

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький державний педагогічний університет  
імені Михайла Коцюбинського

А. П. Ранський, Г. В. Сакалова

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ  
З ОРГАНІЧНОЇ ТА БІООРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ**

Навчальний посібник

Вінниця  
«Твори»  
2019

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського, Міністерства освіти і науки України (протокол №9 від 20.03.2019 р.)

Рецензенти:

Розанцев Георгій Михайлович, доктор хімічних наук, професор, завідуючий кафедри неорганічної, органічної та аналітичної хімії Донецького національного університету імені Василя Стуса

Діденко Наталія Олександрівна, кандидат хімічних наук, доцент кафедри фармацевтичної хімії Вінницького національного медичного університету ім. М.І. Пирогова,

**Ранський А. П., Сакалова Г. В.**

Лабораторний практикум з органічної та біоорганічної хімії: Навчальний посібник для закладів вищої освіти III-IV рівнів акредитації із хімічних спеціальностей / А. П. Ранський, Г. В. Сакалова – Вінниця : ТОВ «Твори», 2019. – 155 с.

ISBN 978-617-7742-93-6

У посібнику викладено правила роботи і техніки безпеки в хімічній лабораторії. Розглянуто основні методи вилучення та очищення органічних речовин. Наведено якісні реакції на деякі класи органічних та неорганічних сполук та синтези органічних сполук, які згруповано за типами реакцій. Представлено способи добування біоорганічних сполук із природних об'єктів та синтез їх синтетичних аналогів. Матеріал посібника викладено у семи розділах, кожний із яких не лише вирішує конкретну самостійну задачу, а і доповнює та допомагає вирішити більш складні за-вдання наступних розділів.

ISBN 978-617-7742-93-6

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ. ОСНОВНІ ПРАВИЛА РОБОТИ В ХІМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ.....	8
РОЗДІЛ 2 ТЕХНІКА ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ .....	12
2.1 Загальні методи роботи. Посуд, який використовується в лабораторії органічної хімії .....	12
2.2 Нагрівання та охолодження .....	14
2.3 Перемішування .....	15
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ ВИЛУЧЕННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН .....	16
3.1 Очищення твердої речовини методом перекристалізації .....	17
<b>Лабораторна робота № 1.</b> Перекристалізація твердої речовини .....	21
3.2 Очищення органічної речовини перегонкою з водяною парою .....	23
<b>Лабораторна робота № 2.</b> Перегонка невідомої органічної речовини з водяною парою .....	24
3.3 Екстракція та висушування органічних речовин .....	25
<b>Лабораторна робота № 3.</b> Екстракція невідомої органічної речовини з бінарного водно-органічного розчину та її висушування.....	27
3.4 Виділення та очищення органічних речовин перегонкою при атмосферному тиску .....	28
<b>Лабораторна робота № 4.</b> Перегонка невідомої суміші органічних рідин при атмосферному тиску .....	31
РОЗДІЛ 4 ЯКІСНІ РЕАКЦІЇ НА ДЕЯКІ КЛАСИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК	33
4.1 Вуглеводні .....	33
4.1.1 Насичені вуглеводні (алкани) .....	34
4.1.2 Ненасичені вуглеводні (алкени) .....	35
4.1.3 Ненасичені вуглеводні (алкіни) .....	35
4.1.4 Ненасичені вуглеводні (арени) .....	36
<b>Лабораторна робота № 5.</b> Якісний функціональний аналіз вуглеводнів на наявність простого, подвійного, потрійного та ароматичного зв'язків у складі органічних сполук .....	37
4.2 Оксигеновмісні сполуки .....	39
4.2.1 Встановлення гідроксильної групи (спирти, феноли) .....	39
4.2.2 Встановлення карбонільної групи (альдегіди, кетони) .....	41
4.2.3 Встановлення карбоксильної групи (карбонові кислоти) .....	44
<b>Лабораторна робота № 6.</b> Якісний функціональний аналіз оксигеновмісних сполук .....	45
4.3 Нітрогеновмісні сполуки .....	47
4.3.1 Встановлення аміногрупи (аліфатичні та ароматичні аміни) .....	47
4.3.2 Встановлення карбамідної групи .....	48
4.3.3 Якісні реакції на амінокислоти ( $\alpha$ -амінокислоти) .....	49
<b>Лабораторна робота № 7.</b> Якісний функціональний аналіз нітро-	51

геновмісних сполук .....	53
4.4 Сульфуровмісні сполуки .....	53
<b>Лабораторна робота № 8.</b> Якісний функціональний аналіз сульфуровмісних сполук .....	56
РОЗДІЛ 5. СИНТЕЗИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК .....	59
5.1 Ацилювання .....	59
<b>Лабораторна робота № 9.</b> Синтез бутилацетату.....	64
5.2 Галогенування .....	65
<b>Лабораторна робота № 10.</b> Синтез бромбензолу.....	74
<b>Лабораторна робота № 11.</b> Синтез 1-бромбутану.....	75
<b>Лабораторна робота №12.</b> Синтез йодформу .....	76
5.3 Нітрування .....	78
<b>Лабораторна робота № 13.</b> Синтез нітробензолу.....	81
<b>Лабораторна робота № 14.</b> Синтез м-динітробензолу .....	82
5.5. Сульфування .....	84
<b>Лабораторна робота № 15.</b> Синтез натрій п-толуенсульфонату.....	86
<b>Лабораторна робота № 16.</b> Синтез сульфанілової кислоти.....	88
РОЗДІЛ 6. ХАРАКТЕРНІ РЕАКЦІЇ НА ДЕЯКІ КЛАСИ БІОРГАНІЧНИХ СПОЛУК .....	91
6.1 Естери і жири .....	91
<b>Лабораторна робота №17.</b> Синтез естерів. Гідроліз естерів і жирів .....	94
6.2. Терпени (Неомилювальні ліпіди) .....	95
<b>Лабораторна робота №18.</b> Якісний функціональний аналіз терпенів та терпеноїдів .....	97
6.3. Білки .....	99
<b>Лабораторна робота №19.</b> Властивості білків .....	102
6.4. Вуглеводи .....	104
<b>Лабораторна робота №20.</b> Якісні реакції вуглеводів .....	108
6.5. Алкалоїди .....	111
<b>Лабораторна робота №21.</b> Одержання алкалоїдів та дослідження їх властивостей .....	114
РОЗДІЛ 7 ОДЕРЖАННЯ БІООРГАНІЧНИХ СПОЛУК З ПРИРОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА СИНТЕТИЧНИХ АНАЛОГІВ .....	116
7.1. Одержання білків та білкових модифікатів .....	116
<b>Лабораторна робота №22.</b> Виплавлення желатину.....	117
7.2. Фітогормони та регулятори росту рослин.....	118
<b>Лабораторна робота №23.</b> Синтез феноксиоцтової кислоти .....	118
<b>Лабораторна робота №24.</b> Одержання естерів бензойної кислоти за реакцією Вільямсона.....	119
7.3. Перетворення вуглеводів .....	120
<b>Лабораторна робота №25.</b> Синтез D-глюкози.....	120
<b>Лабораторна робота №26.</b> Синтез щавлевої кислоти.....	121

ЛІТЕРАТУРА .....	123
Додаток А Фізичні константи органічних сполук .....	127
Додаток Б Фізичні властивості органічних розчинників .....	141
Додаток В Бінарні системи: органічна сполука – вода .....	145
Додаток Г Густина водних розчинів кислот різної концентрації .....	148

## ВСТУП

Лабораторний практикум з органічної та боорганічної хімії складено відповідно до навчальних програм закладів вищої освіти III-IV рівнів акредитації із хімічних спеціальностей. Даний навчальний посібник стосовно викладання та проведення лабораторних робіт включає теоретичний матеріал, завдання для проведення досліджень, контрольні питання, що необхідні для набуття студентами практичних навичок роботи в хімічній лабораторії; техніку безпеки та техніки проведення лабораторних робіт; методики вилучення та очищення органічних речовин; властивості органічних речовин і якісних реакцій на функціональні групи (functional group) та безпосереднього синтезу органічних речовин.

Матеріал посібника викладено у семи інтегрованих розділах, кожен з яких не лише вирішує конкретну самостійну задачу, а і доповнює та допомагає вирішити більш складні завдання наступних розділів.

*Перший розділ* стосується загальних положень з техніки безпеки при роботі в хімічній лабораторії та основних правил організації робочого місця. Багато уваги приділяється роботі з хімічними реактивами, їх зберіганню в лабораторії, токсичним, вибуховим та вогнебезпечним властивостям хімічних речовин.

*В другому розділі* наведені дані стосовно основних (загальних) методів роботи в лабораторії органічної хімії: нагрівання, охолодження, перемішування, захисту реакційної суміші від вуглекислоти, вологи повітря тощо та скляного посуду, який найчастіше використовується.

*Третій розділ* включає теоретичний матеріал, прилади, реактиви та установки, а також контрольні питання стосовно основних методів очищення і виділення органічних речовин: перекристалізації, перегонки з водяною парою, перегонки при атмосферному тиску, екстракції (extraction) та висушуванню органічних речовин.

*Четвертий розділ* включає дані з органічної хімії, в якому наведені якісні реакції на класи органічних сполук та їх функціональні оксигено-, нітрогено- та сульфуровмісні групи. Цінним є те, що крім глибокого практичного вивчення органічних сполук студенти використовують мікрокількості хімічних реагентів, економлять при цьому реактиви та електроенергію, що є дуже актуальним для сьогодення.

*П'ятий розділ* включає матеріал з органічної хімії та органічного синтезу, основу якого складають синтези органічних сполук, які класифіковано за методами хімічних перетворень (алкілювання (alkylation), ацилювання (acylation), нітрування (nitriding) тощо), що дозволяє додатково вивчати всі класи органічних сполук не залежно від їх класифікації, яка наведена в четвертому розділі.

*Шостий розділ* присвячений основним класам біоорганічних сполук, їх властивостям та методам одержання. Розділ не переобтяжений тими реакція-

ми, які відбуваються аналогічно якісним реакціям на класи органічних сполук та їх функціональні групи.

*Сьомий розділ* присвячений добуванню біоорганічних сполук з природних об'єктів та синтезу їх синтетичних аналогів. Крім загальних методик синтезу вищевказаних сполук, наведені загальні поняття про білкові модифікати, фітогормони та регулятори росту рослин.

Автори вдячні рецензентам д.х.н. професору Г.М. Розанцеву і к.х.н. доценту Н.О. Діденко за ретельний перегляд рукопису та слушні зауваження, що сприяли його покращенню.

Автори висловлюють велику подяку доцентам кафедри хімії та хімічної технології Вінницького національного технічного університету Євсєєвій М. В. та Гордієнко О. А. за участь і допомогу в підготовці першого, другого та третього розділів даного навчального посібника. Також висловлюємо подяку завідуючій кафедрі біотехнологій, шкіри та хутра Київського національного університету технологій та дизайну д.т.н., професору Мокроусовій О.Р, та доценту кафедри біотехнологій, шкіри та хутра к.т.н., доценту Охмат О.А. у підготовці сьомого розділу посібника. Вступ, розділи з першого по шостий підготовлені д.х.н, проф. Ранським А.П, а шостий і сьомий розділи підготовлені д.т.н., професором кафедри Сакаловою Г.В.

# ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ОСНОВНІ ПРАВИЛА РОБОТИ В ХІМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

### Основні правила і організація робочого місця:

- перед початком лабораторного практикуму необхідно вивчити правила техніки безпеки, а також засоби надання першої медичної допомоги при хімічних опіках і отруєннях токсичними речовинами;
- підготовку до лабораторної роботи варто починати з детального вивчення методики експерименту і, у разі потреби, з вивчення правил техніки безпеки, що визначаються особливостями даної роботи;
- робоче місце необхідно утримувати в чистоті та порядку, не захаращувати робочий стіл не потрібними в даний момент предметами: приладами, книгами тощо; після закінчення роботи упорядкувати і здати лаборанту або викладачу робоче місце, прилади і устаткування.

