

Лекція 13-14. Оксосполуки

Мета: розглянути основні класи оксосполук; ознайомитись із будовою альдегідів, кетонів і хінонів, їх ізомерією та номенклатурою, основними джерелами та методами синтезу оксосполук; засвоїти їх фізичні та хімічні властивості; набутти уявлення про особливості застосування оксосполук.

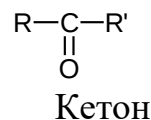
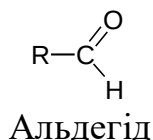
План

1. Будова альдегідів і кетонів. Номенклатура. Ізомерія.
2. Методи добування.
3. Фізичні властивості.
4. Хімічні властивості.
5. Значення та біологічні властивості альдегідів і кетонів.
6. Загальна характеристика хінонів.
7. Методи добування.
8. Фізичні властивості.
9. Хімічні властивості.
10. Значення.

Основні терміни та поняття: оксогрупа, альдегіди, кетони, хінони, реакції приєднання, реакції відщеплення, альдоль, кротонова конденсація, аддукт, хінгідрон.

1. Будова альдегідів і кетонів. Номенклатура. Ізомерія.

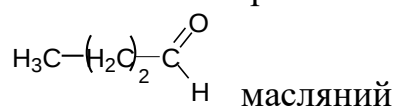
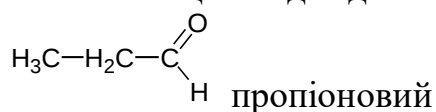
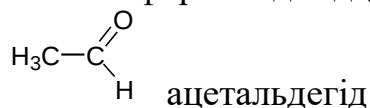
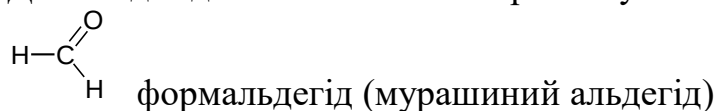
Оксосполуки мають функціональну карбонільну оксогрупу: $>C=O$.

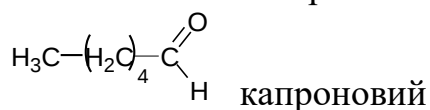
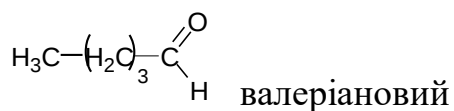


Залежно від того, з яким радикалом зв'язана альдегідна або кетонна група, оксосполуки поділяються на:

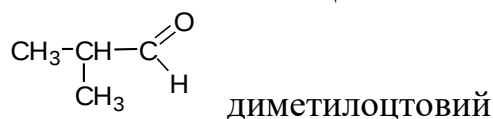
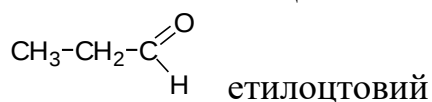
- а) аліфатичні (насичені та ненасичені);
- б) ароматичні;
- в) гетероциклічні.

Для альдегідів найчастіше використовують тривіальну номенклатуру:



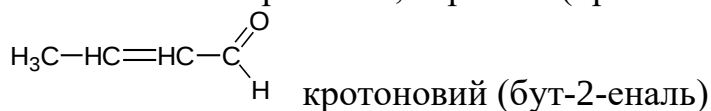
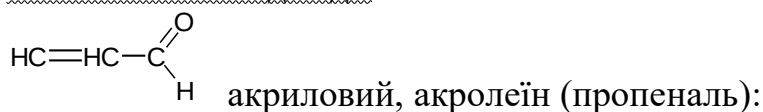


Інколи використовують раціональну номенклатуру (в основі лежить оцтовий альдегід):

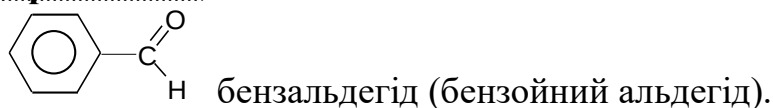


За номенклатурою IUPAC назви альдегідів утворюють із назв відповідних вуглеводнів, додаючи до них суфікс **-аль**. Головний ланцюг у молекулі альдегіду обирають так, щоб в нього обов'язково входив атом Карбону карбонільної групи. Нумерацію карбонового ланцюга починають з атома Карбону карбонільної групи: метаналь, етаналь.

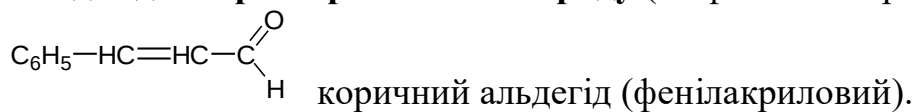
Ненасичені альдегіди:



Ароматичні:

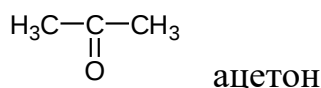


Альдегіди жирно-ароматичного ряду (аліфатика та ароматика):



Кетони:

1) найчастіше використовують тривіальну назву:

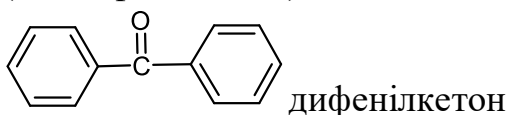
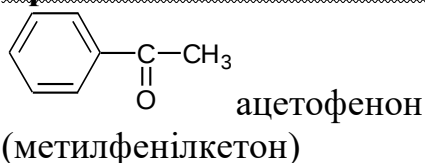


2) за IUPAC назву кетонів також утворюють з відповідного вуглеводню, додаючи до неї суфікс **-он**. У назві зазначають також номер атома Карбону, сполученого з карбонільним атомом Оксигену (пропан-2-он, пентан-3-он);

3) кетони називають часто за назвою радикалів, сполучених із карбонільною групою: диметилкетон, етилметилкетон (раціональна назва);

4) якщо молекула, крім оксогрупи, містить іншу функціональну групу, то додають префікс **оксо-** (2-оксопропан, 3-метил-2-оксобутан).

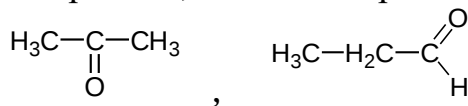
Ароматичний ненасичений зв'язок:



Кетони та альдегіди ізомерні по відношенню один до одного.

Загальна формула: $C_nH_{2n}O$.

Наприклад, ацетон та пропаналь (ізомери):



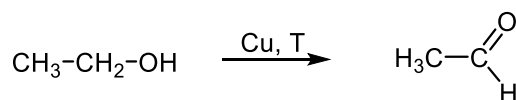
Ізомерія альдегідів пов'язана з розгалуження карбонового ланцюга радикала і в гомологічному ряду цих сполук починається з 4-го члена ряду, який існує у вигляді масляного та ізомасляного альдегідів; ізомерія положення функції неможлива.

