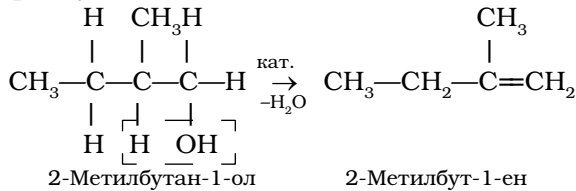




**Завдання**

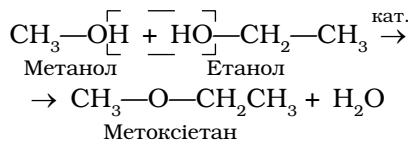
1. Складіть рівняння реакції дегідратації пропанолу. Назвіть речовину, що уворюється.

Відщеплення води від молекули спирту розгалуженої будови відбувається переважно в такий спосіб, що атом Гідрогену відщеплюється від найменш гідрогенізованого атома Карбону:



Якщо ж температура нагрівання не перевищує 140 °С і спирт є в надлишку, то відбувається міжмолекулярна дегідратація з утворенням сполуки, що належить до класу **етерів** загальної формули **R<sup>1</sup>-O-R<sup>2</sup>** (тривіальна назва – *прості ефіри*).

З етанолу утворюється **етоксіетан** (тривіальна назва — *діетиловий етер*). Якщо ж реагує суміш спиртів, наприклад метанол та етанол, то утворюється несиметричний етер — **метоксіетан**:

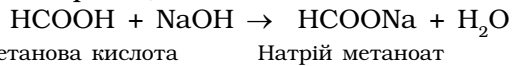


**Завдання**

2. Унаслідок цієї реакції утворюються також два симетричні етери. Складіть відповідні рівняння реакцій.

**Карбонові кислоти. Утворення солей. Реакція естерифікації. Утворення ангідридів**

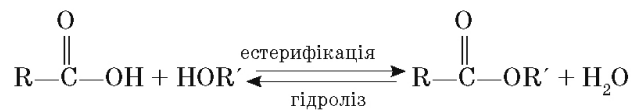
Карбонові кислоти, хоч і належать до слабких електролітів (*крім якої?*), проте вступають у типові реакції кислот:



**Завдання**

1. Наведіть схеми інших реакцій карбонових кислот, типових і для неорганічних кислот.

Карбонові кислоти і спирти взаємодіють з утворенням **естерів**:



**Завдання**

2. Наведіть рівняння реакції між конкретними речовинами за цією схемою.

3. Пригадайте, що таке хімічна рівновага. За яких умов вона встановлюється? Як мож-

на змістити її в бік утворення потрібного продукту?

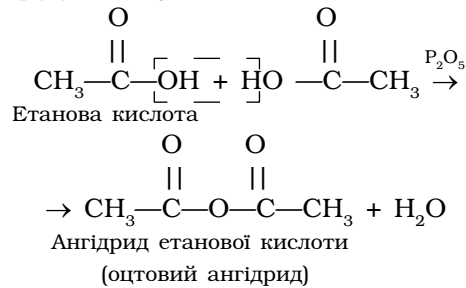
Реакція естерифікації відбувається в кислому середовищі та є оборотною — водночас з естерифікацією відбувається **гідроліз** естеру до спирту і кислоти. Після встановлення рівноваги суміш містить кислоту, спирт, естер і воду.

**Завдання**

4. Що вам відомо про умови реакції естерифікації? У якому разі вона відбувається до кінця?

Своєрідними реакціями карбонових кислот є їхня здатність утворювати ангідриди і хлорангідриди.

Утворення **ангідридів** (від *ан...* і грец. *гідро* — зневоднений) — це реакція міжмолекулярної дегідратації, що відбувається за наявності водовбирних засобів, наприклад фосфор(V) оксиду.