### Робота з хімічними реактивами

Усі органічні речовини тією чи іншою мірою отруйні, а багато з них – вогне- та вибухонебезпечні. Тому, працюючи в хімічній лабораторії, необхідно суворо дотримуватись перерахованих нижче основних правил техніки безпеки при роботі з хімічними реактивами [14 – 22]:

- **забороняється працювати одному в лабораторії.** Приступати до роботи можна тільки в присутності викладача або лаборанта;
- **забороняється проводити досліди, які не передбачені темою лабораторної роботи;**
- **під час роботи в лабораторії слід дотримуватись тиші, чистоти і порядку на своєму робочому місці та в лабораторії.** Не можна відволікатися від роботи і відволікати своїх товаришів;
- **забороняється працювати в лабораторії без спецодягу.** Халат повинен бути тільки бавовняним. Забороняється тримати на лабораторному столі сумку та інші сторонні предмети. Для них повинно бути відведене спеціальне місце;
- **у лабораторії забороняється пити воду, вживати та зберігати їжу, палити;**
- обов'язково використовувати окуляри при проведенні таких робіт:
  - а) визначення температури плавлення за допомогою приладу з концентрованою сульфатною кислотою;
  - б) перемішування кислот і лугів, подрібнення твердого лугу, цинк хлориду, сплавлення у відкритій чашці тощо, оскільки можливе розбризкування цих речовин;



- в) перегонка рідин при зниженому тиску та робота з вакуум-приладами;
- г) робота з ампулами та запаяними трубками, виготовлення скляних капілярів;
- д) робота з лужними металами та плавиковою кислотою;
- з отруйними речовинами, що подразнюють органи дихання, з речовинами, що мають сильний запах, необхідно працювати тільки у ви-тяжній шафі в гумових рукавичках, а іноді – і у протигазі;
- забороняється працювати в лабораторії при несправній венти-ляції;
- не можна брати хімічні речовини незахищеними руками. Сипкі реак-тиви потрібно відбирати тільки сухим шпателем або спеціальною ложкою;
- перед виконанням роботи необхідно ознайомитись із властивостями речовин, які використовуються у синтезі – з їх вогнебезпечністю, токсичні-стю тощо;
- перш ніж взяти необхідну кількість речовини, потрібно уважно про-читати надпис на етикетці лабораторного посуду, у якому вона зберігається;
- забороняється залишати без нагляду установки, нагрівальні прилади тощо;
- не можна наглухо закривати установки для проведення реакцій, нагрівання розчинів і перегонки рідин, тому що це може призвести до вибуху;
- не можна тримати при нагріванні пробірку або колбу отвором до се-бе або у напрямку людини, що стоїть поряд;
- забороняється нагрівати леткі та легкозаймісті рідини і речови-ни (етери, петролейний етер, бензин, спирт, ацетон, сірковуглець і ін.) на відкритому полум'ї. Для цього використовують водяну баню або електричну плитку із закритою спіраллю. При перегонці таких речовин обов'язково за-стосовують холодильники з водяним охолодженням. **Не можна переганяти рідини досуха – це може призвести до вибуху або пожежі;**
- не можна нахилитися над установкою, в якій протікає реакція, на-грівання або перемішування хімічних речовин;
- забороняється виливати в раковини залишки кислот і лугів, вогне-небезпечних і отруйних речовин, що погано змиваються водою, або мають сильний запах. Залишки цих речовин необхідно виливати у спеціальні ємнос-ті, які добре закриваються;
- не дозволяється кидати в раковину папір, вату, залишки скла від ро-збитого хімічного посуду;
- забороняється пробувати хімічні речовини на смак, всмоктувати ро-том будь-які рідкі речовини в піпетки. При визначенні запаху рідини її пари слід обережно направляти до себе легким рухом руки;

– **категорично забороняється зберігати ртуть у відкритому посуді.** Усі прилади, що містять ртуть, повинні бути розміщені на спеціальних піддонах з досить високими бічними стінками. У випадку поломки приладу, що містить ртуть, необхідно попередити про це викладача або лаборанта. **Виливати ртуть у раковину забороняється.** Розливу ртуть збирають за допомогою амальгамованої мідної пластинки в спеціальну товстостінну склянку, яка закривається пробкою. Залишки ртуті, що потрапили в щілини у підлозі, столі тощо, слід обробити 20 %-ним водним розчином ферум(III) хлориду або порошком сірки;

– металевий натрій слід обов'язково зберігати під шаром гасу, толуолу або ксилолу, що не містять слідів води. Не можна працювати з металевим натрієм поруч з водопровідним краном. Перед початком роботи потрібно насухо витерти стіл і висушити посуд, у якому буде проводитися реакція з металевим натрієм. Після закінчення роботи не можна відразу мити цей посуд водою – слід спочатку розчинити залишки натрію у спирті. Великі шматочки натрію слід помістити в окрему ємність з гасом (толуолом або ксилолом);

– концентровані кислоти, луги, отруйні речовини, або речовини, які мають сильний запах, потрібно обов'язково зберігати в добре вентиляційній витяжній шафі;

– концентровані хлоридну та нітратну кислоти потрібно переливати тільки у витяжній шафі. При розведенні кислоти необхідно обережно, невеликими порціями, при постійному перемішуванні **додавати кислоту до води, а не навпаки!** Очі при цьому повинні бути захищені окулярами;

– при попаданні кислоти на шкіру потрібно швидко промити пошкоджене місце струменем холодної води, а потім – 2 – 3%-ним розчином соди. При опіку їдкими лугами треба також добре промити пошкоджене місце водою, а потім – 2 – 3%-ним розчином оцтової кислоти. При попаданні кислоти або лугу в очі слід негайно промити їх великою кількістю води, а потім обробити тампоном, який змочений у розчині соди або борної кислоти, і знову промити водою;

– **категорично забороняється зберігати бром у тонкостінному посуді.** Для цього застосовують товстостінні склянки із притертими пробками. Усі роботи із бромом слід проводити тільки в добре вентиляційній витяжній шафі, у гумових рукавичках і захисних окулярах. При попаданні бромом на шкіру необхідно негайно протерти пошкоджене місце спиртом, а потім змастити гліцерином;

– перед початком роботи в лабораторії потрібно ознайомитися з місцезнаходженням наявних засобів протипожежної безпеки (ящика з піском, азбестових або вовняних ковдр, вогнегасників тощо), місцезнаходженням та вмістом аптечки з набором необхідних засобів надання першої допомоги;

– легкозаймисті та вибухонебезпечні рідини потрібно зберігати в металевих шафах у кількості, що не перевищує щоденної норми;

– **забороняється переганяти етер або діоксан без попередньої перевірки вмісту в них пероксидів. Це може призвести до вибуху!**

– не можна без спеціального дозволу викладача або лаборанта переносити прилади або реактиви з однієї лабораторії в іншу;

– до роботи зі стисненими газами (балонами) допускаються особи, що пройшли спеціальний інструктаж з техніки безпеки та склали відповідні іспити;

– якщо біля запаленого пальника відчувається запах газу, необхідно перекрити газ, що надходить до пальника. Потім перевірити герметичність гумового шланга та самого пальника. При виявленні витікання газу в лабораторії необхідно виключити газову магістраль і ретельно провітрити лабораторію. **Категорично забороняється користуватися сірниками, а також включати електричне світло;**

– у випадку загорання одягу необхідно негайно накинути на постраждалого халат, ковдру, піджак тощо. У жодному разі не давати йому бігти, оскільки це підсилює полум'я. **При виникненні пожежі потрібно відразу відключити вентиляцію та електроенергію і вжити заходів для ліквідації загоряння.** При необхідності викликати пожежну команду. При запаленні етеру, бензолу, бензину не можна застосовувати для гасіння воду. У цих випадках полум'я гасять піском або азбестовою ковдрою;

– необхідно дбайливо і акуратно поводитись з посудом, приладами та устаткуванням, намагатися розумно заощаджувати реактиви, воду, газ і електроенергію;

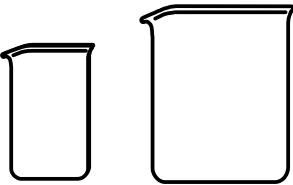
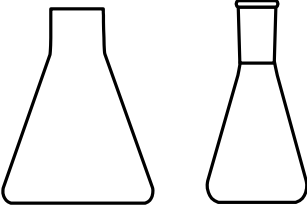
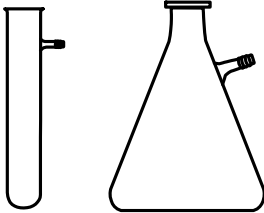
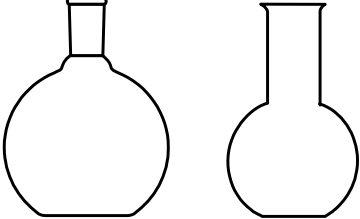
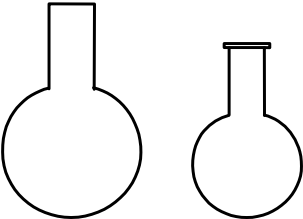
– перед виходом з лабораторії **перевірити, чи вимкнені газ, електроенергія та витяжна система, чи закритий водопровідний кран на робочому місці.**

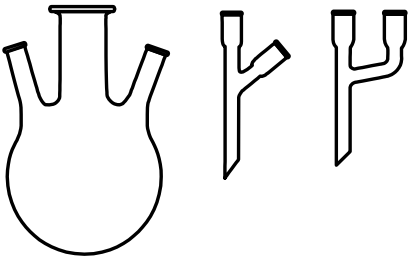
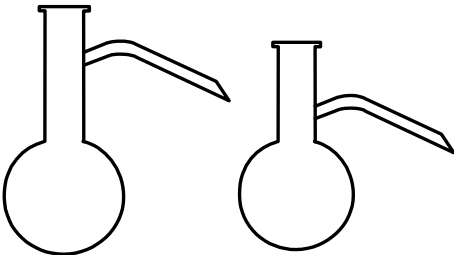
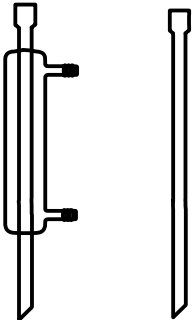
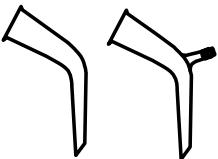
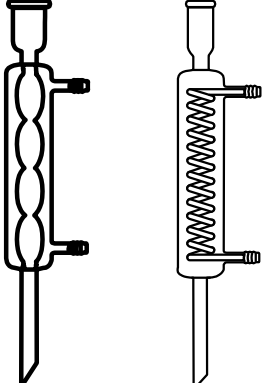
ТЕХНІКА ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

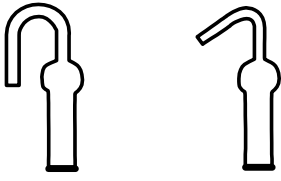
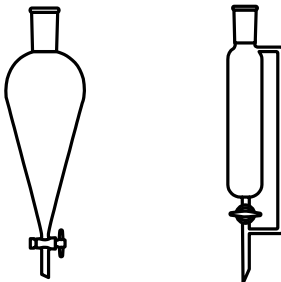
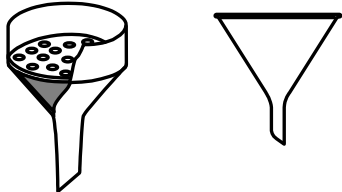
2.1 Загальні методи роботи

Посуд, який використовується в лабораторії органічної хімії

Для роботи в лабораторії та складання установок, в яких проводяться хімічні реакції, найчастіше використовують скляний посуд.

	<p><b>Стакани</b> використовують як допоміжний посуд для роботи з водними розчинами. В них можна проводити реакції у водних розчинах при температурі до 100 °С.</p> <p><b>Фарфорові стакани</b> використовують для приготування розчинів лугів та кислот.</p>
	<p><b>Конічні колби (колби Ерленмейєра)</b> використовують як допоміжний посуд. В них проводять кристалізацію (crystallization), тому що вони мають меншу поверхню випаровування, чим стакани та з них зручніше, ніж з круглодонних колб, добувати кристали.</p>
	<p><b>Колби для відсмоктування</b>, зокрема <b>колби Бунзена</b>, використовують для фільтрування розчинів під вакуумом. Для фільтрування невеликих об'ємів розчинів під вакуумом використовують спеціальні пробірки.</p>
	<p><b>Колби плоскодонні</b> використовують для зберігання хімічних речовин, як приймачі при перегонці під атмосферним тиском. Заборонено використовувати плоскодонні колби при роботі під вакуумом.</p>
	<p><b>Колби круглодонні</b> використовують виключно для роботи при підвищеній температурі та під вакуумом. Вони виготовлені зі спеціальних сортів скла.</p>

	<p><b>Три- та чотиригорлові колби</b> використовують у тих випадках, коли одночасно з нагріванням (охолодженням) проводять перемішування реакційної суміші, вимірювання її температури, а також додавання іншої речовини. Якщо немає спеціальних колб, у звичайну круглодонну колбу вставляють дво- або трирогий <b>форштос</b>.</p>
	<p><b>Перегонні колби Вюрца</b> використовують для перегонки рідин при атмосферному тиску. Для перегонки низькокиплячих рідин використовують колби з високо припаяними трубками, висококиплячих – з низько припаяними трубками. Колби Вюрца використовують також як приймачі при відгонці легколетких розчинників та при перегонці під вакуумом.</p>
	<p><b>Холодильники.</b> Для перегонки низькокиплячих рідин (температура кипіння нижче 140 – 150 °С) використовують холодильники з водяним охолодженням – <b>холодильники Лібіха</b>, для перегонки висококиплячих рідин використовують повітряні холодильники – скляні трубки діаметром 10 – 15 мм з розширеним кінцем.</p>
	<p>Для з'єднання похилого холодильника з вертикальним приймачем використовують <b>алонж</b>.</p>
	<p>При тривалому нагріванні або при нагріванні легколетких рідин до реакційних колб приєднують <b>зворотні холодильники</b>. В цих випадках їх закріплюють у колбі вертикально. Найчастіше, коли потрібно інтенсивне охолодження, використовують <b>кулькові</b> або <b>змійовикові холодильники</b>, які за менших розмірів мають значно більшу поверхню охолодження.</p>

	<p>У випадках, коли необхідно захистити реакційну суміш від доступу вологи або вуглекислоти, використовують <b>хлоркальцієві трубки</b>. При їх заповненні у вузьку частину кладуть невеликий шматочок вати, потім речовину для поглинання (кальцій хлорид для вологи та натронне вапно (soda lime) для вуглекислоти), а потім знову шматочок вати.</p>
	<p><b>Крапельні воронки</b> використовують для поступового додавання рідини під час реакції. <b>Ділильні воронки</b> застосовують для розділення рідин, які не змішуються, та для екстракції. Вони схожі на крапельні, але, як правило, більшого розміру і виготовлені з товстого скла.</p>
	<p>Для відокремлення рідин від твердих домішок використовують звичайні конічні <b>воронки</b>. Для відокремлення кристалів від рідини при фільтруванні під вакуумом використовують <b>воронки Бюхнера</b>.</p>

Окремі частини установки з'єднують між собою за допомогою пробок та скляних трубок.