Для ненасичених альдегідів характерна геометрична ізомерія.

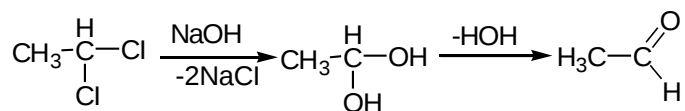
Ізомерія кетонів залежить як від будови алкільних груп радикалів, так і від положення карбонільної групи в молекулі кетону. Кетон, для якого починається ізомерія, має у своєму складі п'ять атомів Карбону (пентан-2-он, пентан-3-он).

2. Методи добування.

а) Окисненням спиртів: має інтерпретацію; з первинного спирту отримують альдегід, із вторинного – кетон; третинні спирти важко окиснюються:

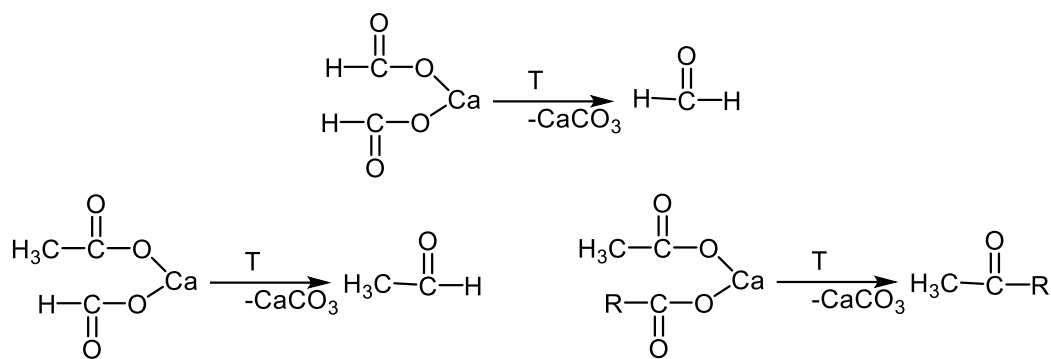


б) гідроліз гемінальних дигалогенопохідних:

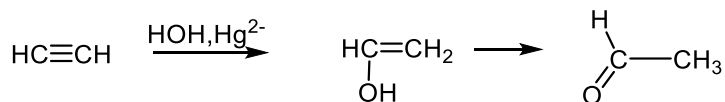


в) оксосинтез (із ненасичених сполук):

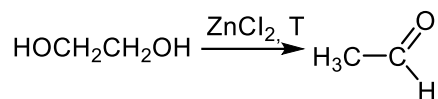
г) піроліз суміші кальцієвих, магнієвих або торієвих солей, що зумовлює утворення альдегідів або кетонів: якщо маємо суміш різноманітних кислот, утворюються різні кетони:



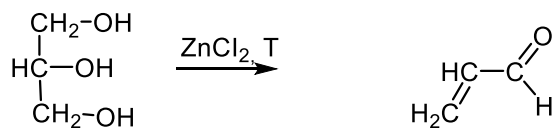
д) гідратація ацетиленових вуглеводнів (за реакцією Кучерова):



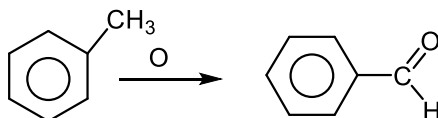
є) дегідрування спиртів:



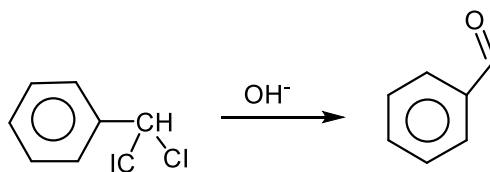
е) ненасичені альдегіди з гліцерину (при прогріванні жирів) або в присутності каталізатора, а також із галогенопохідного альдегіду:



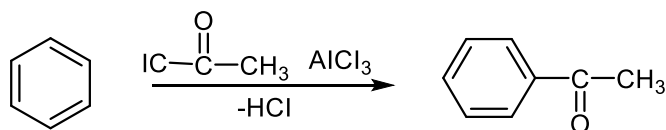
ж) ароматичні альдегіди з толуолу:



з) із дигалогенопохідних (лужний гідроліз):



і) реакція Фріделя-Крафтца (утворюються ароматичні кетони):



Найважливіший представник кетонів – **ацетон**. Методи добування:

- 1) суха перегонка деревини;
- 2) ацетон-бутанольне бродіння;
- 3) окиснення пропан-2-ол (ізопропанолу);

4) окиснення кумолу (ізопропілбензолу).

3. Фізичні властивості.

Перший представник альдегідів – мурашиний альдегід – газ; інші нижчі альдегіди – рідини, легко розчинні у воді (ацетон); вищі альдегіди та кетони – тверді речовини.

В альдегідах і кетонах, на відміну від спиртів, немає рухомих атомів Гідрогену. Їх молекули не асоційовані, тому t^0 кип. та t^0 пл. значно нижчі, ніж у відповідних спиртів.

Метаналь – газ

Метанол – рідина

Водночас t^0 кип. оксосполук значно вищі за t^0 кип. відповідних вуглеводнів. Це пов'язано з високою полярністю альдегідів і кетонів. Густина альдегідів і кетонів < 1 . Вважають, що карбонільна група – осмофор – носій запаху, мурашиний альдегід має різкий запах, його 40%-й водний розчин називають формаліном (консервант). Інші нижчі альдегіди мають задушливий запах, який при сильному розведенні стає приємним і нагадує запах овочів та фруктів. Кетони пахнуть досить приємно.

Фізико-хімічні властивості:

ІЧ-спектри мають інтенсивну смугу коливань карбонільної групи в області $1740-1720\text{ см}^{-1}$ (для альдегідів) і $1725-1705\text{ см}^{-1}$ (для кетонів).

Альдегіди мають валентне коливання С-Н-групи біля 2720 см^{-1} .

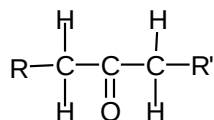
В УФ-спектрах альдегіди та кетони поглинають в області 280 нм.

У спектрах ПМР сигнал протона альдегідної групи знаходиться в області $9-10\text{ млн}^{-1}$.