Інакше діє на карбонові кислоти фосфор(V) хлорид — продуктами реакції є **хлорангідриди** карбонових кислот. У цій реакції гідроксильна група кислоти заміщується на атом Хлору.

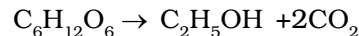
**Завдання**

5. Складіть рівняння реакції утворення хлорангідриду етанової кислоти.

Ангідриди і хлорангідриди належать до хімічно активних речовин. Це зумовлює їх застосування в органічному синтезі.

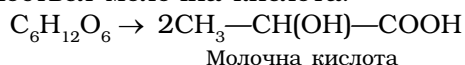
**Глюкоза. Реакції бродіння**

Важливою реакцією глюкози є реакція **бродиння**. Під дією ферментів (природних каталізаторів), що їх виробляють мікроорганізми, відбувається розщеплення молекули глюкози. Зокрема, внаслідок дії ферментів дріжджів і без доступу повітря глюкоза перетворюється на етиловий спирт — відбувається **спиртове бродіння**.



Процеси бродіння дуже поширені у природі; залежно від кінцевого продукту розрізняють бродіння спиртове, оцтовокисле, молочнокисле та інші види. **Оцтовокисле бродіння** відбувається під час скисання вина — утворюється етанова (оцтова) кислота. Скисання молока, квашення капусти, силосування зе-

лених кормів для худоби — все це приклади *молочнокислого бродіння*, внаслідок якого утворюється молочна кислота.



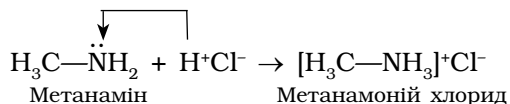
### Аміни

Якщо карбонові кислоти, подібно до неорганічних кислот, взаємодіють з лугами, то аміни, маючи основні властивості, реагують з кислотами. У цьому вони подібні до амоніаку.

#### Завдання

1. Пригадайте, як утворюється йон амонію, яку роль відіграє неподілена електронна пара.

Реакція аміну з кислотою відбувається за донорно-акцепторним механізмом. При цьому до електронної пари атома Нітрогену приєднується протон:



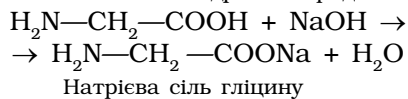
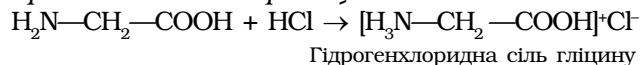
### Амінокислоти

Амінокислоти належать до амфотерних сполук, із такою будовою пов'язана низка специфічних реакцій.

#### Завдання

1. Що таке біполярний йон? Поясніть на прикладі найпростішої амінокислоти.

2. Поясніть амфотерність амінокислот на прикладах таких реакцій:



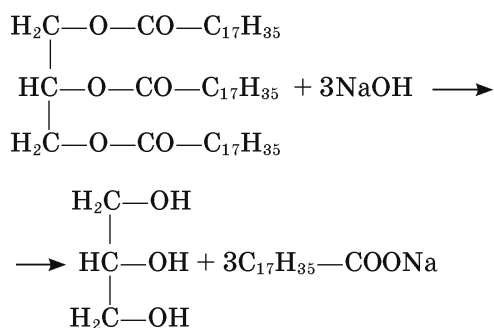
3. Наведіть схему утворення дипептиду. Який новий зв'язок при цьому утворюється?

### Жири, вуглеводи (оліго- й полісахариди), білки

Сполукам цих класів властиві реакції *гідролізу*.

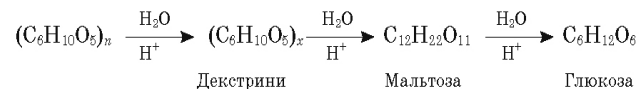
#### Завдання

1. Назвіть сполуки, що утворюються внаслідок лужного гідролізу жиру:



Сахароза, крохмаль, целюлоза гідролізують з утворенням глюкози.