## 2.2 Нагрівання та охолодження

Досягнення необхідного результату багатьох хімічних реакцій неможливе без суворої підтримки оптимального температурного режиму, оскільки підвищення температури на кожні 10 °C викликає збільшення швидкості хімічних перетворень приблизно у 2 – 4 рази. Такі розповсюджені операції як розчинення, перегонка, возгонка, висушування, кристалізація та ін. потребують, як правило, нагрівання або охолодження, а нерідко того та іншого.

В лабораторії найчастіше всього для нагрівання використовують різноманітні бані (водяні, масляні, піщані та ін.). Для нагрівання низько-киплячих рідин, особливо пожежо- та вибухонебезпечних використовують водяну баню, воду для якої підігрівають в іншому місці. Для нагрівання в інтервалі температур 80 – 200 °C і вище використовують піщані бані.

В залежності від того, до якої температури необхідно охолоджувати реакційну суміш, використовують різноманітні охолоджувальні суміші: до 0 °C – крижану воду (суміш льоду з невеликою кількістю води); до мінус 20

°С використовують суміш товченого льоду з натрій хлоридом у співвідношенні 3 : 1.

## 2.3 Перемішування

Для успішного проведення більшості хімічних процесів, які пов'язані з тепло- або масообміном, потрібно примусове перемішування. Перемішування вручну збовтуванням, або за допомогою скляної палички використовують лише для процесів, що відбуваються досить швидко. В більшості випадків переважно використовують механічне перемішування (рис. 2.1). В лабораторних умовах використовують електродвигуни різної потужності. При необхідності швидкість обертання регулюють за допомогою ЛАТРа (лабораторного автотрансформатора). Стержень мішалки з'єднують за допомогою короткого відрізка гумового шланга з віссю електродвигуна.

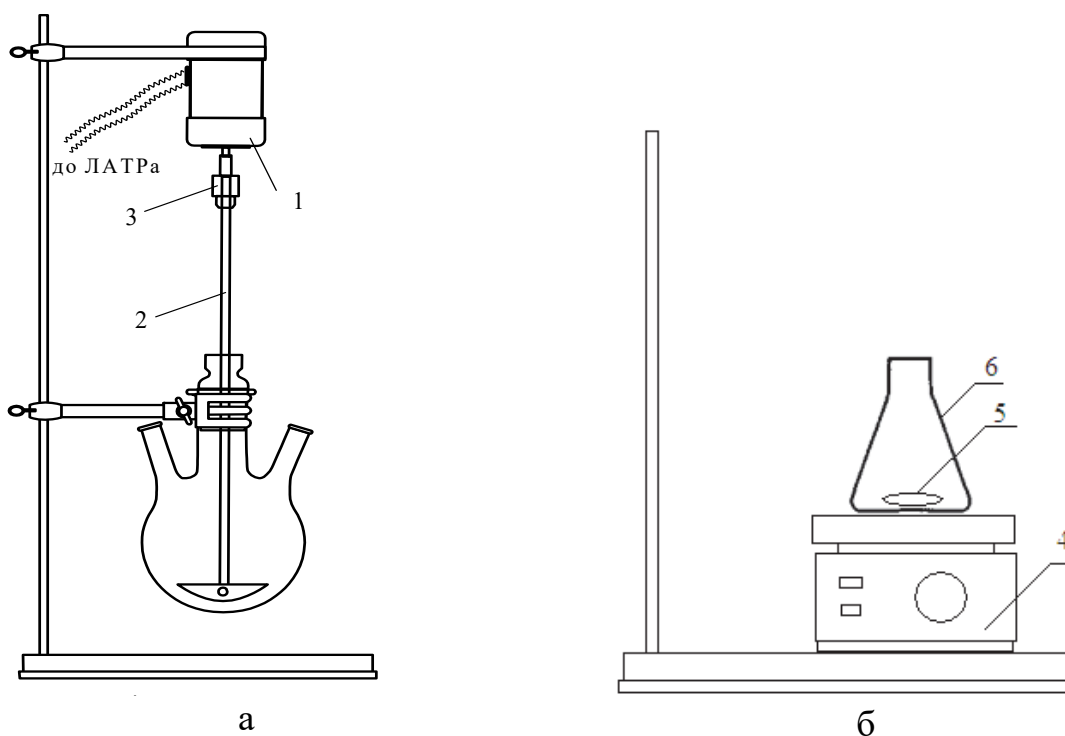


Рисунок 2.1 – Установка для перемішування: а) мішалка з двигуном; б) магнітна мішалка

1 – електродвигун; 2 – стержень мішалки; 3 – гумовий шланг;  
4 – електромагнітна мішалка; 5 – мішалка; 6 - плоскодонна колба

Роботу мішалки перевіряють, поступово збільшуючи швидкість обертання двигуна та притримуючи вал мішалки рукою. Якщо прилад складений правильно, мішалка працює практично безшумно. Неприпустима навіть мала вібрація вала мішалки.

У деяких випадках (за невеликої кількості реагентної маси та необхідності помірною перемішування) примусове перемішування можна здійснювати за допомогою магнітної мішалки.

### МЕТОДИ ВИЛУЧЕННЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН

Метою органічного синтезу є одержання чистої речовини. Однак органічні реакції часто супроводжуються побічними процесами, тому реакційні суміші містять залишки вихідних речовин та продуктів прямих і побічних реакцій. Це положення також стосується виділення цінних речовин із вторинної промислової сировини (відходів промислових підприємств) з метою їх подальшого використання.

Знання загальних методів виділення та очищення органічних сполук є необхідною умовою при виконанні лабораторних робіт. Продукти органічного синтезу виділяють із розчинів, суспензій (suspension) та твердих сумішей. Методи виділення та очищення залежать від фізичних та хімічних властивостей органічних речовин. Найбільш поширеними у лабораторній практиці є методи перекристалізації твердих речовин, очищення простою перегонкою та перегонкою з водяною парою, екстракція, сублімація та інші більш складні методи виділення та очищення органічних сполук.

#### 3.1 Очищення твердої речовини методом перекристалізації

Перекристалізацію застосовують для очищення твердих речовин. У порівнянні з іншими методами вона найбільш універсальна, відносно мало трудомістка, при правильному проведенні забезпечує високий ступінь очищення. Проте, інколи при перекристалізації можливі значні втрати речовини. Цей метод *грунтується на різниці у розчинності речовини, яку очищають, у певному розчиннику за різних температур: без нагрівання та при нагріванні до температури кипіння розчинника.*

Для проведення перекристалізації використовують спеціальний хімічний посуд та лабораторне обладнання. Процес перекристалізації здійснюють у кілька стадій:

- вибір розчинника;
- приготування насиченого гарячого розчину;
- "гаряче" фільтрування;
- охолодження розчину;
- відділення кристалів, що утворилися;
- промивання кристалів чистим розчинником;
- висушування.

#### *Вибір розчинника*

Правильний вибір розчинника – основна умова при проведенні перекристалізації. До розчинника висувають ряд вимог:



- значна різниця між розчинністю речовини у певному розчиннику за кімнатної температури та при нагріванні;
- розчинник повинен розчиняти при нагріванні лише речовину і не розчиняти домішки. Ефективність перекристалізації зростає при збільшенні різниці у розчинності речовини та домішок;
- розчинник повинен бути індиферентним як до речовини, так і до домішок;
- температура кипіння розчинника повинна бути нижчою за температуру плавлення речовини на 10 – 15 °С, інакше при охолодженні розчину речовина виділиться не у кристалічній формі, а у вигляді масла.

Експериментально розчинник вибирають так: невелику пробу речовини вміщують у пробірку, додаючи до неї кілька крапель розчинника. Якщо речовина розчиняється без нагрівання, такий розчинник не придатний для перекристалізації. Вибір розчинника вважається правильним, якщо речовина погано розчиняється в ньому без нагрівання, добре – при кипінні, а при охолодженні гарячого розчину відбувається її кристалізація.

Як розчинник при перекристалізації використовують воду, спирти, бензол, толуол, ацетон, хлороформ та інші органічні розчинники або їх суміші.

#### *Приготування насиченого гарячого розчину*

Складають установку для приготування насиченого розчину речовини у певному розчиннику (рис. 3.1).

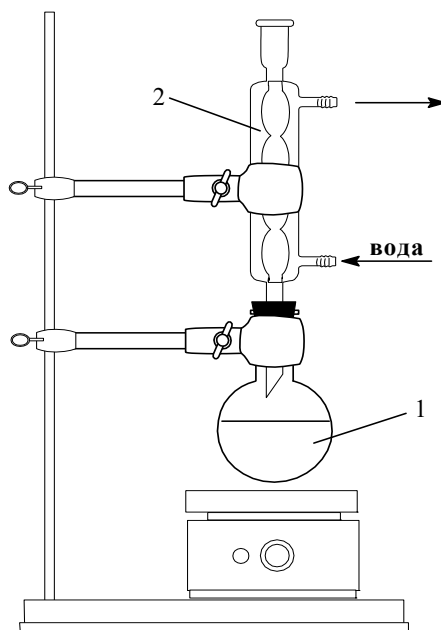


Рисунок 3.1 – Установа для приготування насиченого розчину

Речовину для перекристалізації та 2 – 3 кип'ятільні камінці вміщують у колбу (1), додають невелику порцію розчинника і нагрівають із зворотним холодильником (2) до кипіння розчину. Якщо початкової кількості розчинни-

ка не вистачає для повного розчинення речовини, розчинник невеликими порціями додають за допомогою воронки через зворотний холодильник.

Ефективне очищення сильно забруднених речовин можливе за допомогою різноманітних адсорбентів (активоване вугілля (activated carbon), силікагель тощо). У цьому випадку готують гарячий насичений розчин речовини, охолоджують його до 40 – 50 °С, додають адсорбент (0,5 – 2 % від маси речовини) і знову кип'яють із зворотним холодильником протягом кількох хвилин.

### "Гаряче" фільтрування

Для відокремлення від механічних домішок та адсорбенту гарячий розчин фільтрують. Щоб запобігти виділенню речовини на фільтрі застосовують різні методи. Проста установка для "гарячого" фільтрування (рис. 3.2) складається з спеціальної воронки для "гарячого" фільтрування (1), що обігривається паром та хімічної воронки (2) із складчастим фільтром (3), який вміщується в неї.

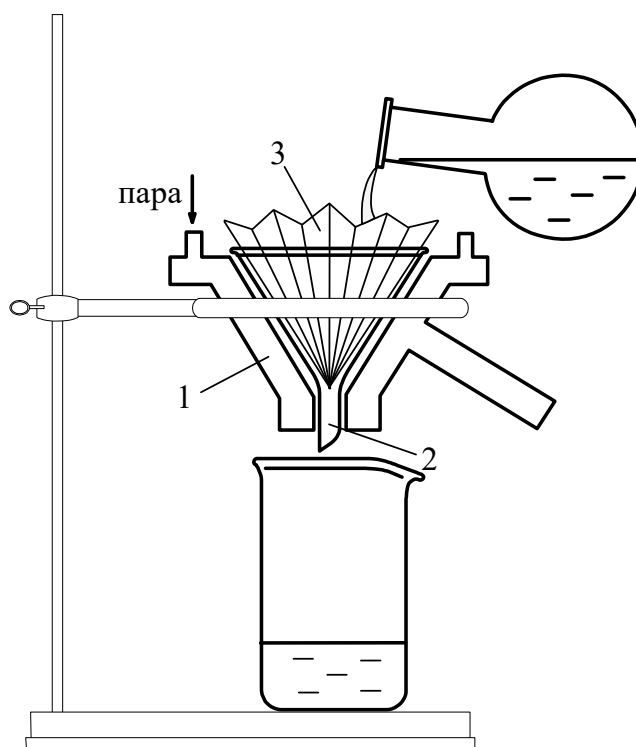


Рисунок 3.2 – Установка для "гарячого" фільтрування

Гарячий насичений розчин речовини швидко виливають на паперовий фільтр, що вміщений у скляну воронку, яка нагрівається з допомогою воронки для гарячого фільтрування. Фільтрат збирають у стакан або конічну колбу. При утворенні на фільтрі кристалів речовини їх промивають невеликою кількістю гарячого розчинника.

### Охолодження розчину

При охолодженні фільтрату до кімнатної температури починається процес кристалізації. Для її прискорення фільтрат охолоджують під струменем холодної води. При цьому розчинність речовини зменшується, відбувається остаточна кристалізація.