4. Хімічні властивості:

Електронна будова карбонільної групи $\text{C}=\text{O}$ схожа з електронною будовою подвійного зв'язку, тобто в карбонільній групі $\text{C}=\text{O}$ є один σ -зв'язок та один π -зв'язок. Карбон знаходиться в sp^2 -гібридному стані. На відміну від подвійного зв'язку, карбонільний зв'язок дуже поляризований унаслідок значно більшої електронегативності атома Оксигену.

Тому рухомі електрони π -зв'язку зміщуються в бік атома Оксигену. В результаті цього кисень має δ^- , карбон δ^+ , зв'язок поляризований:



У зв'язку з тим, що зв'язок дуже поляризований, карбон δ^+ відтягує на себе і сусіди мають δ^+ .

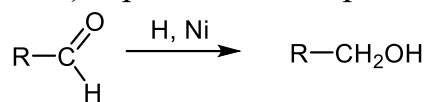
Унаслідок цього Гідрогени при α -атомах Карбону стають рухливими. Висока полярність зв'язку $\text{C}=\text{O}$ обумовлює високу реакційну здатність альдегідів та кетонів.

Найбільш характерні такі реакції:

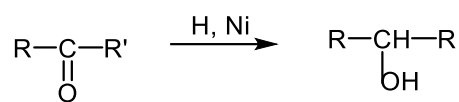
- 1) приєднання за карбонільною групою;
- 2) заміщення кисню карбонільної групи;

- 3) реакції у вуглеводневому радикалі;
- 4) реакції конденсації;
- 5) реакції полімеризації;
- 6) реакції окиснення.

1. а) приєднання гідрогену:

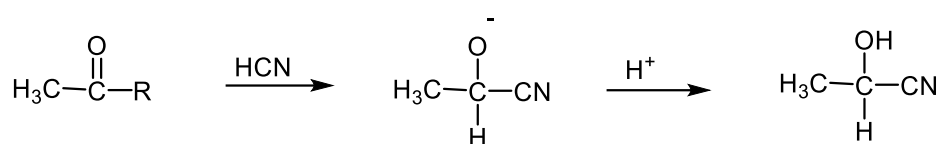


первинні спирти



вторинні спирти

б) приєднання синильної кислоти:

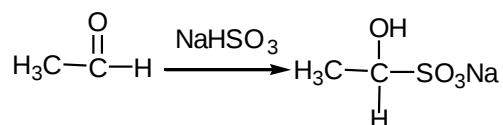


оксинітрил

ацетальдегіду

Механізм: спочатку реакція йде повільно – CN^- атакує δ^- . У результаті взаємодії утворюється аніон, який приєднує протон.

в) приєднання гідросульфїту натрію (NaHSO_3):



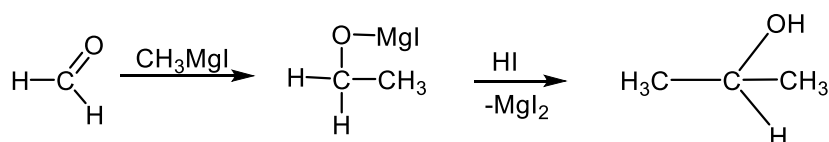
Утворюються гідросульфїтні похідні. Реакція протікає за механізмом нуклеофільного приєднання (A_N);

δ^+ – найбільший у першого представника – метаналю;

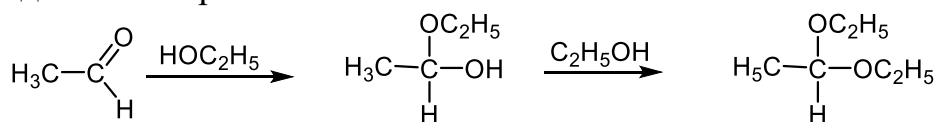
При введенні алкільного радикала δ^+ гаситься за рахунок $+I$ (позитивного індуктивного ефекту). Чим більший радикал, тим більше зменшується реакційна здатність. Ще менша реакційна здатність для кетонів. Реакції приєднання характерні для кетонів, які мають ацетогрупу. Це пов'язано з екрануванням.

Гідросульфїтні сполуки – кристалічні речовини. Ця реакція використовується для якісного визначення альдегідів та кетонів; для їх виділення у суміші з іншими сполуками та очистки.

г) приєднання магнійорганічних сполук (реактив Грін'єра):



д) приєднання спиртів:



напівацеталь

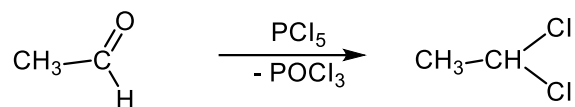
повний ацеталь

Спочатку утворюється напівацеталь оцтового альдегіду потім – повний ацеталь.

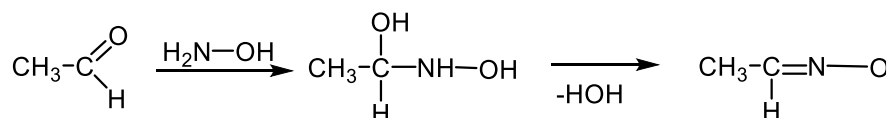
2. Реакції заміщення:

а) заміщення карбонільного кисню на галоген:

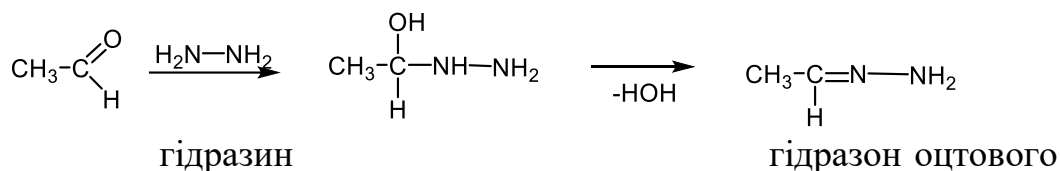
При взаємодії альдегідів і кетонів із PCl_5 відбувається заміщення карбонільного кисню в їх молекулах на атоми хлору. В результаті утворюються гемінальні дихлоралкани:



б) реакції заміщення кисню на замісники аміновмісних сполук:

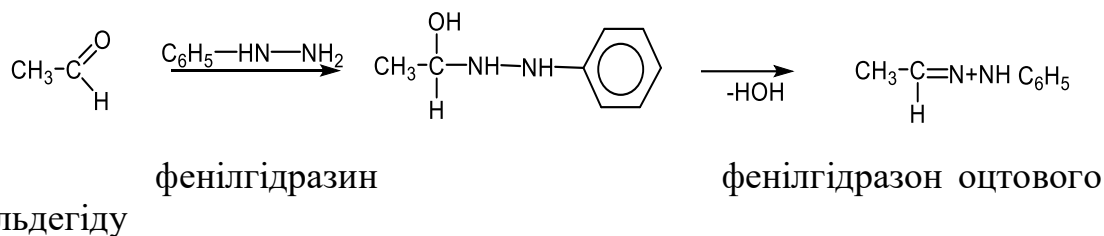


в) взаємодія з гідрaziном:

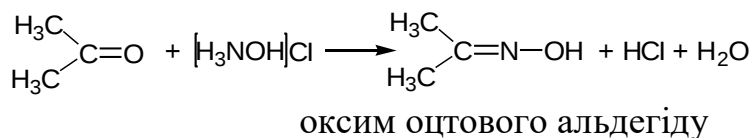


альдегіду

г) взаємодія з фенілгідрaziном:



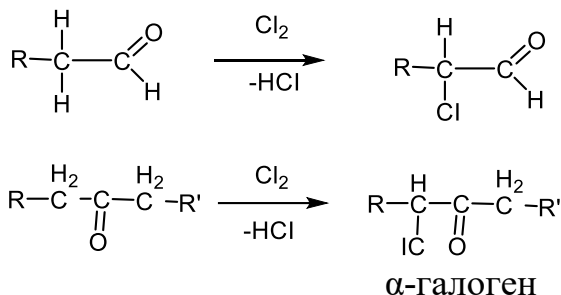
д) взаємодія з гідроксиламіном:



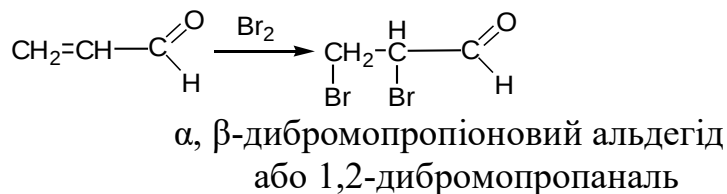
Подібні реакції дають і кетони, при чому ароматичні кетони більш реакційноздатні, ніж аліфатичні. Це пов'язано з електронно-акцепторним або електронно-донорним впливом функцій цих угруповань.

Альдегіди більш реакційноздатні, ніж кетони в цих реакціях. Оксими та фенілгідразони – кристалічні речовини з характерними для кожної карбонільної сполуки температурами плавлення. Їх використовують для аналітичної характеристики альдегідів і кетонів чи для виділення альдегіду або кетону із суміші речовин інших класів.

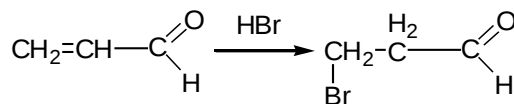
Унаслідок цього рухливий Гідроґен достатньо легко відходить у вигляді протона. Галогенування альдегідів і кетонів відбувається значно легше, ніж для відповідних вуглеводнів.


$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{R}-\text{C}-\text{C}=\text{O} \\ | \quad \backslash \\ \text{Cl} \quad \text{H} \end{array} \xrightarrow[\text{-3HCl}]{\text{3Cl}_2} \begin{array}{c} \text{Cl} \\ | \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}=\text{O} \\ | \quad \backslash \\ \text{Cl} \quad \text{H} \end{array} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{CHCl}_3 + \begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{H}-\text{C} \\ | \\ \text{ONa} \end{array}$$

а) знебарвлення бромної води:



б) взаємодія з гідрогенгалогенідами (HHal):

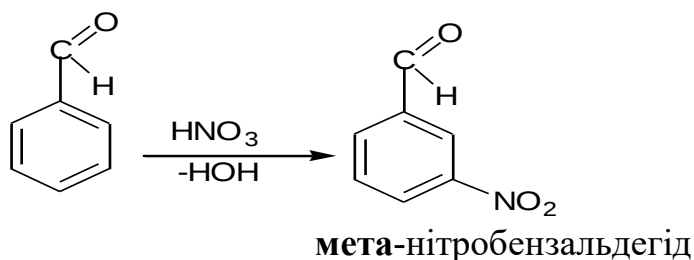


Унаслідок електронних ефектів реакція протікає всупереч **правила Марковникова**.

Ароматичні альдегіди та кетони.

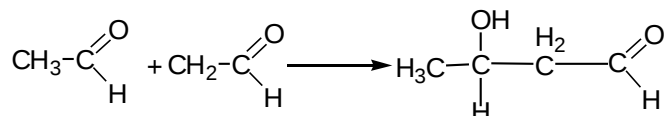
У випадку ароматичних альдегідів і кетонів реакції у вуглеводневому радикалі – це реакції електрофільного заміщення (S_E) в ароматичному ядрі (галогенування, нітрування, сульфування).

У зв'язку з тим, що карбонільна група – орієтант II роду, орієнтація відбувається по відношенню цієї групи в *мета*-положення: ця реакція протікає аналогічно для кетонів;



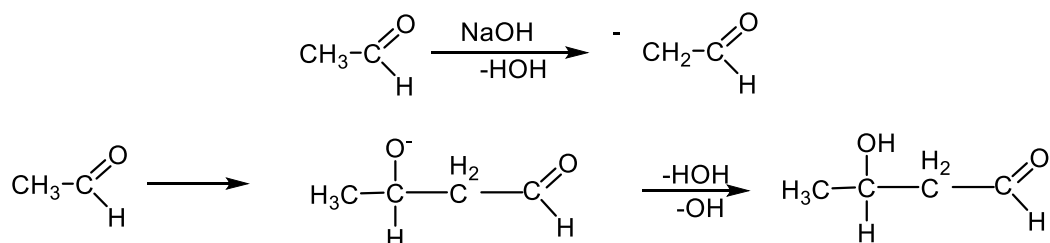
в) реакції конденсації; реакціями конденсації називаються реакції ущільнення органічних молекул, які зумовлюють утворення більш складних сполук у результаті виникнення нових С-С зв'язків.

Наприклад, при конденсації оцтового альдегіду під впливом лугів одна молекула альдегіду реагує зі своєю карбонільною групою, а інша – з атомом Карбону в α -положенні відносно карбонілу, що містить рухомий атом Гідрогену.

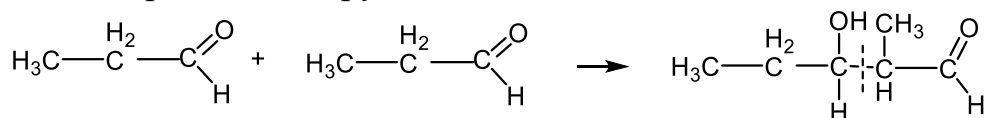


Ця реакція називається **альдольною конденсацією**. Конденсацію двох молекул альдегідів або кетонів, унаслідок якої утворюються альдегідо- або кетонспирти, називають **альдольною конденсацією**. Сполука, що утворилася, називається **альдолом**.