Реакція гідролізу крохмалю відбувається послідовно:



### Завдання

2. Пригадайте, що таке патока. Укажіть тип хімічної реакції, що її здійснюють під час виробництва патоки, яка використовується в харчовій промисловості.

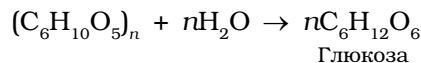
**A** частковий гідроліз

**B** дегідратація

**B** естерифікація

**Г** часткове окиснення

3. Чи можна однозначно стверджувати, яка сполука гідролізує за такою схемою:



Білки гідролізують до амінокислот.

### Завдання

4. Які зв'язки при цьому розщеплюються? Складіть схему гідролізу дипептиду.

5. Поясніть значення гідролізу жирів, вуглеводів, білків для функціонування організму людини.

6. Укажіть, наявність яких груп (зв'язків) можна виявити під час взаємодії білків з концентрованою нітратною кислотою.

**A** кратні зв'язки

**B** аміногрупи

**B** гідроксильні групи

**Г** фенільні групи

7. Установіть відповідність між назвою сполуки і хімічною реакцією, в якій бере участь ця сполука.

Назва сполуки	Хімічна реакція, в якій бере участь сполука
<b>A</b> поліпептид	<b>1</b> гідроліз
<b>B</b> метанамін	<b>2</b> утворення солі з кислотою
<b>B</b> нітробензен	<b>3</b> взаємодія з розчином натрій гідроксиду
<b>Г</b> фенол	<b>4</b> циклізація
	<b>5</b> відновлення

8. Укажіть тип хімічної реакції, що її здійснюють під час виробництва етилбензоату, який має запах м'яти і використовується в харчовій промисловості як запашна речовина.

**A** нітрування

**B** дегідратація

**B** естерифікація

**Г** повне окиснення

9. Складіть рівняння реакції етену з бромною водою й укажіть ознаку реакції.

- A** виділення вуглекислого газу
- B** знебарвлення розчину;
- B** утворення осаду
- Г** забарвлення розчину в фіалковий колір

10. Складіть рівняння внутрішньомолекулярної дегідратації насиченої одноосновної карбонової кислоти. Позначте сполуку, що утворюється внаслідок реакції.

- A** естер
- B** ангідрид
- B** спирт
- Г** вуглекислий газ і вода

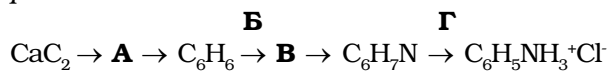
11. Позначте речовини, з якими взаємодіє етанамін.

- A** калій перманганат, кисень
- B** вода, водень
- B** вода, хлоридна кислота
- Г** луг, кисень

12. Укажіть, наявність яких груп (зв'язків) можна виявити під час взаємодії білків з купрум(II) гідроксидом.

- A** пептидних зв'язків
- B** аміногруп
- B** сульфідних груп
- Г** карбоксильних груп

13. Установіть відповідність між літерою та відповідною сполукою, позначеної цією літерою, у наведеній схемі хімічних перетворень.



Літера у схемі перетворень	Б	Г	Відповідна сполука
<b>A</b>	<b>1</b>		суміш $\text{HNO}_3$ і $\text{H}_2\text{SO}_4$
<b>B</b>	<b>2</b>		нітробензен
<b>B</b>	<b>3</b>		хлоробензен
<b>Г</b>	<b>4</b>		етин
	<b>5</b>		хлоридна кислота

14. Установіть послідовність утворення проміжних продуктів під час перетворення метану на натрій етаноат.

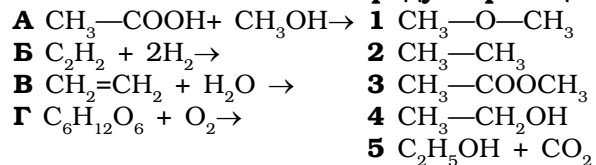
- A** етанол
- B** етанова кислота
- B** етин
- Г** етаналь

15. Установіть послідовність утворення проміжних продуктів під час перетворення метану на натрій етаноат.