### Відділення кристалів, що утворилися

Відділення кристалів від розчинника здійснюють за допомогою фільтрування, при цьому відсмоктування або створення вакууму в приймачі часто використовують для прискорення процесу фільтрування. Для цього використовують вакуумний насос (водоструминний, масляний або Камовського). Фільтрування здійснюють на установці (рис. 3.3), яка складається з воронки Бюхнера (1) з паперовим фільтром, колби Бунзена або спеціальної пробірки (2), проміжної склянки (3) та вакуумного насоса. Розмір паперового фільтра повинен точно збігатися з площею дна воронки Бюхнера.

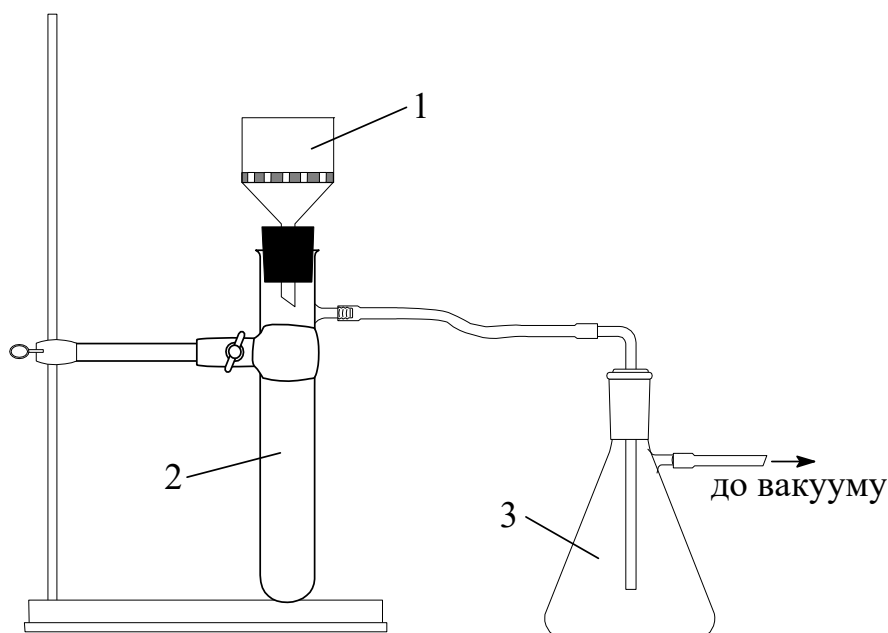


Рисунок 3.3 – Установка для фільтрування під вакуумом

Паперовий фільтр змочують розчинником, вкладають у воронку і включають вакуумний насос. При роботі насоса під фільтром створюється знижений тиск – виникає характерний звук, що свідчить про наявність вакууму в системі і можливість фільтрування. Охолоджений кристалічний продукт разом з розчинником при збовтуванні невеликими порціями переносять з конічної колби на паперовий фільтр.

В процесі фільтрування розчинник проходить через фільтр, осад залишається на ньому. Слід пильнувати, щоб фільтрат не заповнив колбу до рівня тубуса, з'єданого із проміжною склянкою. Фільтрування продовжують доти,

доки не перестане капати фільтрат. Після цього осад віджимають на фільтрі широкою скляною пробкою або спеціальною скляною паличкою, вимикають насос, промивають осад чистим розчинником, вмикають насос і знову віджимають. Установку відключають від вакууму, виймають воронку. Фільтр разом з речовиною акуратно переносять в чашку Петрі або спеціальну ємність для висушування.

### *Висушування твердої речовини*

Сушити тверду речовину можна на повітрі при кімнатній температурі. Гігроскопічні речовини висушують в ексікаторах; стійкі до дії повітря та температури – в сушильній шафі, де температура має бути на 20 – 50 °С нижчою за температуру плавлення даної речовини. Для перекристалізованого і висушеного продукту визначають масу, вихід та температуру плавлення.

### *Визначення температури плавлення*

*Температурою плавлення речовини вважають температурний інтервал від початку до повного розплавлення цієї речовини. Чим чистіша речовина, тим менший цей інтервал. Різниця між температурою, при якій з'являється рідка фаза і температурою повного розплавлення для чистих сполук, не перевищує 0,5 °С.*

Наявність незначної кількості домішок у речовині знижує її температуру плавлення та, відповідно, збільшує інтервал плавлення. Цю властивість використовують для встановлення ідентичності двох речовин, якщо одна з них відома: ретельно змішують однакові кількості речовин і визначають температуру плавлення суміші ("змішана проба"). Якщо температура плавлення "змішаної проби" така ж, як і в чистої речовини, роблять висновок про ідентичність обох речовин.

Температуру плавлення кристалічної органічної речовини визначають у капілярі за допомогою спеціального приладу, зображеного на рис. 3.4. Капіляр витягують із скляної трубки, нагріваючи її на полум'ї пальника. Один кінець капіляра запаюють.

Перекристалізовану речовину ретельно розтирають на годинниковому склі або в ступці. Відкритим кінцем капіляра набирають невеличку кількість речовини і кидають його запаєним кінцем донизу в скляну трубку довжиною ~ 60 – 80 см, поставлену вертикально на лабораторний стіл. Операцію наповнення капіляра повторюють кілька разів, доки в ньому не утвориться цільний стовпчик речовини висотою 2 – 3 мм.

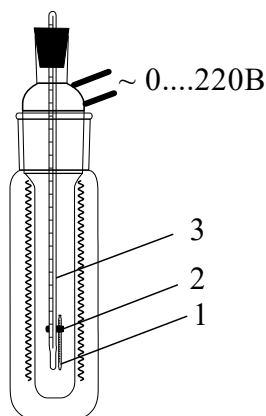


Рисунок 3.4 – Прилад для вимірювання температури плавлення

Наповнений капіляр (1) закріплюють гумовими кільцями (2) на термометрі (3) так, щоб проба речовини перебувала на рівні кульки термометра. Нагрівання приладу регулюють так, щоб температура піднімалася із швидкістю  $1^{\circ}\text{C}$  за хвилину. При цьому уважно стежать за станом стовпчика речовини у капілярі, зазначаючи всі зміни – зміну забарвлення, розкладання, спікання, намокання тощо. Початком плавлення вважають виникнення першої краплі в капілярі ( $T_1$ ), а закінченням – закінчення розплавлення останніх кристаликів речовини ( $T_2$ ). Інтервал температур ( $T_2 - T_1$ ) називають температурою плавлення даної речовини ( $T_{\text{пл}}$ ).

## Лабораторна робота № 1

### Перекристалізація твердої речовини

Використовуючи теоретичні знання підрозділу 3.1, скласти установки, зображені на рис. 3.1 – 3.3, та провести очищення твердої речовини методом перекристалізації. Визначити температуру плавлення очищеної речовини, використовуючи прилад, зображений на рисунку 3.4. Тверді речовини для очищення видаються викладачем. Результати досліду занести до табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Очищення твердої речовини методом перекристалізації

Назва речовини, формула	Маса речовини до перекристалізації, г	Розчинник	Вихід після перекристалізації		Температура плавлення	
			г	%	з довідника	визначена

### Контрольні запитання

1. На чому ґрунтується принцип очищення речовин перекристалізацією? Назвіть основні стадії процесу перекристалізації.
2. Які вимоги висувають до розчинника при перекристалізації речовин різного походження (органічні полярні і неполярні речовини, солі карбоно-

- вих кислот, неорганічні речовини)?*
3. *Які розчинники використовують при перекристалізації? Як вибирають розчинник?*
  4. *Як готують насичений розчин речовини для її перекристалізації?*
  5. *Як відокремлюють насичений розчин від механічних домішок?*
  6. *Як відокремлюють кристалічний продукт від розчину?*
  7. *Як готують лабораторний нутч-фільтр для роботи (створюють вакуум у системі)?*
  8. *Як готують зразки речовини для визначення температури плавлення?*
  9. *Як визначають температуру плавлення речовини?*
  10. *Які висновки можна зробити про ступінь чистоти продукту за результатами визначення температури плавлення?*

### **3.2 Очищення органічної речовини перегонкою з водяною парою**

Перегонка з водяною парою застосовується для виділення і очищення нерозчинних і малорозчинних у воді висококиплячих речовин, які розкладаються при перегонці при атмосферному тиску. Це найефективніший метод очищення таких речовин від смолистих домішок, а також розділення природних масел і смол на фракції. Перегонку з парою можна застосовувати і для розділення суміші висококиплячих речовин, з яких лише одна відганяється з парою.

Згідно із законом Дальтона сумарний тиск (P) пари суміші, яка перега- няється, є сумою парціальних тисків пари води (P<sub>В</sub>) та нерозчинної у воді речовини (P<sub>А</sub>):

$$P = P_{В} + P_{А}.$$

Температура кипіння такої суміші при атмосферному тиску завжди буде нижчою за 100 °С, тобто цей спосіб дозволяє розділяти висококиплячі рідини, які нестійкі за температур, вищих за 100 °С.

Деякі з речовин, для очищення яких застосовується метод перегонки з водяною парою, наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Речовини, які можна перегнати з водяною парою

Речовина	Температура кипіння, °С		Вміст речовини в дистилаті, %
	чистої речовини	суміші речовини з водяною парою	
Анілін	184,4	98,5	23,1
Бромбензол	156,2	95,5	61,0
Нафталін	218,2	99,3	14,4
Фенол	182,0	98,6	20,6
Нітробензол	210,9	99,3	15,3

Установка для перегонки з водяною парою зображена на рис. 3.5.

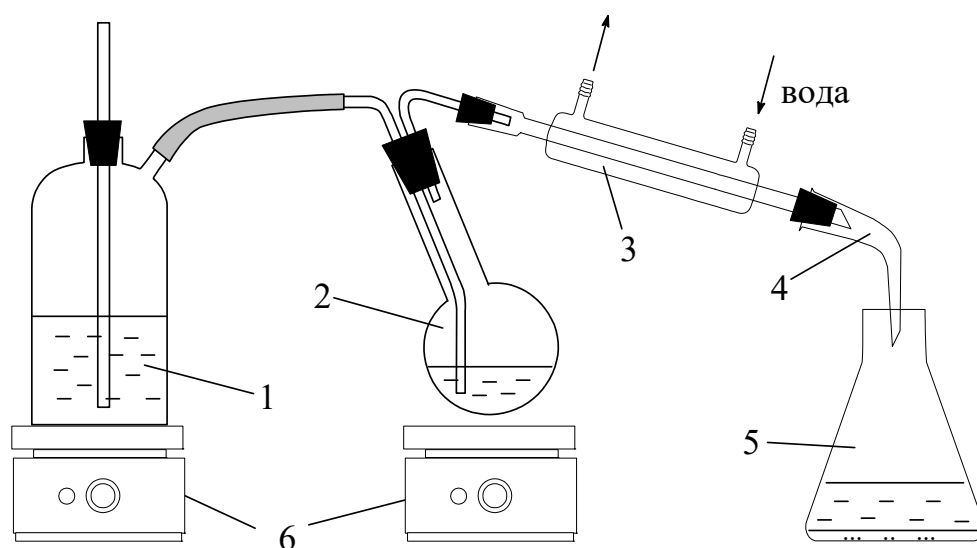


Рисунок 3.5 – Установка для перегонки з водяною парою

1 – паровик; 2 – колба для перегонки; 3 – похилий холодильник;  
4 – алонж; 5 – приймач; 6 – електронагрівачі

В колбу для перегонки із сумішшю води та речовини подають гарячу водяну пару. Утворена парова суміш направляється у похилий холодильник для конденсації, в результаті чого утворюється суміш двох нерозчинних одна в одній речовин, які легко розділяються.

Для отримання пари застосовують металевий паровик, який обладнаний запобіжною трубкою, що доходить практично до його дна і захищає систему від різкого підвищення тиску (наприклад, у випадку, коли трубка, що відводить пару, заб'ється смолою або твердими частинками, або у холодильнику утворяться кристали речовини тощо). Паровик заповнюють водою на 2/3 об'єму і нагрівають до кипіння.

Колбу для перегонки закріплюють похило ( $\sim 60^\circ$  до горизонтальної площини), щоб бризки через паровідвідну трубку не потрапляли в холодильник. Речовину разом з невеликою кількістю води поміщають в колбу для перегонки (1/5 об'єму колби), яку щільно закривають гумовою пробкою з двома трубками – одна з них з'єднується з паровиком (після закипання в ньому води), а інша – з холодильником. При перегонці твердих речовин алонж не використовують. Щоб водяна пара не конденсувалася у колбі, її можна підігрівати за допомогою електронагрівача (колбонагрівача). Подачу води в холодильник припиняють, якщо спостерігається затвердіння конденсату в холодильнику. Після розплавлення конденсату воду для охолодження холодильника включають дуже обережно, щоб холодильник не тріснув через різкий перепад температур.

Перегонку припиняють тоді, коли почне переганятися прозорий дистилат. Після закінчення перегонки від'єднують гумову трубку паровика, а потім

припиняють його нагрівання, інакше при охолодженні в ньому створюється вакуум і рідина з колби для перегонки може бути втягнута до паровика.

Інколи закінчення процесу перегонки визначають за допомогою якісних реакцій. Так, наприклад, при перегонці аніліну закінчення процесу контролюють за допомогою бромної води – при наявності аніліну відбувається знебарвлення бромної води і утворення осаду 2,4,6-триброманіліну.