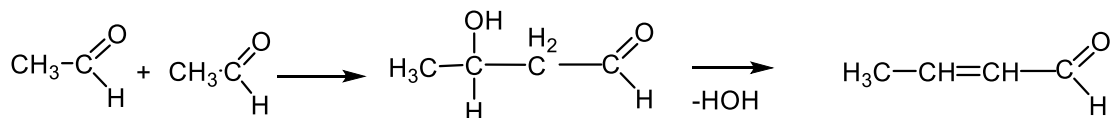
Каталізатор цього процесу – луги. Їх роль полягає в утворенні карбаніону.



Альдольна конденсація йде за рахунок атома Гідрогену тільки в α -положенні до карбонільної групи.

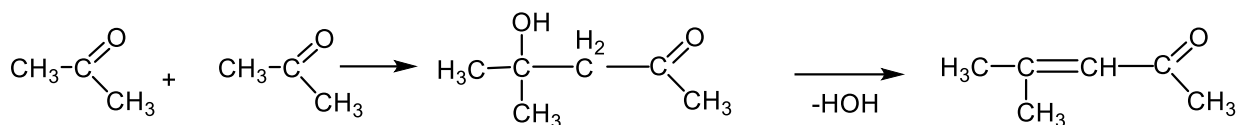


Якщо гідроксильна група (ОН) знаходиться у β-положенні, утворюються нестійкі сполуки. В результаті взаємодії ОН-групи у β-положенні та рухливого атома Гідрогену в α-положенні відщеплюється молекула води з утворенням α,β-ненасиченої сполуки.

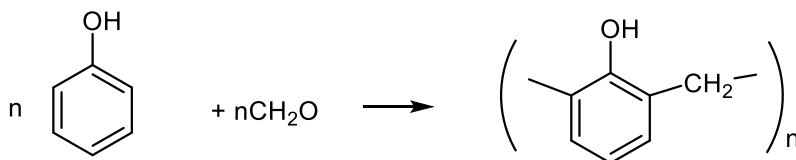


У результаті цієї реакції утворюється **ненасичений кротоновий альдегід**, а реакція називається **кротоною конденсацією**.

У випадку кетонів реакція відбувається аналогічно:



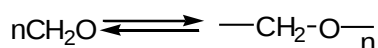
г) утворення фенолформальдегідних смол:



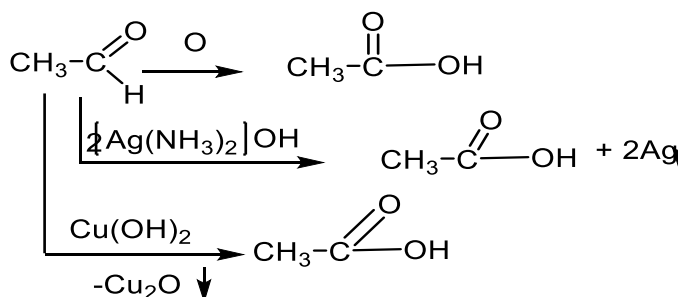
д) реакції полімеризації. Альдегіди містять високо реакційноздатний подвійний зв'язок C=O і завдяки його наявності можуть полімеризуватися. Для кетонів реакції полімеризації нехарактерні.

Полімеризація альдегідів може бути циклічна й лінійна.

У результаті полімеризації мурашиного альдегіду утворюється параформ (присутність H₂SO₄ розведеної), а при полімеризації оцтового альдегіду – триоксан (t = 20 °C, присутність H₂SO₄ концентрованої):

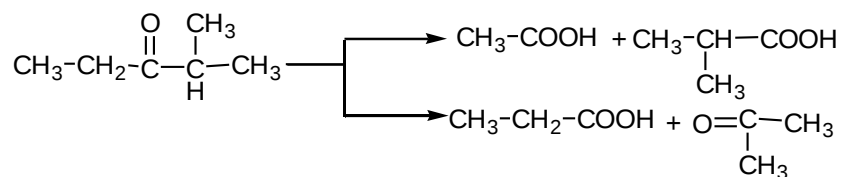


е) реакції окиснення. Альдегіди легко окиснюються до карбонових кислот із тією ж кількістю атомів Карбону. Вони можуть окиснюватися киснем повітря, а також достатньо слабкими окисниками: Cu(OH)₂; [Ag(NH₃)₂]:

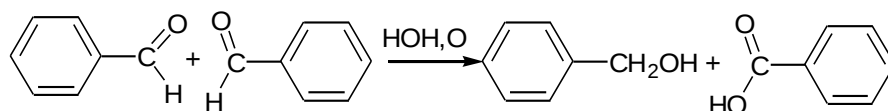


Ці реакції **якісні на альдегідну групу**, кетони в ці реакції **не вступають**.

Окиснення кетонів відбувається значно складніше. Вони не окиснюються слабкими окиснювальними агентами, а тільки під дією KMnO_4 або хромової суміші:



є) окисно-відновна реакція Канніццаро (диспропорціювання):



У результаті цієї реакції одна молекула альдегіду відновлюється до спирту, а інша при цьому окиснюється до карбонової кислоти.

5. Значення та біологічні властивості альдегідів і кетонів.

Альдегіди – інтермедіати окиснення класу спиртів до карбонових кислот.

Уведення оксогрупи до карбонових скелетів обумовлює зростання гербіцидних та інсектицидних властивостей. При цьому ароматичні та ненасичені альдегіди й кетони більш активні. Уведення галогену (Hal) та гідроксид-іонів в ароматичних альдегідах і кетонах викликає значне підвищення біологічного ефекту.

Мурашиний 40%-й розчин (формалін) зумовлює денатурацію білків, його використовують як консервант.

Продукт конденсації мурашиного альдегіду та аміаку називається **уротропіном**. Уротропін застосовують у медицині для дезінфекції сечовивідних шляхів, а також як протигрипозний препарат.

Уротропін – гексаметилтетраамін – сухе пальне.

Хлоралгідрат – гідрат трихлороцтового альдегіду – снодійний засіб; використовується як пестицид.

Ацетон – розчинник. Альдегіди більш токсичні, ніж кетони. Альдегіди легко окиснюються.