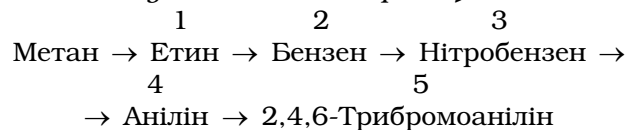
- A** етанол
- B** етен
- B** етин
- Г** етилетаноат

16. Установіть відповідність між реагентом і продуктом реакції.

**Реагент** **Продукт реакції**



17. Відбулися послідовні реакції:



Установіть відповідність між характеристикою реакції та стадією перетворення.

- |  |          |
|--|----------|
| <b>A</b> реакція Зініна                              | <b>1</b> |
| <b>B</b> дія бромної води                            | <b>2</b> |
| <b>B</b> піроліз                                     | <b>3</b> |
| <b>Г</b> реакція Зелінського                         | <b>4</b> |
| <b>Д</b> утворення рідини із запахом гіркого мигдалю | <b>5</b> |

18. Укажіть характерну ознаку реакції окиснення етаналю купрум(II) гідроксидом.

- A** виділення металічної міді
- B** утворення розчину синього кольору
- B** утворення осаду червоно-коричневого кольору
- Г** виділення газу

19. Укажіть реакцію, за допомогою якої можна перетворити гексан на бензин.

- A** окиснення
- B** дегідроциклізація
- B** відновлення
- Г** дегідрування

20. Укажіть реакцію, за допомогою якої можна перетворити етанол на метоксиетан.

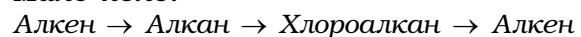
- A** повне окиснення
- B** міжмолекулярна дегідратація
- B** відновлення
- Г** часткове окиснення

21. Установіть відповідність між явищем та його хімічною суттю.

Явище	Хімічна суть явища
<b>A</b> силосування кормів	<b>1</b> утворення нітробензену
<b>B</b> утворення «срібного дзеркала»	<b>2</b> часткове окиснення етену
<b>B</b> утворення рідини із запахом гіркого мигдалю	<b>3</b> гідрування жиру
<b>Г</b> знебарвлення розчину калій перманганату	<b>4</b> молочнокисле бро- діння глюкози
	<b>5</b> взаємодія альдегіду з аргентум(I) оксидом

21. Складіть рівняння реакцій між конкретними речовинами за схемами, що відбуваються перетворення по колу.

**Мале коло:**



Алкін → Алкен → Алкан → Алкін  
 Алкен → Хлороалкан → Спирт → Алкен  
 Алкін → Алкен → Дибромоалкан → Алкін  
 Вуглекислий газ → Моносахарид → Полісахарид → Вуглекислий газ

#### Розширене коло:

1. Алкан → Хлороалкан → Спирт → Алкен → Алкан

2. Спирт → Альдегід → Карбонова кислота → Естер → Спирт

3. Алкан → Хлороалкан → Спирт → Естер → Спирт → Алкен → Алкан

4. Алкан → Хлороалкан → Спирт → Альдегід → Карбонова кислота → Естер → Спирт → Алкен → Алкан

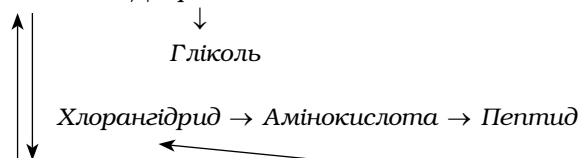
5. Алкан → Хлороалкан → Спирт → Альдегід → Карбонова кислота → Естер → Спирт → Алкен → Хлороалкан → Алкан