Далі відділяють органічну речовину від води:

а) фільтруванням, якщо продукт за кімнатної температури твердий, з наступним висушуванням та зважуванням;

б) екстракцією, якщо продукт рідкий, з наступним висушуванням екстракту та фракційною перегонкою.

## Лабораторна робота № 2

### Перегонка невідомої органічної речовини з водяною парою

Використовуючи теоретичні знання підрозділу 3.2, скласти установку, зображену на рис. 3.5, та провести очищення (виділення) органічної речовини перегонкою з водяною парою. Якщо перегнана речовина є рідкою, отриману суміш залишити для розділення екстракцією або перегонкою при атмосферному тиску. Речовину для очищення (перегонки з водяною парою) видає викладач. Результати дослідів занести до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Очищення речовини перегонкою з водяною парою

Назва речовини, формула	Температура кипіння, °С (з довідника)	Температура плавлення, °С (з довідника)	Маса речовини для перегонки, г	Вихід речовини	
				Г	%

### Контрольні запитання

1. Який фізичний закон покладено в основу методу перегонки з водяною парою?
2. Для очищення яких речовин застосовують перегонку з водяною парою?
3. Чи можна відділити бромбензол від нітробензолу перегонкою з водяною парою? Відповідь обґрунтувати.
4. З яких частин складається установка для перегонки з водяною парою?
5. Як отримують водяну пару для перегонки?
6. Чому колбу для перегонки закріплюють похило?
7. У якому випадку припиняють подачу води для охолодження холодильника?
8. Як визначають закінчення процесу перегонки?
9. Чому після закінчення процесу перегонки спочатку від'єднують паровик від колби для перегонки, і тільки потім припиняють його нагрівання?
10. Як розділяють суміш органічної речовини і води після завершення перегонки?



### 3.3 Екстракція та висушування органічних речовин

*Екстракція* – процес вилучення одного або кількох компонентів з розчинів або з твердих сумішей за допомогою вибіркового розчинника (екстрагентів). Спосіб ґрунтується на різній розчинності речовин у розчиннику або в двох різних розчинниках, які не змішуються між собою.

Наприклад, оцтова кислота добре розчиняється у воді і в органічних розчинниках – бензолі, спирті. Для екстракції оцтової кислоти з її водного розчину вибирають розчинник, який не змішується з водою – бензол. Тоді при додаванні бензолу до водного розчину  $\text{CH}_3\text{COOH}$  кислота перейде в бензольний шар. Повторюючи цю операцію кілька разів, можна видалити з води практично всю оцтову кислоту.

Із суміші кількох речовин також можна виділити одну з них, підібравши розчинник, який розчиняє лише цю речовину і не розчиняє інші.

Розчинник для екстрагування (екстрагент) повинен задовольняти певні вимоги:

- а) екстрагент і розчин повинні значно відрізнитись за густиною;
- б) розчинність речовини, яку видаляють в екстрагенті, має бути значно вищою, ніж у розчині;
- в) екстрагент повинен мати не дуже високу температуру кипіння.

Як екстрагенти найчастіше застосовують бензол, дихлоретан, діетиловий етер, хлороформ, етилацетат тощо.

Ефективність екстракції залежить від коефіцієнта розподілу, який показує співвідношення концентрацій (concentration) даної речовини в двох розчинниках, що не змішуються між собою. Процес екстракції описується рівнянням:

$$x_n = x_0 \left( \frac{kV_1}{kV_1 + V_2} \right)^n,$$

де  $x_n$  – маса речовини, яка залишилася у водному розчині після  $n$ -ої екстракції, г;

$x_0$  – маса речовини, яка на початку містилася у водному розчині, г;

$k$  – коефіцієнт розподілу;

$V_1$  – об'єм водного розчину, мл;

$V_2$  – об'єм екстрагента, який взятий для екстракції, мл;

$n$  – число екстракцій.

Аналіз рівняння показує, що кількість речовини, яка залишиться у водному розчині, буде меншою, якщо проводити екстракцію кілька разів невеликими порціями розчинника, ніж одну екстракцію – всім об'ємом розчинника.

Екстрагування речовини здійснюють у товстостінних ділільних воронках (рис. 3.6).

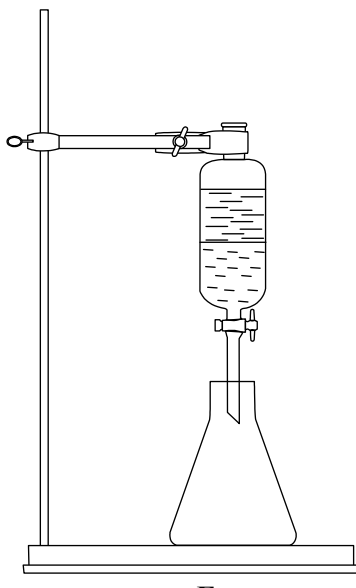


Рисунок 3.6 – Установа для вилучення речовин екстракцією

Процес екстрагування проводять у кілька стадій:

- перевіряють герметичність ділильної воронки, для чого заповнюють її водою. Якщо кран воронки у закритому стані пропускає воду, його змащують гліцерином;
- закріплюють воронку вертикально і заповнюють її розчином та екстрагентом так, щоб загальний об'єм рідини не перевищував  $2/3$  об'єму воронки. Об'єм розчинника повинен дорівнювати приблизно  $1/5$  об'єму розчину;
- закривають її пробкою і, тримаючи воронку в руках, обережно перемішують суміш, перевертаючи вгору і вниз протягом 5 – 10 хвилин. Періодично відкривають пробку (у її верхньому положенні) для вирівнювання тиску);
- перевертають воронку пробкою вниз і відкривають кран для вирівнювання тиску (вирівнювання тиску проводять доти, доки тиск у воронці не буде змінюватися);
- воронку закріплюють вертикально, після розшарування рідин знімають з воронки пробку і випускають нижній шар рідини у конічну колбу або хімічний стакан через кран;
- верхній шар виливають через тубус воронки;
- якщо при екстракції утворилась емульсія (emulsion), її можна зруйнувати, додаючи аміловий спирт, або натрій хлорид;
- одержані після екстракції розчини висушують дегідратуючими речовинами, а потім відганяють розчинник за допомогою перегонки при атмосферному тиску.

#### *Висушування органічних рідин та розчинів*

У багатьох випадках органічні розчинники, які застосовуються в хімічних лабораторіях, не повинні містити воду в помітних кількостях, оскільки при нагріванні це може привести до гідролізу речовин, які переганяються.

Наявність води у розчині при перегонці веде до появи нових фракцій і, як наслідок, до втрат основного продукту.

Широко поширені методи висушування органічних рідин за допомогою дегідратуючих речовин. Осушувач повинен задовольняти такі вимоги:

- не повинен хімічно взаємодіяти як з розчинником, так і з розчинною речовиною;
- не повинен каталітично сприяти самоокисненню, полімеризації і конденсації компонентів розчину;
- не повинен помітно розчинятися в органічній рідині;
- повинен зв'язувати воду швидко і ефективно;
- повинен бути доступною речовиною.

У табл. 3.4 наведені найбільш поширені осушувачі та їх застосування.

Таблиця 3.4 – Осушувачі та їх використання

Класи органічних сполук, що осушуються	Осушувачі
Алкани, циклоалкани, арени, етери	Кальцій хлорид, натрій сульфат, магній сульфат, металевий натрій, фосфор (V) оксид, натрій ацетат
Галогенопохідні вуглеводнів	Кальцій хлорид, натрій сульфат, магній сульфат, фосфор (V) оксид
Спирти	Калій карбонат, натрій сульфат, магній сульфат, купрум сульфат, кальцій оксид, натрій ацетат
Альдегіди та кетони	Натрій сульфат, магній сульфат
Аміни	Калій (натрій) гідроксид, калій карбонат, натрій сульфат, кальцій оксид, барій оксид,
Органічні кислоти	Натрій сульфат, магній сульфат
Естери	Натрій сульфат, магній сульфат

Осушувачі зазвичай використовують у вигляді плавлених або прожарених гранул діаметром 5 – 10 мм.

Рідину, яку треба осушити, наливають у плоскодонну колбу і додають осушувач. Якщо в процесі висушування не виділяється газ, то склянку щільно закривають пробкою з хлоркальцієвою трубкою. Висушування здійснюється протягом кількох годин.

Після закінчення висушування рідину фільтрують або зливають декантацією і переганяють.

### **Лабораторна робота № 3** **Екстракція невідомої органічної речовини з бінарного** **водно-органічного розчину та її висушування**

Водний розчин органічної речовини об'ємом 10 мл екстрагують відповідним органічним розчинником (3 x 10 мл), а потім за допомогою ділильної воронки відділяють екстракт від водної фази.

Далі екстракт виливають в суху плоскодонну колбу, вносять певну кількість відповідного осушувача, закривають пробкою і залишають на одну годину.

За годину відмічають зміни, які свідчать про поглинання води з органічного розчину (розчин стає більш прозорим, осушувач збільшується в об'ємі).

Визначають об'єм висушеного екстракта, обережно переливають його в суху колбу Вюрца і проводять фракційну перегонку при атмосферному тиску.

Технічний розчин для екстракції отримують у викладача.

### **Контрольні запитання**

1. *Що покладено в основу вилучення та розділення речовин екстракцією?*
2. *Які вимоги повинен задовольняти екстрагент?*
3. *Назвіть основні стадії процесу екстракційного вилучення та розділення речовин.*
4. *Який хімічний посуд та обладнання застосовується при екстракції?*
5. *Який показник використовують для кількісної характеристики екстракційного вилучення речовин?*
6. *Від яких чинників залежить ступінь вилучення речовини в органічну фазу?*
7. *Як зменшити залишкову концентрацію речовини у водному розчині?*
8. *З якою метою проводять висушування органічних рідин?*
9. *Які дегідратуючі засоби застосовуються для висушування органічних рідин?*
10. *Які вимоги повинен задовольняти осушувач?*

### **3.4 Виділення та очищення органічних речовин перегонкою при атмосферному тиску**

Метод перегонки застосовується для очищення і розділення суміші рідин, які відрізняються за температурами кипіння. Цей метод доцільний лише в тому випадку, коли речовина, яку переганяють, є стійкою до нагрівання і практично не розкладається при температурі кипіння.

*Перегонка – це процес, який включає часткове випаровування суміші і подальшу конденсацію утвореної пари. В результаті конденсації пари одержують рідину, склад якої відрізняється від складу вихідної суміші. Розділення рідин перегонкою ґрунтується на різній леткості компонентів суміші за однієї температури, а тому при перегонці всі компоненти суміші переходять у пароподібний стан у кількостях, пропорційних їх леткості. Тобто, парова фаза завжди містить більшу кількість низькокиплячого компонента, ніж їх рідка суміш.*

При випаровуванні встановлюється рівновага між рідиною і паром та відповідний тиск пари, значення якого залежить від природи рідини та температури, причому з підвищенням температури тиск пари над рідиною підвищується. Деякі сполуки утворюють суміші, при перегонці яких склад пари не відрізняється від складу рідини, тобто ці суміші киплять при однаковій температурі, а значить стають нероздільними. Такі суміші називають азеотропними.

Перегонку при атмосферному тиску доцільно застосовувати для рідин із температурою кипіння від 40 до 150 °С, оскільки за температури понад 150 °С більшість органічних сполук розкладаються, а інші – з температурами кипіння нижче за 40 °С переганяються зі значними втратами.

При певній температурі тиск пари, що знаходиться над рідиною, не залежить від кількості рідини та пари, але зростає з підвищенням температури.

Рідина починає кипіти, коли тиск пари дорівнюватиме атмосферному тиску. За цих умов температура рідини більше не підвищується. При подальшому нагріванні киплячої рідини підвищується швидкість пароутворення.

*Температура кипіння рідини – це температура, за якої тиск пари рідини в кожній точці над її поверхнею дорівнює атмосферному.* Необхідно завжди вказувати тиск, при якому відбувається перегонка, наприклад:  $T_{\text{кип}} = 121 \text{ }^\circ\text{C}$  (753 мм рт. ст.). Зниження тиску викликає зменшення температури кипіння рідини і навпаки – підвищення тиску приводить до зростання температури кипіння. Вважають, що зниження атмосферного тиску на 10 мм рт. ст. викликає зменшення температури кипіння в порівнянні з температурою кипіння при 760 мм рт. ст. на 0,5 °С.

Для перегонки чистої речовини при атмосферному тиску застосовується установка (рис. 3.7), яка складається з колби Вюрца (1), термометра (2), похилого холодильника (3), алонжа (4) та приймача (5). Колбу Вюрца вибирають таких розмірів, щоб рідина в ній займала 2/3 об'єму.

Для перегонки низькокиплячих рідин, температура кипіння яких нижча 150 °С, застосовують колбу Вюрца з високоприпаяною трубкою та холодильник Лібіха.

Для перегонки висококиплячих рідин, температура кипіння яких вища 150 °С, застосовують колбу Вюрца з низькоприпаяною трубкою та повітряним холодильником. При перегонці таких речовин не слід застосовувати скляні холодильники з водяним охолодженням, тому що через різкий перепад температур холодильник може тріснути.

Рідини, які киплять вище 300 °С, переганяють без холодильника, його функцію виконує відвідна трубка колби Вюрца.