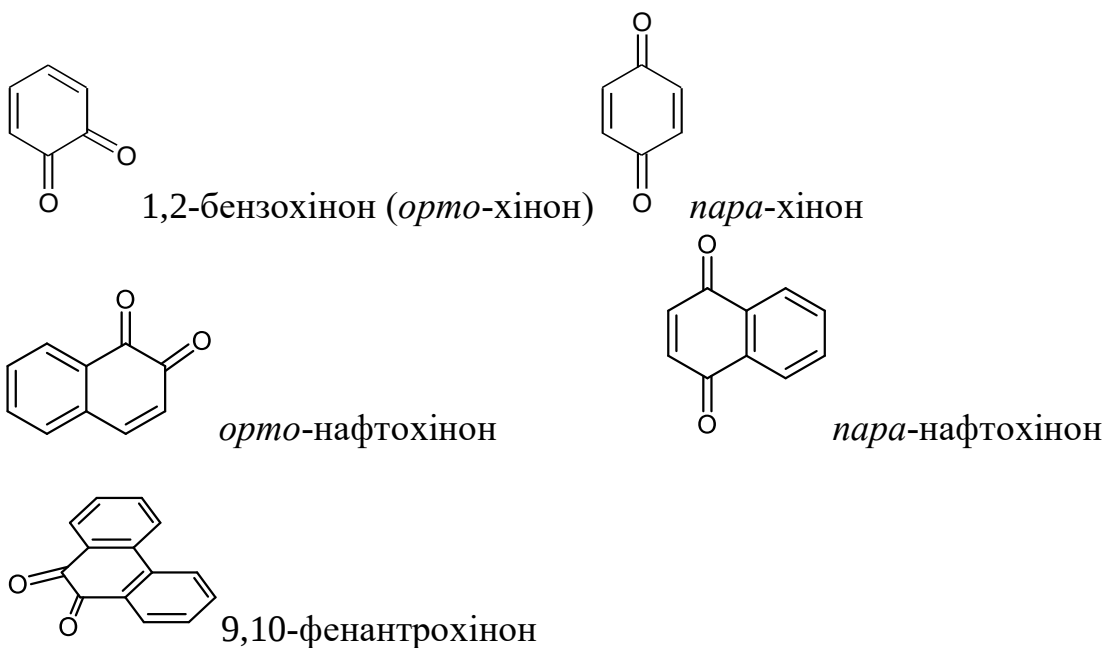
6. Загальна характеристика хінонів.

Хінон вперше добув О.А. Воскресенський у 1938 р. окисненням хінної кислоти, виділеної з кори хінного дерева. Синтетично хінони добувають окисненням аніліну або анодним окисненням бензолу.

Хінон містить спряжену систему подвійних зв'язків $\text{C}=\text{C}-\text{C}=\text{O}$. Тому за структурою і хімічними властивостями він є ненасиченим дикетоном і виявляє властивості як кетону, так і ненасичених сполук.

Також хінони – окиснювальні похідні фенолів або ароматичні дикетони.

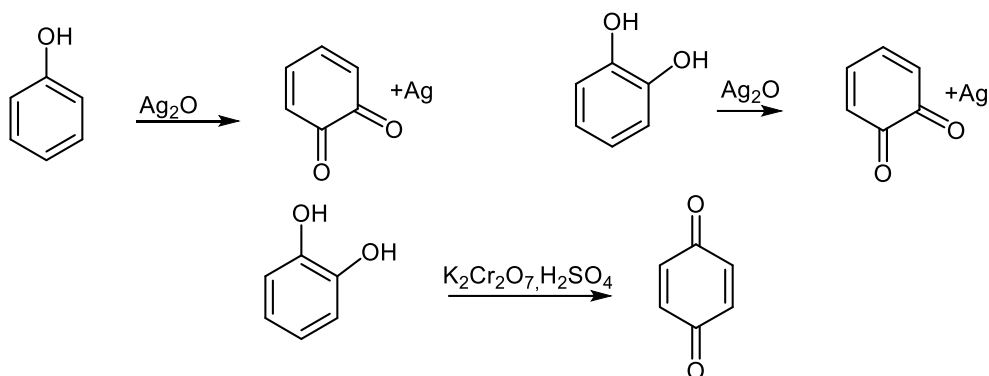
Представники:



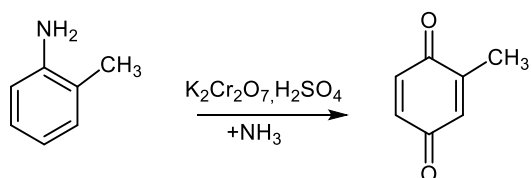
Ці сполуки використовують у промисловості як барвники та у фотографії. Також вони мають велике значення у біохімічних перетвореннях.

7. Методи добування.

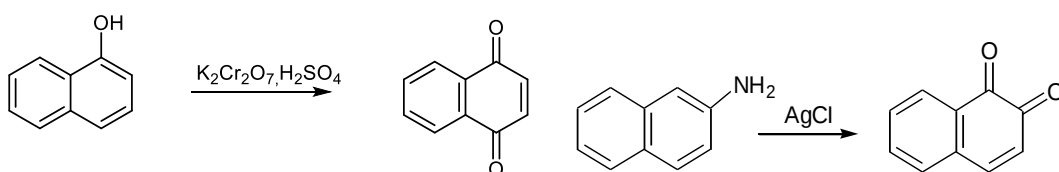
1) Окиснення фенолів і поліфенолів:



2) Окиснення аніліну та його похідних:



3) Окиснення нафтолів та амінонафталінів (утворюються нафтохінони):



9,10-Антрахінон одержують з антрєну, 9,10-фєнантрохінон – із фєнатрєну.

Окиснення проводять киснем повітря при наявності каталізатора – V_2O_5 .

8. Фізичні властивості.

Колір або флуоресценція сполук часто вказують на присутність хіноїдної групи (фіолетово-чорне забарвлення).

Карбонільна група має смугу поглинання в ІЧ-спектрах – 1675 см^{-1} . Внутрімолекулярні водневі зв'язки можуть знизити смугу поглинання до 1630 см^{-1} .

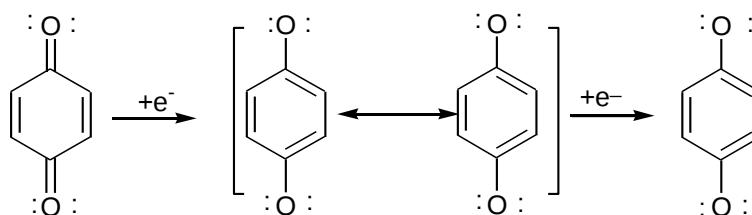
Смуга поглинання 1675 см^{-1} інтенсивно зменшується.