#### Розгалужене коло:

6. Арен → Нітросполука → Амін

Алкен → Дибромоалкан → Алкін → Алкен

7. Алкен → Дибромоалкан → Алкін → Алкен



Спирт → Альдегід → Карбонова кислота → Естер → Спирт

8. Гідрування (алкін – алкен) → Галогенування (алкен – дибромоалкан) → Дегідрогалогенування (дибромоалкан – алкін)

9. Окиснення (спирт – альдегід) → Окиснення (альдегід – карбонова кислота) → Естерифікація (карбонова кислота – естер) → Гідроліз (естер – спирт)

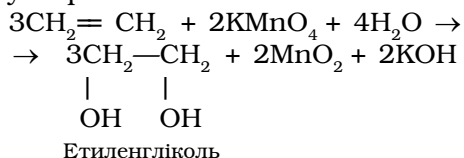
10. Гідроліз (галогеноалкан – спирт) → Дегідратація (спирт – алкен) → Гідрогалогенування (алкен – галогеноалкан)

11. Фотосинтез → Поліконденсація → Повне окиснення → Фотосинтез

#### Іменні реакції органічних речовин

##### Реакція Є. Вагнера (1888 р.).

Окиснення алкенів розведеним розчином калій перманганату в слабколужному середовищі; утворюються гліколі.

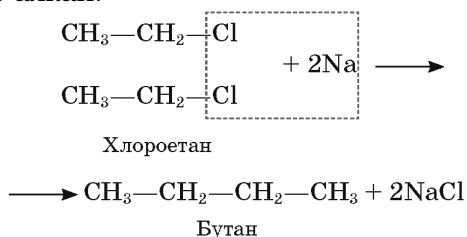


#### Завдання

1. Пригадайте, з якою метою використовують цю реакцію.

#### Реакція Ш. Вюрца (1855 р.).

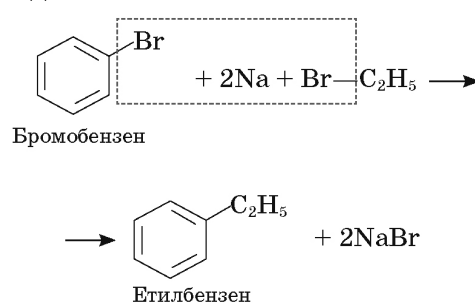
Взаємодія металічного натрію або інших лужних металів з галогеноалканом; утворюється алкан.



2. Цю реакцію застосовують для синтезу симетричних алканів, тобто вихідною речовиною є один галогеноалкан. Які сполуки можуть утворитися, якщо взаємодіють два різні галогеноалкани? Складіть схеми реакцій.

#### Реакція Ш. Вюрца — Р. Фіттіга (1864 р.)

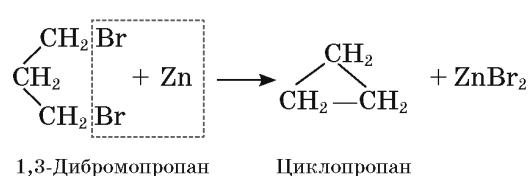
Аналогічно до реакції Ш. Вюрца під дією металічного натрію на суміш галогенопохідних алкана та бензена утворюються ароматичні вуглеводні.



3. Чи можна назвати цю реакцію загальним методом добування гомологів бензену?

#### Реакція Г. Густавсона (1887 р.).

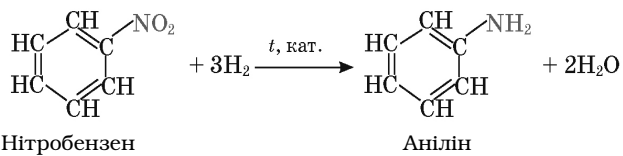
Добування циклоалканів (переважно циклопропану й циклобутану) відщепленням галогенів від дигалогенопохідних алканів під дією активних металів.