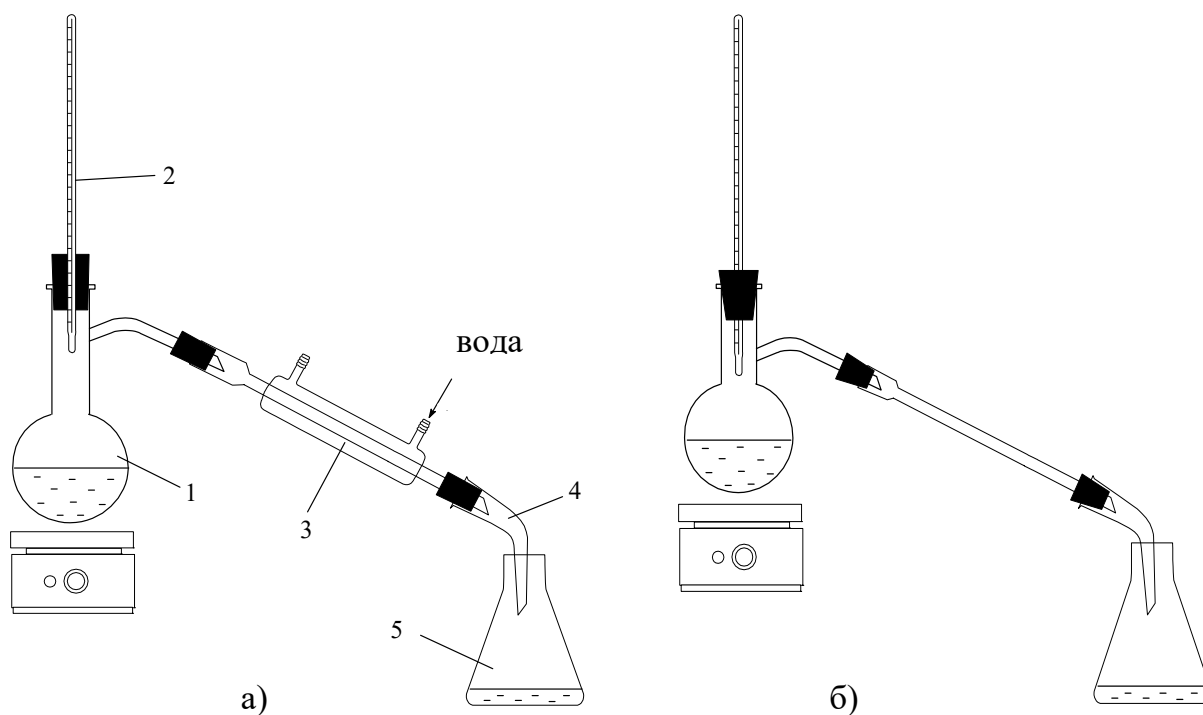


Рисунок 3.7 – Установка для перегонки при атмосферному тиску:  
а – низькокиплячих рідин; б – висококиплячих рідин

Складають установку для перегонки. Термометр, який показує температуру пари рідини, що переганяють, вставляють у колбу так, щоб кулька з ртуттю була розташована на 0,5 см нижче отвору відвідної трубки для забезпечення омивання кульки. Холодильник з'єднують з алонжем, який дозволяє знизити втрати низькокиплячої речовини за рахунок випаровування. У колбу наливають рідину, що підлягає перегонці, кладуть кип'ятільні камінці, які забезпечують рівномірне кипіння, та закривають горловину пробкою з термометром. Підставляють приймач для дистилату і починають нагрівання. Не можна додавати кип'ятільні камінці в киплячу рідину, оскільки при цьому відбувається її бурхливе закипання. При перегонці рідина не повинна бурхливо кипіти, у іншому випадку вона може потрапити у відвідну трубку та забруднити дистилат.

При роботі установки з водяним холодильником потрібно постійно стежити за напором води в ньому: слабкий напір води або відсутність її в холодильнику може призвести до виходу пари в атмосферу, отруєння повітря і, тим самим, створити токсичну й вогнебезпечну обстановку.

Речовину не можна відганяти повністю. Перегонку припиняють, коли в колбі для перегонки залишається 1 – 2 мл рідини.

В залежності від температури кипіння рідини, яку переганяють, колбу нагрівають або на водяній бані (для речовин, температура кипіння яких нижча 80 °С), азбестовій сітці чи на піщаній бані. Температура бані не повинна

перевищувати температуру кипіння рідини більш ніж на 25 °С. Горючі, легкозаймисті рідини, такі як діетиловий етер, переганяють на водяній бані, попередньо нагрітій на електричній плитці із закритим елементом. Горючі рідини з температурою кипіння понад 100 °С можна нагрівати на електроплитках.

Якщо здійснюють перегонку чистої речовини, показники термометра в процесі перегонки залишаються сталими. *Практично чистою вважають речовину, яка переганяється в інтервалі температур з різницею в 1 – 2 °С.*

Простою перегонкою можна розділити суміші речовин, температури кипіння яких значно (на декілька десятків градусів) відрізняються одна від одної. При простій перегонці не можна домогтися повного розділення суміші, але можна виділити окремі фракції: першу, яка містить більш летку (більш низькокиплячу) речовину, останню, яка містить менш летку (більш висококиплячу) речовину. Середня проміжна фракція буде складатись із суміші обох речовин, які розділяються.

### Лабораторна робота № 4

#### Перегонка невідомої суміші органічних рідин при атмосферному тиску

Використовуючи теоретичні знання підрозділу 3.4, скласти установку, зображену на рис. 3.7, та провести очищення (виділення) органічної речовини перегонкою при атмосферному тиску. Речовину для очищення (перегонки при атмосферному тиску) видає викладач. Результати дослідження занести до табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Очищення речовини перегонкою при атмосферному тиску

Маса суміші до перегонки, г	Номер фракції	Температура кипіння фракції, Т <sub>п</sub> - Т <sub>к</sub> , °С	Маса фракції після перегонки, г	Вихід, %	Назва сполуки, формула	Температура кипіння за довідником, °С

#### Контрольні запитання

1. Які фізичні процеси лежать в основі перегонки?
2. Для виділення та очищення яких речовин доцільно застосовувати перегонку при атмосферному тиску?
3. Що називають температурою кипіння речовини і як її можна знизити?
4. За якими ознаками можна відрізнити перегонку суміші від перегонки індивідуальної речовини?
5. Які колби застосовуються для перегонки висококиплячих рідин, які – для низькокиплячих рідин? Чому?

6. *В яких випадках при перегонці застосовують: холодильник Лібіха, повітряний холодильник? У якому випадку як холодильник можна використувати відвідну трубку колби Вюрца?*
7. *На якому рівні повинна знаходитись ртутна кулька термометра в колбі для перегонки? Чому при перегонці кінець холодильника з'єднують з алонжем?*
8. *Що може трапитись, якщо установка для перегонки не буде з'єднана з атмосферою?*
9. *Чому не можна опускати кип'ятільні камінці у киплячу рідину?*
10. *Які речовини можна розділити простою перегонкою? Чи можна при цьому досягти повного розділення суміші речовин?*



## ЯКІСНІ РЕАКЦІЇ НА ДЕЯКІ КЛАСИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Малий органічний практикум розрахований на визначення найважливіших класів органічних сполук за допомогою якісних реакцій на функціональні групи. Класи сполук, наведені на рис. 4.1, утворюють відповідні гомологічні ряди.

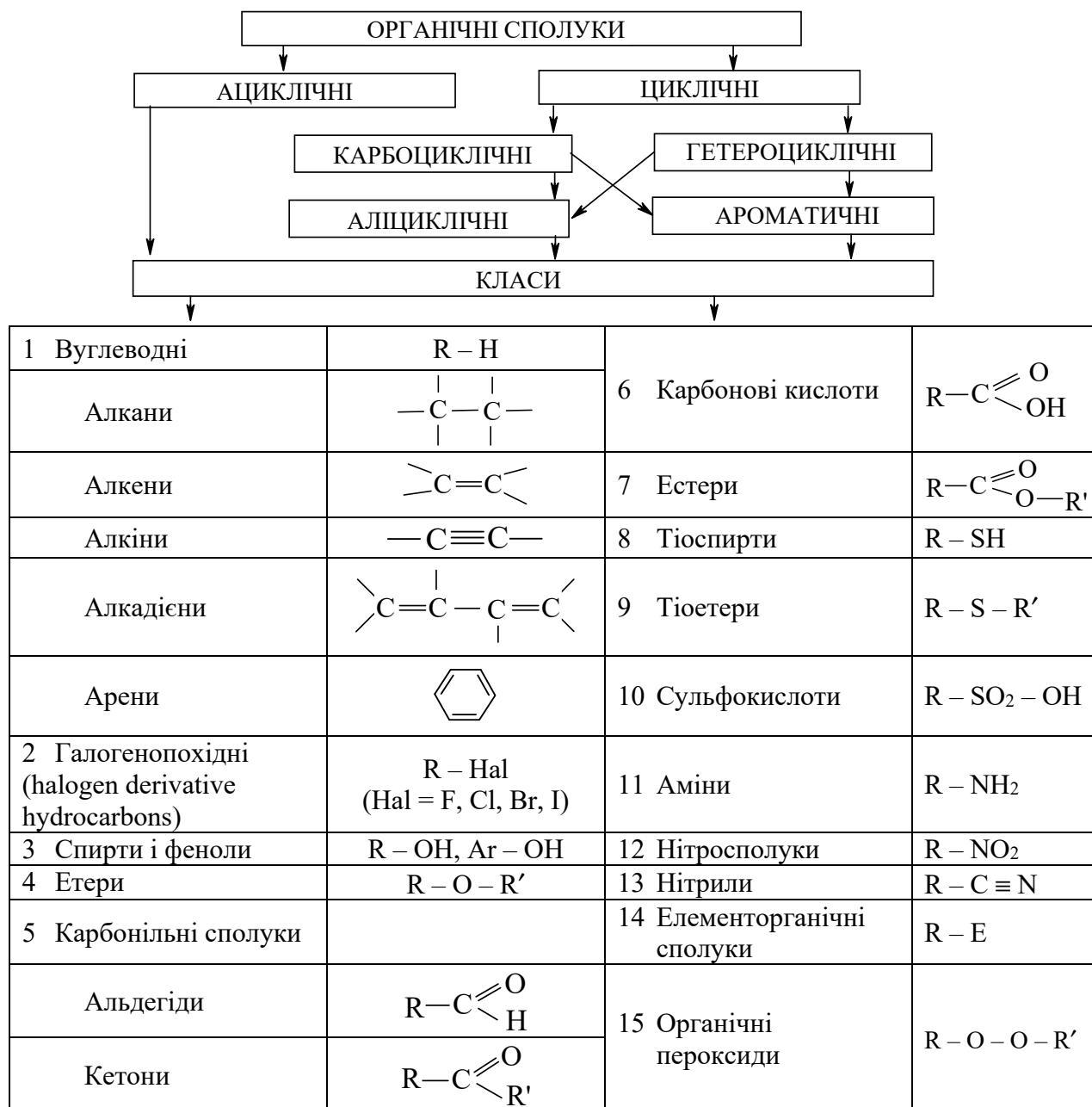


Рисунок 4.1 – Найважливіші класи органічних сполук за їх функціональними групами

Перша особливість цього розділу полягає в тому, що, в першу чергу, для виявлення функціональних груп використовуються не фізичні та фізико-

хімічні методи (інфрачервона спектроскопія, спектроскопія в ультрафіолетовій та видимій частинах спектра, спектроскопія протонного магнітного резонансу, газова та газорідна хроматографія), а хімічні методи. Це дозволяє не лише практично закріпити набуті на лекціях та семінарах теоретичні знання, а і знайти їм практичне застосування при первинній ідентифікації (identification), наприклад, неопізнаних та змішаних органічних препаратів, а також вторинної промислової сировини, яка зараз не використовується.

Друга особливість полягає в тому, що біологічна активність багатьох препаратів визначається, як правило, наявністю функціональних груп в органічній молекулі та їх просторовою будовою. Вперше спроба класифікувати, наприклад, пестицидні препарати за класами органічних сполук була здійснена Мельниковим М. М. [64]. Вона виявилась вдалою і зараз широко використовується як в Україні, так і за кордоном. При цьому діючі речовини сучасних біологічно активних препаратів відносяться до таких класів органічних сполук [64]:

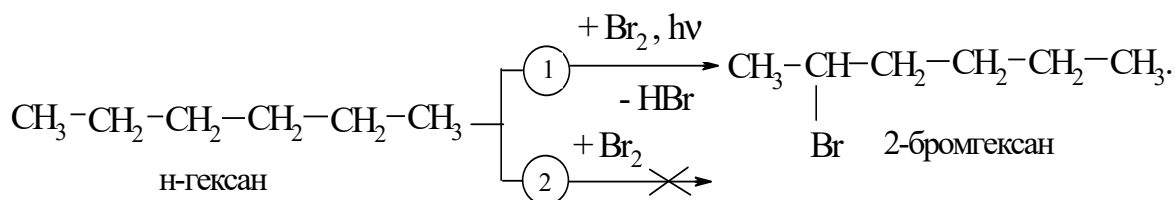
- галогенопохідні аліфатичних, аліциклічних та ароматичних вуглеводнів;
- нітро-, аміносполуки та четвертинні амонієві солі;
- спирти, феноли;
- етери та естери органічних кислот;
- альдегіди, кетони та хінони;
- аліфатичні, аліциклічні, ароматичні та арилоксикарбонові кислоти та їх похідні;
- похідні карбонатної та карбамінової кислот;
- похідні тіо- та дитіокарбамінової кислот;
- похідні сечовини та тіосечовини (thiourea);
- гетероциклічні сполуки;
- органічні сполуки меркурію, стануму, силіцію, плюмбуму, германію, арсену, стибію, бісмуту, феруму, фосфору та бору.