ПМР-спектри не виявляються у зв'язку з тим, що хіноїдні угруповання атоми водню не містять.

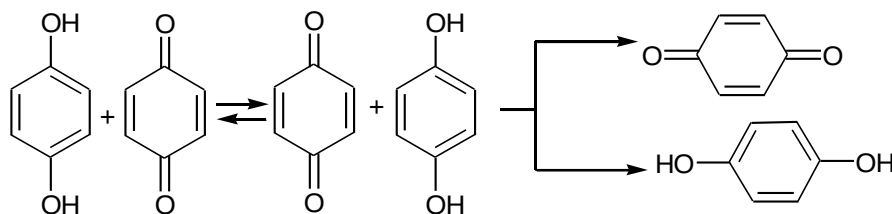
9. Хімічні властивості.

1) Відновлення хінонів (хінони як окиснювальні агенти).

Відновлення хінонів відбувається у 2 стадії через проміжний стабілізований радикал – аніон (семіхінон).



Процес відновлення ускладнюється утворенням стійкого аддукту (співвідношенням 1:1) між хіноном і гідрохіноном – хінгідрону чорно-зеленого кольору. Цей аддукт являє собою комплекс, у якому відбувається перенесення заряду від гідрохінону до хінону. Гідрохінон при цьому є донором електронів, а хінон – їх акцептором. Хінгідрон використовують як електрод для визначення концентрації іонів H^+ у розчині.

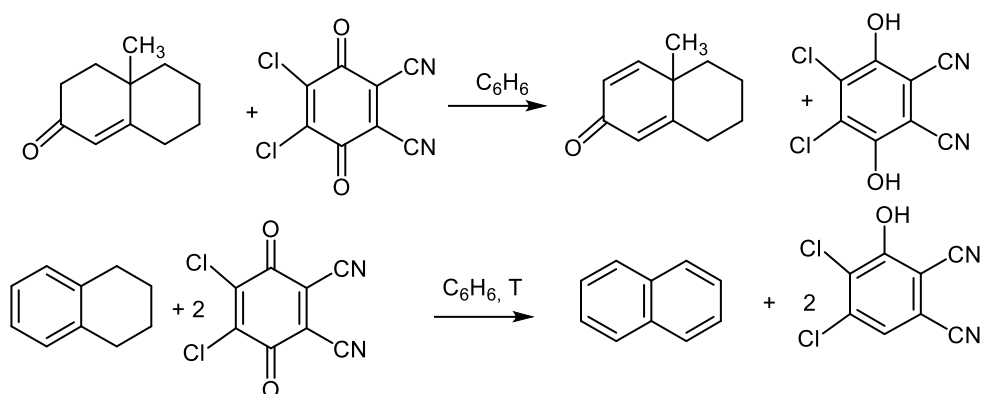


Цей аддукт є стійким, оскільки хінон та гідрохінон розташовані у просторі паралельно і з'єднані силами Ван-дер-Ваальса.

Бензохінони, які мають сильні електронно-акцепторні угруповання, є сильними окиснювальними агентами.

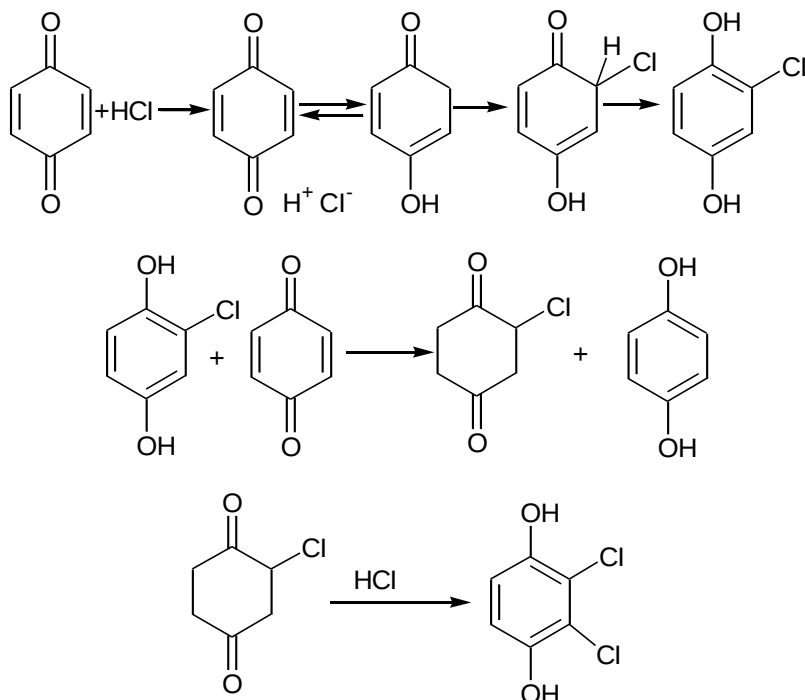
Наприклад, ДДХ – 2,3-дихлоро-5,6-диціано-1,4-бензохінон, який використовують в органічних синтезах як окиснювальний агент.

Особливе значення має дегідрування неароматичних вуглеводнів в ароматичні.



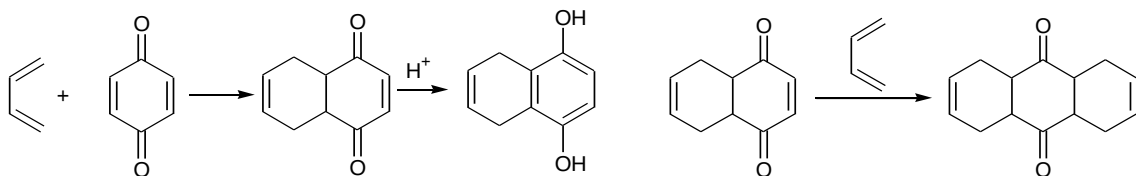
Бензохінон відновлюється, субстрат – окиснюється.

2) Хінони як ненасичені кетони. У зв'язку з тим, що 1,4-хінони являють собою α,β -ненасичені кетони, вони вступають у реакцію 1,2 та 1,4-приєднання як звичайні ненасичені кетони. Наприклад, приєднання хлористого водню до бензохінону з утворенням хлорогідрохінону.