4. Порівняйте цю реакцію з реакцією Ш. Вюрца. Чи можна назвати цю реакцію внутрішньомолекулярною реакцією Вюрца? Відповідь обґрунтуйте.

#### Реакція М. Зініна (1842 р.).

М. Зінін уперше добув анілін відновленням нітробензену амоній сульфідом  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ . Нині використовують інші відновники, наприклад чавунні ошурки в середовищі хлоридної кислоти. Загальний вигляд схеми реакції:



Нітробензен

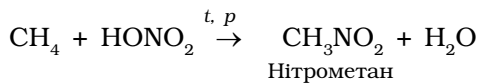
Анілін

**Завдання**

5. Схарактеризуйте значення реакції М. Зініна в історії промислового органічного синтезу.

**Реакція М. Коновалова (1888 р.).**

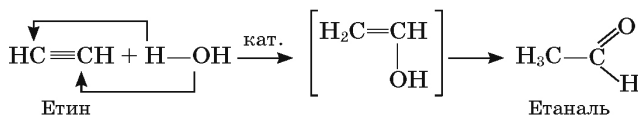
Нітрування алканів розведеною нітратною кислотою.



Нітрометан

**Завдання**

6. Пригадайте, за яким механізмом відбувається ця реакція. Складіть схеми стадій реакції.

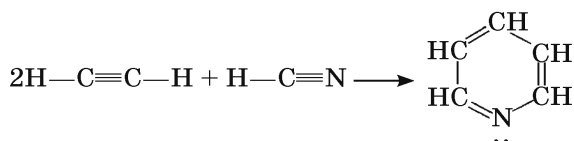
**Завдання**

7. Чому формулу вінілового спирту взято в дужки?

8. З якою властивістю каталізатора цієї реакції (назвіть його) пов'язаний пошук інших способів добування етаналю?

**Реакція В. Рамзая (1877 р.).**

Піридин утворюється внаслідок взаємодії випарів етину й ціанідної кислоти.



Етин Ціанідна кислота

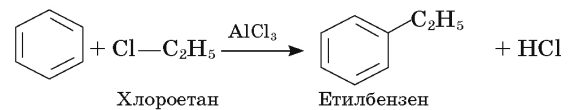
Піридин

**Завдання**

9. Цей метод не набув широкого використання з двох причин: незначний вихід кінцевого продукту та (назвіть другу причину).

**Реакція Ш. Фріделя — Дж. Крафтса (1877 р.).**

Взаємодія галогеноалканів з бенzenом за наявності каталізатора; утворюються гомологи бензену.



Хлороетан

Етилбензен

**Завдання**

10. Складіть схему добування толуену за цим методом.

11. Зверніть увагу на дати відкриття іменних реакцій. На який період припадають ці відкриття? Як це пов'язано з розвитком органічної хімії?

12. За висловлюванням М. Берто, синтетична органічна хімія сама створює власний об'єкт дослідження. Розтлумачте смисл цього висловлювання.

13. Установіть відповідність між прізвищем ученого і його внеском у науку.

**Прізвище вченого Науковий внесок ученого**

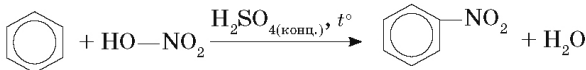
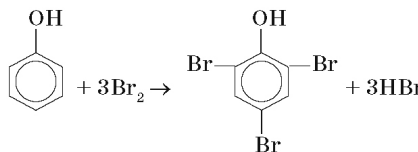
- |                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>А</b> І. Я. Горбачевський | <b>1</b> запровадження терміна органічна хімія             |
| <b>Б</b> І. Я. Берцеліус     | <b>2</b> запровадження поняття про хімічну будову речовин  |
| <b>В</b> Е. Франкланд        | <b>3</b> розроблення теорії кольоровості органічних сполук |
| <b>Г</b> А. І. Кіпріанов     | <b>4</b> синтез сечової кислоти                            |
|                              | <b>5</b> створення вчення про валентність                  |

14. Установіть відповідність між назвою сполуки та іменною реакцією, внаслідок якої утворюється ця сполука.