Третя особливість розділу полягає в тому, що якісні реакції лише на одну функціональну групу зустрічаються досить рідко, тому для визначення певної функціональної групи, як правило, використовують декілька реакцій, які доповнюють одна одну.

## 4.1 Вуглеводні

### 4.1.1 Насичені вуглеводні (алкани)

Насичені вуглеводні (гексан, октан та інші) вступають в реакцію галогенування при опроміненні реакційної маси світлом кварцової лампи.



Розчин бромю, як правило, готують у тетрахлорметані або хлороформі у співвідношенні розчинник : бром = 50 : 1, або 100 : 1.

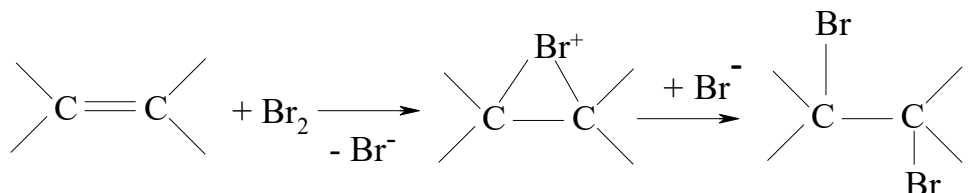
#### Дослід 4.1. Реакція з бромом

В дві сухі пробірки вносять по 1 мл проби насиченого вуглеводню, додають 10 крапель розчину бромю, наприклад, в тетрахлорметані і легко струшують реакційну масу в пробірках. Потім першу пробірку ставлять в темне місце на 10 хвилин (контрольний дослід, реакція 2 за наведеною схемою), а реакційну масу другої пробірки опромінують світлом кварцової лампи (реакція 1, бромовання) протягом 10 хвилин. Потім порівнюють зміни в обох пробірках.

#### 4.1.2 Ненасичені вуглеводні (алкени)

#### Дослід 4.2. Реакція ненасичених сполук з бромом

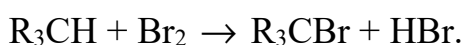
Більшість сполук, які містять кратні зв'язки (подвійний, потрійний, їх комбінації, за винятком ароматичних систем), легко приєднують бром:



Реакцію, як правило, проводять у розчині тетрахлорметану, хлороформу або оцтової кислоти.

В суху пробірку вносять 1 – 2 краплі проби ненасиченого вуглеводню, додають 1 – 2 краплі розчину бромю в хлороформі (або оцтовій кислоті) і легко струшують пробірку. При наявності у пробі речовини із кратним зв'язком розчин миттєво знебарвлюється. Для демонстрації реакції зручно використовувати олеїнову кислоту, аліловий спирт, циклогексадієн.

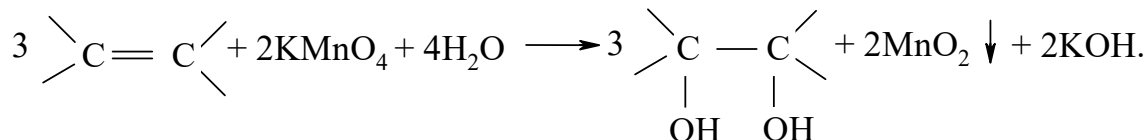
Інші класи сполук, які містять рухомі атоми Гідрогену, що легко заміщуються на Бром (анілін, фенол, деякі третинні вуглеводні), також знебарвлюють розчин бромю. Однак при цьому виділяється бромоводень, який легко виявити з допомогою вологого лакмусового паперу:



Вологий лакмусовий папір червоніє, що вказує на виділення «кислої» пари HBr. Реакцію ненасичених вуглеводнів з бромом слід доповнювати (дублювати) реакцією з калій перманганатом (permanganate).

### Дослід 4.3. Реакція ненасичених сполук з калій перманганатом

У слабкокислому середовищі калій перманганат окиснює подвійний зв'язок більшості сполук до гліколей (реакція Вагнера), відновлюючись при цьому до манган(IV) оксиду:



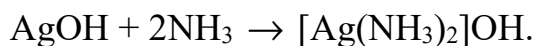
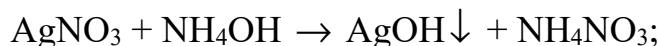
В пробірку вносять 1 краплю рідкого алкену, додають 1 краплю 0,5М розчину натрій карбонату і при енергійному струшуванні додають 2 – 3 краплі розчину калій перманганату. При наявності кратного зв'язку фіолетове забарвлення останнього миттєво зникає і з'являється коричневий осад манган(IV) оксиду. Якщо ненасичений вуглеводень нерозчинний у воді, то у цьому випадку як розчинник використовують піридин або ацетон.

Інші ненасичені вуглеводні (алкіни, алкадієни) також вступають в реакції з бромом та калій перманганатом. Тому для виявлення кінцевого потрійного ( $-\text{C} \equiv \text{CH}$ ) зв'язку в алкінах застосовують специфічні реакції з аміакатами купруму(I) та аргентуму(I).

#### 4.1.3 Ненасичені вуглеводні (алкіни)

#### Дослід 4.4. Утворення аргентум(I) ацетиленіду

У пробірку вносять 2 краплі аргентум(I) нітрату і додають 1 краплю розчину амоніаку – утворюється бурий осад аргентум(I) гідроксиду. При додаванні 1 – 2 крапель розчину амоніаку осад  $\text{AgOH}$  легко розчиняється з утворенням амоніачного розчину аргентум(I) оксиду:

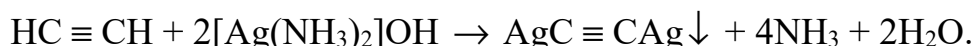


не стійкий                      реактив Толенса

Для отримання ацетилену у пробірку з газовідвідною трубкою вносять 3 – 4 г кальцій карбїду, додають 10 мл води та закривають пробкою:



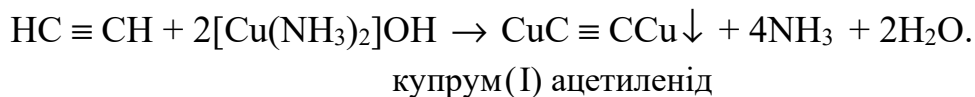
Через амоніачний розчин аргентум(I) гідроксиду пропускають ацетилен (алкін). Утворюється білий осад аргентум(I) ацетиленіду:



аргентум(I) ацетиленід

#### Дослід 4.5. Утворення купрум(I) ацетиленіду

Через амоніачний розчин, який містить комплексний аміакат купруму(I), пропускають ацетилен (алкін). З'являється червоно-коричневий осад внаслідок утворення купрум(I) ацетиленіду:



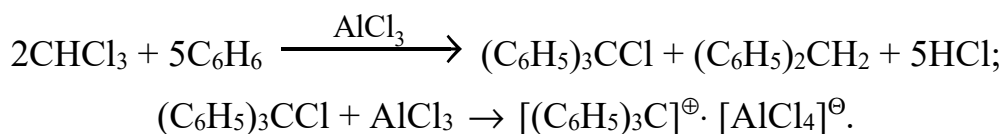
У водних розчинах ацетиленіди аргентуму(I) та купруму(I) – стійкі. У сухому стані при нагріванні або ударі – це вибухові речовини.

Реакції утворення купрум(I) та аргентум(I) ацетиленідів є якісними реакціями на кінцевий потрійний зв'язок ( $-\text{C} \equiv \text{CH}$ ).

#### 4.1.4 Ненасичені сполуки (арени)

##### Дослід 4.6. Взаємодія аренів з трихлорметаном

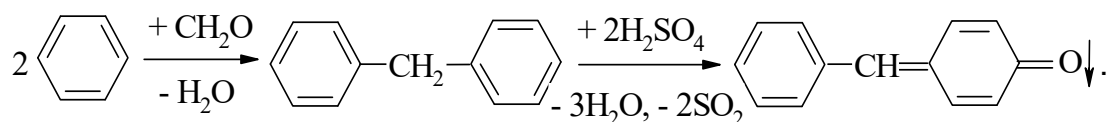
Ароматичні вуглеводні можна виявити дуже чутливою реакцією – дією трихлорметану (хлороформу) в присутності безводного алюміній хлориду:



Арени з одним бензольним ядром утворюють сполуки червоно-оранжевого кольору, з двома конденсованими ядрами (нафталін) – сполуки синього кольору, з трьома ядрами (антрацен) – сполуки зеленого кольору.

##### Дослід 4.7. Формалінова реакція аренів

Більш доступною реакцією на арени є формалінова реакція. При дії на сліди досліджуваної ароматичної речовини концентрованою сульфатною кислотою та формаліном випадають кольорові осаді внаслідок утворення хіноїдної структури:




Бензол та його гомологи (толуол, ксилол) утворюють червоні осаді, нафталін – світло-зелений.

### Лабораторна робота № 5

**Якісний функціональний аналіз вуглеводнів на наявність простого, подвійного, потрійного та ароматичного зв'язків у складі органічних речовин**

**Завдання 1.** Виконати досліди 1 – 7. Довести наявність простого, подвійного, потрійного та ароматичного зв'язків в органічних сполуках. Результати дослідів занести до табл. 4.1.

Таблиця 4. 1 – Якісні реакції на вуглеводні

Вуглеводень	Реагент	Якісна реакція	Спостереження
$\begin{array}{c}   \quad   \\ -C - C- \\   \quad   \end{array}$			
$\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ C = C \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$			
$\begin{array}{c} -C \equiv C- \\ -C \equiv CH \end{array}$			
			

**Завдання 2.** Використовуючи вміння та навички, отримані при виконанні попереднього завдання, запропонувати якісні реакції для виявлення сполук а, б, в, г, д відповідно до свого варіанта (табл. 4.2). Навести схеми відповідних реакцій.

Таблиця 4.2 – Досліджувані сполуки

Варіант	Речовини				
	а	б	в	г	д
1	пропен	етан	Ацетилен	бензол	дивініл
2	бензин	бутен-2	пропілбутан	метилацетилен	ізопрен
3	бутен-1	бутин-1	Бензин	м-ксилол	бутадиєн-1,3
4	етен	керосин	етилбензол	м-крезол	пентадиєн-1,3
5	п-ксилол	метан	крекінг-бензин	кумол	дивініл
6	н-бутан	2-метилпропан	Ацетилен	бензол	пентадиєн-1,4
7	пропін	етен	н-гексан	о-ксилол	ізопрен
8	бутадиєн-1,3	етилацетилен	Толуол	н-гексан	пропен
9	2-метилпентан	пропен	м-ксилол	метилацетилен	2-метил-1,3-пентадиєн
10	н-октан	2-метилбутен	ізопропіл-ацетилен	етилбензол	дивініл
11	3-метилбутин-1	бутен-1	Пропан	антрацен	ізопрен
12	стирол	етилацетилен	Ізобутан	кумол	бутен-1
13	бутин-1	ізопрен	Пентан	нафталін	етен
14	антрацен	ізопропіл-ацетилен	крекінг-бензин	метан	бутен-2
15	толуол	дивініл	Ацетилен	н-гептан	стирол

### Контрольні запитання

1. Якою реакцією можна довести, що насичені вуглеводні (алкани (*alkanes*), парафіни) не вступають в реакцію бромовання за звичайних умов? За яких умов можливе бромовання? Наведіть відповідні рівняння реакцій.

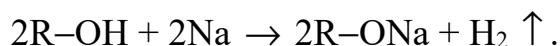
2. Наведіть якісну реакцію на ненасичені вуглеводні (алкени). Що при цьому відбувається?
3. Чи можна розрізнити алкани, алкени та алкіни реакцією з бромом? Наведіть відповідні рівняння реакцій.
4. Як взаємодіють алкени за реакцією Вагнера?
5. Чому при виявленні алкенів реакцію з бромом слід доповнювати реакцією з калій перманганатом?
6. Про наявність якої з двох речовин – алілового спирту чи фенолу – свідчить знебарвлення розчину броду та почервоніння вологого лакмусового паперу, розміщеного над отвором пробірки?
7. Синтез реактиву Толленса та його дія на ненасичені вуглеводні (алкіни). Наведіть відповідні рівняння реакцій.
8. Як виявляють кінцевий потрійний зв'язок в алкінах? Наведіть відповідні рівняння реакцій.
9. Як взаємодіють ацени з трихлорметаном? Як змінюється колір реакційної маси при проведенні якісної реакції на конденсовані ароматичні сполуки?
10. Виявлення бензолу формаліновою реакцією. Наведіть рівняння реакції. Що при цьому спостерігають?