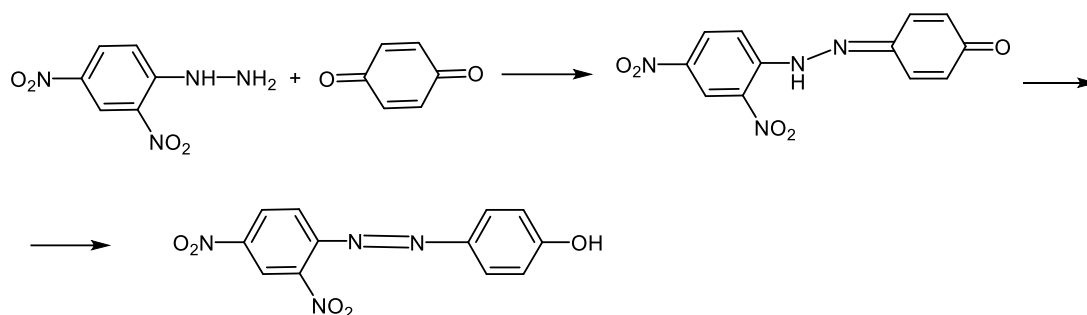
За цим способом також синтезують ДДХ. Спочатку вводять ціаногрупи – CN, потім – NaI. Це реакції хінонового ядра за рахунок іонних приєднань.

Також хінон вступає в реакцію Дільса-Альдера:



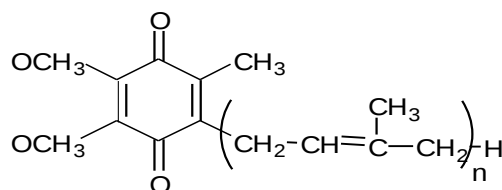
Хінони окиснюються I^- до вільного йоду (I_2), з'являється фіолетово-коричнє забарвлення при розчиненні досліджуваної сполуки в HI . Ця реакція використовується, як реакція на хінони (якісна), але вона неспецифічна – утворюються інші продукти.

Як прості кетони, хінони реагують із 2,4-динітрофенілгідразином. Однак продуктом реакції не завжди є гідразон.



10. Значення.

Біологічне: кофермент КоQ – убіхінон має велике значення: транспорт електронів Ох-Red організму. Трапляються в природі декілька коферментів.



Усі вони з'єднані з бензохіноновим ядром; різниця полягає в кількості ізопренових одиниць (КоQ₁₀).

Питання для самоконтролю

1. Що таке альдегіди?
2. Назвіть класи альдегідів.
3. Перерахуйте типи хімічних властивостей альдегідів і кетонів.
4. Яка ізомерія не характерна для альдегідів? Для яких альдегідів характерна геометрична ізомерія?
5. Назвіть основні методи добування альдегідів і кетонів.
6. Яка гібридизація характерна для альдегідів і кетонів?
7. Чи розчинні альдегіди у воді? Яка їх густина?
8. Що означає слово альдегід в перекладі з латинської мови?
9. Напишіть структурні формули таких сполук: а) ізомасляний альдегід; б) ізобутиловий альдегід; в) 2-метилпентаналь; г) 5,5-диметилгексаналь; д) 2-метилгептаналь.
10. Окисненням яких спиртів можна одержати: а) ізобутиловий альдегід; б) 3,3-диметилбутаналь?
11. Наведіть приклади назв фенолів і хінонів за тривіальною номенклатурою та системою IUPAC.
12. Укажіть особливості будови молекул хінону, гідрохінону, хінгідрону.
13. Напишіть реакції одержання хінону та хінгідрону.

14. Охарактеризуйте хімічні властивості фенолів і хінонів. Наведіть рівняння реакцій. Укажіть умови.

15. Перерахуйте реактиви, що використовуються при синтезі та аналізі хінону.

16. Опишіть умови проведення синтезу хінону.

17. Укажіть перехід забарвлення в умовах синтезу хінону і поясніть його з точки зору теорії кольоровості.

18. Що характеризує реакція з бісульфітом натрію в кислому середовищі?

19. Наведіть рівняння реакції відновлення хінону калій йодидом у кислому середовищі.

20. У яких біологічно активних речовинах можуть зустрічатися хінони?

Тести

1. Яку речовину піддають окисненню для одержання альдегіду?

- а) C_2H_6 ;
- б) CH_3COH ;
- в) CH_3COOH ;
- г) CH_3OH .

2. Укажіть формулу гексаналю:

- а) $C_6H_{13}COH$;
- б) $C_5H_{11}COH$;
- в) $C_5H_{11}COOH$;
- г) $C_6H_{13}COOH$.

3. Яка речовина одержана при окисненні пропаналю?

- а) C_3H_7COH ;
- б) CH_3COH ;
- в) CH_3COOH ;
- г) C_2H_5COOH .

4. Укажіть суфікс для класу альдегідів відповідно до IUPAC:

- а) -ол; б) -он; в) -аль; г) -ан.

5. Укажіть назву речовини $H_3C-CH_2-C(CH_3)_2-CH=O$ за IUPAC:

- а) бутилметилкетон;
- б) 2,2-метилбутан-1-аль;
- в) 2-гексанон;
- г) бутаналь.

6. Яка реакція є якісною на альдегіди?

- а) приєднання гідросульфід натрію;
- б) приєднання водню;
- в) додавання етанолу;
- г) заміщення карбонового кисню галогеном.

7. Загальна формула альдегідів:

- а) C_nH_{2n} ;
- б) $C_nH_{2n}O$;

в) C_nH_{2n-2} ;

г) C_nH_{2n+1} .

8. За тривіальною назвою бутаналь – це:

а) оцтовий альдегід;

б) формальдегід;

в) масляний альдегід;

г) кротоновий альдегід.

9. Ненасичені альдегіди, це альдегіди які мають оксогрупу та:

а) подвійний зв'язок;

б) потрійний зв'язок;

в) два потрійних зв'язки;

г) нічим не відрізняються від насичених.

10. Ацетон є:

а) рідиною;

б) в'язкою речовиною;

в) твердим тілом;

г) газом.

11. Яку речовину піддають окисненню для одержання хінону?

а) етанол;

б) ацетальдегід;

в) фенол;

г) етан.

12. Яку речовину одержують при окисненні фенолу?

а) метанол;

б) ацетальдегід;

в) фенолят;

г) хінон.

13. Яку речовину одержують при окисненні нафтолу?

а) нафтохінон;

б) ацетальдегід;

в) фенол;

г) антрацен.

14. Яка реакція є якісною на хінони?

а) приєднання натрію гідросульфїту;

б) приєднання водню;

в) додавання метанолу;

г) взаємодія з фенілгіdraзином.

15. Хінони, які мають оксогрупу та:

а) подвійний зв'язок;

б) потрійний зв'язок;

в) два потрійних зв'язки;

г) нічим не відрізняються від насичених.