- |                        |                             |
|------------------------|-----------------------------|
| <b>Назва сполуки</b>   | <b>Іменна реакція</b>       |
| <b>А</b> етаналь       | <b>1</b> реакція Коновалова |
| <b>Б</b> етиленгліколь | <b>2</b> реакція Кучерова   |
| <b>В</b> нітрометан    | <b>3</b> реакція Бутлерова  |
| <b>Г</b> анілін        | <b>4</b> реакція Вагнера    |
|                        | <b>5</b> реакція Зініна     |

**Якісні реакції на деякі органічні речовини**

Речовина	Реактив та ознака реакції	Рівняння реакції
Насичені вуглеводні	За стандартних умов не беруть участі в хімічних реакціях	—
Етен	Знебарвлення розчину калій перманганату	$3\text{CH}_2=\text{CH}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_2-\text{CH}_2 + 2\text{MnO}_2 + 2\text{KOH}$ <div style="text-align: center;"> <math>\begin{array}{cc}   &amp;   \\ \text{OH} &amp; \text{OH} \end{array}</math>           Етиленгліколь         </div>
	Знебарвлення бромної води	$\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CH}_2\text{Br}-\text{CH}_2\text{Br}$ 1,2-Диброметан

Речовина	Реактив та ознака реакції	Рівняння реакції
Етин	Знебарвлення розчину калій перманганату (повільніше порівняно з аналогічною реакцією етену)	$\text{CH} \equiv \text{CH} + 8\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{C} - \text{C} \\   \quad   \\ \text{HO} \quad \text{OH} \end{array} + 8\text{MnO}_2 + 8\text{KOH}$ <p style="text-align: center;">Щавлева кислота</p>
	Знебарвлення бромної води (повільніше порівняно з аналогічною реакцією етену)	$\text{CH} \equiv \text{CH} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{CHBr}_2 - \text{CHBr}_2$ <p style="text-align: center;">1,1,2,2-Тетрабромоетан</p>
	Утворення білого осаду з амоніачним розчином аргентум(I) оксиду	$\text{CH} \equiv \text{CH} + 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} \rightarrow \text{Ag} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{Ag} \downarrow + 4\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">Аргентум ацетиленід</p>
	Утворення червоно-коричневого осаду з амоніачним розчином купрум(I) хлориду	$\text{CH} \equiv \text{CH} + 2[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} \rightarrow \text{Cu} - \text{C} \equiv \text{C} - \text{Cu} \downarrow + 4\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{HCl}$ <p style="text-align: center;">Купрум(I) ацетиленід</p>
Бензен	Утворення важкої жовтуватої рідини із запахом гіркого мигдалю внаслідок дії суміші нітратної і сульфатної кислот	 <p style="text-align: center;">Нітробензен</p>
Етанол	Утворення жовтого осаду з йодом у лужному середовищі	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH} + 4\text{I}_2 + 6\text{NaOH} \rightarrow \text{CHI}_3 + \text{HCOONa} + 5\text{NaI} + 5\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">Йодоформ</p>
Гліцерол	Утворення яскраво-синього розчину з купрум(II) гідроксидом	$2 \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{OH} \\   \\ \text{CH} - \text{OH} \\   \\ \text{CH}_2 - \text{OH} \end{array} + \text{Cu}(\text{OH})_2 \rightarrow \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_2\text{C} - \text{O} \cdots \text{Cu} \cdots \text{O} - \text{CH}_2 \\   \quad \quad \quad   \\ \text{HC} - \text{O} \cdots \quad \quad \quad \text{O} - \text{CH} \\   \quad \quad \quad   \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{HO} - \text{CH}_2 \\   \\ \text{H}_2\text{C} - \text{OH} \end{array} + 2\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">Купрум(II) гліцерат</p>
Фенол	Утворення білого осаду з бромною водою	 <p style="text-align: center;">2,4,6-Трибромофенол</p>
	Утворення фіолетового розчину з ферум(III) хлоридом	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Комплексна сполука}$
Альдегіди	Утворення червоного осаду з купрум(II) гідроксидом під час нагрівання	$\text{R} - \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\   \\ \text{H} \end{array} + 2\text{Cu}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t^\circ}$ $\xrightarrow{t^\circ} \text{R} - \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\   \\ \text{OH} \end{array} + \text{Cu}_2\text{O} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$
	Утворення «срібного дзеркала» з амоніачним розчином аргентум(I) оксиду	$\text{R} - \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\   \\ \text{H} \end{array} + 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} \rightarrow$ $\rightarrow \text{R} - \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C} \\   \\ \text{OH} \end{array} + 2\text{Ag} \downarrow + 4\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
Карбонові кислоти	Зміна забарвлення індикаторів лакмусу й метилового оранжевого на червоний колір	$\text{R} - \text{COOH} \rightarrow \text{R} - \text{COO}^- + \text{H}^+$
Етанова кислота	Утворення темно-червоного осаду з ферум(III) хлоридом	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{FeCl}_3 \rightarrow \text{Комплексна сполука}$

Речовина	Реактив та ознака реакції	Рівняння реакції
Метанова кислота	Утворення «срібного дзеркала» з амоніачним розчином аргентум(I) оксиду	$\text{HCOOH} + \text{Ag}_2\text{O} \xrightarrow[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]{t^\circ} \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} + 2\text{Ag} \downarrow$
Глюкоза	Проба на альдегідну групу	$\text{CH}_2\text{OH}-(\text{CHOH})_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} + 2\text{Cu}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t^\circ}$
	Утворення червоного осаду з купрум(II) гідроксидом під час нагрівання	$\xrightarrow{t^\circ} \text{CH}_2\text{OH}-(\text{CHOH})_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{Cu}_2\text{O} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">Глюконова кислота</p>
	Проба на гідроксильні групи	$\begin{array}{c} \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{H} \\   \\ (\text{CHOH})_2 \\   \\ 2\text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array} + \text{Cu}(\text{OH})_2 \rightarrow$ $\begin{array}{c} \text{C}=\text{O} \qquad \qquad \text{C}=\text{O} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{H} \qquad \qquad \qquad \text{H} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ (\text{CHOH})_2 \qquad \qquad (\text{CHOH})_2 \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{O} \qquad \dots \text{O}-\text{C}-\text{H} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{H}-\text{C}-\text{O} \qquad \dots \text{O}-\text{C}-\text{H} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{CH}_2-\text{OH} \qquad \qquad \text{CH}_2-\text{OH} \end{array} + 2\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">Купрум(II) глюконат</p>
Утворення «срібного дзеркала» з амоніачним розчином аргентум(I) оксиду	$\text{CH}_2\text{OH}-(\text{CHOH})_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} + \text{Ag}_2\text{O} \xrightarrow[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]{t^\circ}$ $\rightarrow \text{CH}_2\text{OH}-(\text{CHOH})_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + 2\text{Ag} \downarrow$	
Крохмаль	Поява синього забарвлення внаслідок взаємодії з йодом	—
Анілін	Утворення білого осаду з бромною водою	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + 3\text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_2\text{Br}_3\text{NH}_2 + 3\text{HBr}$ <p style="text-align: center;">2,4,6-Трибromoанілін</p>
Білок	Поява фіолетового забарвлення внаслідок взаємодії з купрум(II) гідроксидом	Біуретова реакція виявляє наявність пептидних зв'язків
	Поява жовтого забарвлення внаслідок взаємодії з концентрованою нітратною кислотою	Ксантопротеїнова реакція виявляє наявність бензенових ядер у складі білка