## 4.2 Оксигеновмісні сполуки

### 4.2.1 Встановлення гідроксильної групи (спирти, феноли)

#### Дослід 4.8. Реакція з металевим натрієм

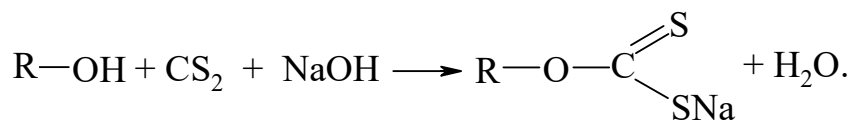
Одноатомні спирти, які містять 3 – 8 атомів Карбону, легко виявляють реакцією з металевим натрієм:



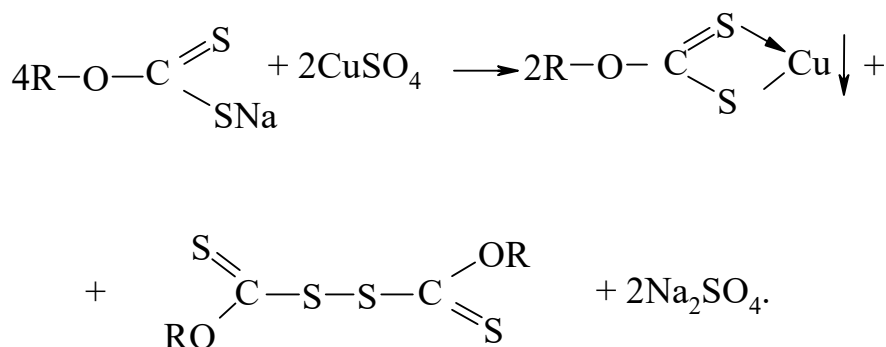
До 2 – 3 крапель безводної проби одноатомного спирту обережно додають шматочок (0,05 г) натрію. Виділення водню, яке супроводжується розчиненням металевого натрію, вказує на наявність активного атома Гідрогену в складі гідроксильної групи спиртів.

#### Дослід 4.9. Реакція з сірковуглецем на первинні та вторинні гідроксильні групи (ксантогенова реакція)

Первинні та вторинні спирти в присутності лугів реагують з сірковуглецем, утворюючи розчинні у воді солі алкілксантогенатів [37, 38]:



Солі алкілксантогенатів у реакції з водними розчинами солей купруму(II) утворюють коричневі осадки купруму(I) ксантогенатів:

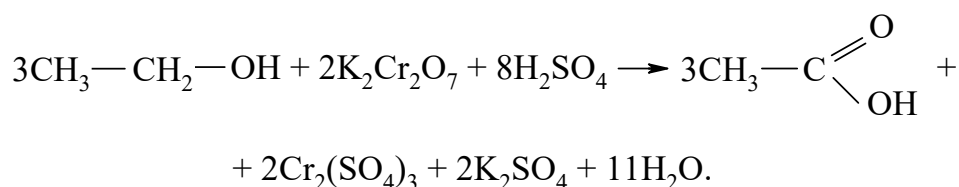


Для визначення третинних спиртів ця реакція непридатна.

Пробу досліджуваної речовини (спирту) розчиняють в 1 мл етеру. Додають 1 краплю  $\text{CS}_2$  та кілька крупинок натрій гідроксиду. Суміш перемішують і трохи підігрівають на водяній бані. Додають краплю 2 %-го розчину купрум(II) сульфату. При наявності у пробі гідроксильної групи утворюється коричневий осад купрум(I) ксантогенату.

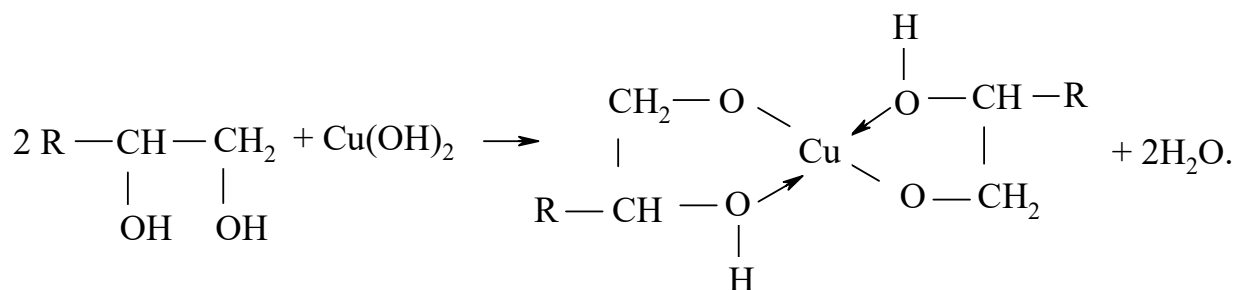
#### Дослід 4.10. Окиснення спиртових гідроксильних груп хромовою сумішшю

В суху пробірку додають 2 краплі етилового спирту, 1 краплю 1М розчину сульфатної кислоти і 2 краплі 0,1М розчину калій дихромату. Нагрівають оранжевий розчин до зміни забарвлення на синьо-зелене:



#### Дослід 4.11. Реакція на багатоатомні спирти

Більшість багатоатомних спиртів утворюють хелати – купрум(II) гліколяти, які добре розчинні у воді і мають яскраво-синє забарвлення:



У пробірку вносять кілька крапель 3%-го розчину  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  та 3 – 5 крапель 5%-го розчину  $\text{NaOH}$  – утворюється блакитний осад купрум(II) гідроксиду. Додають 3 краплі досліджуваної проби (гліцерин, етиленгліколь), осад швидко розчиняється і розчин набуває інтенсивного синього кольору.

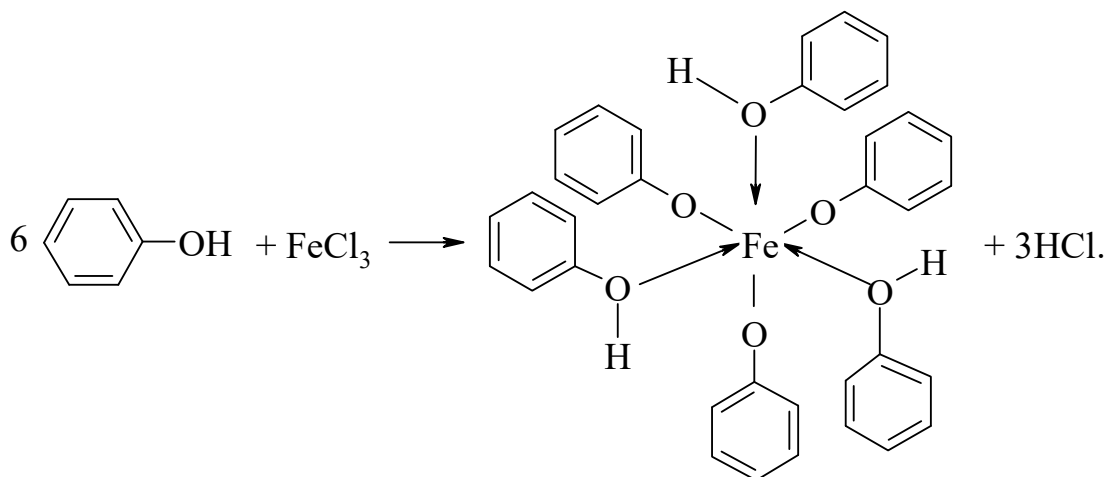


З розчином солі купруму(II)  $\alpha$ -амінокислоти та  $\alpha$ -аміноспирти теж утворюють розчинні сполуки синього кольору.

#### Дослід 4.12. Реакція на феноли

Більшість фенолів дає інтенсивне забарвлення з розчином ферум(III) хлориду за рахунок утворення комплексних сполук (complex compounds) феруму(III).

Забарвлення, як правило, синє або фіолетове. У складних фенолів, що мають замісники у ядрі, воно буває зеленим або червоним.

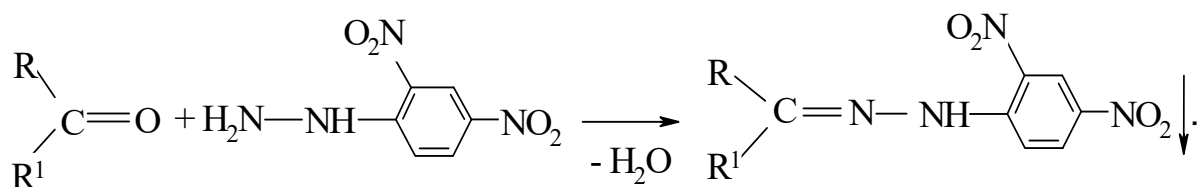


У пробірці розчиняють кілька кристалів або одну краплю проби фенолу в 1 мл води або хлороформу. При струшуванні додають 1 краплю 1 %-го водного розчину ферум(III) хлориду. При наявності фенольного гідроксиду миттєво з'являється інтенсивне забарвлення.

#### 4.2.2 Встановлення карбонільної групи (альдегіди, кетони)

##### Дослід 4.13. Реакція з 2,4-динітрофенілгідразином

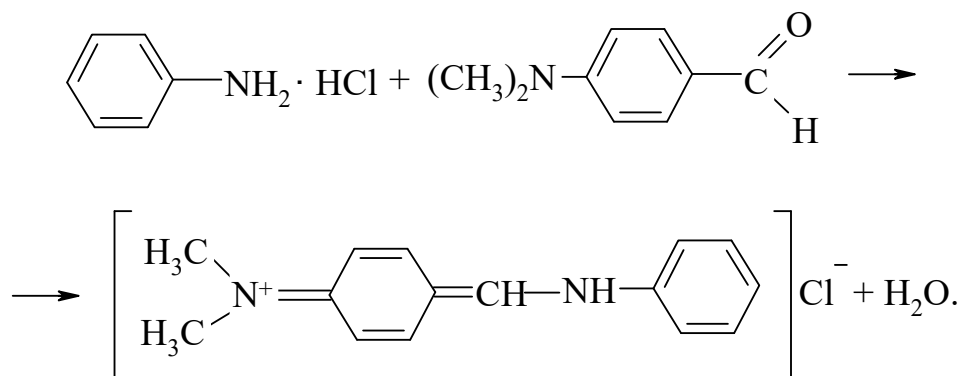
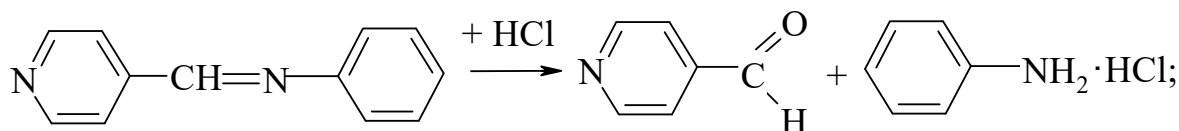
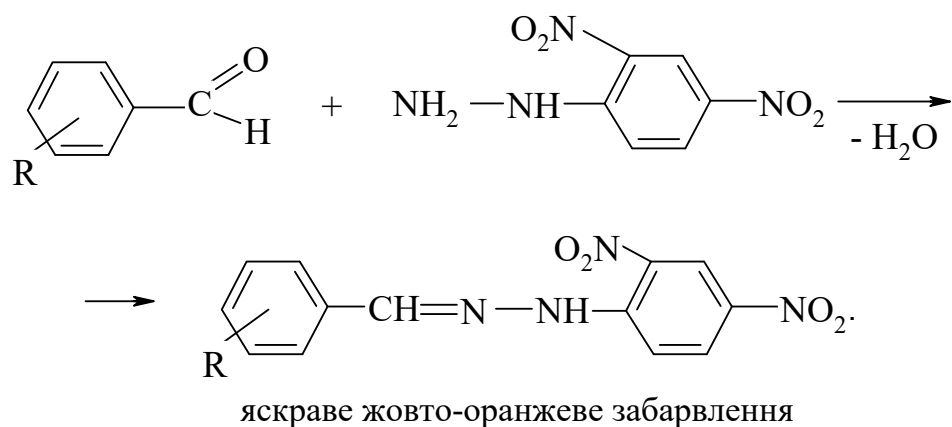
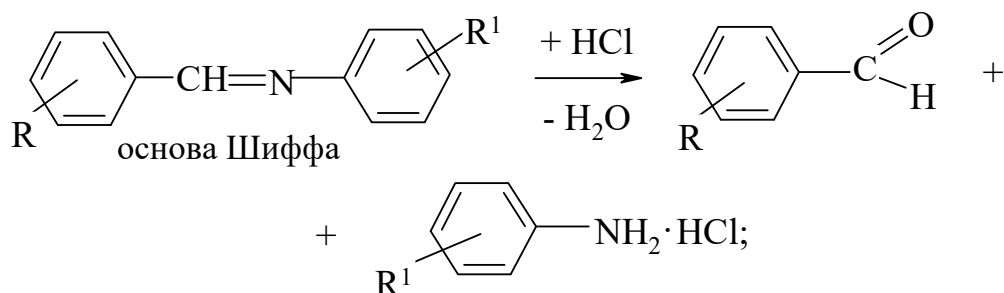
Загальною реакцією на альдегіди і кетони є утворення похідних 2,4-динітрофенілгідразину (ДНФГ):



Похідні ДНФГ, які утворюються в цій реакції, погано розчинні у воді і випадають у вигляді яскраво-жовтих осадів.

У пробірку з 2 мл 2%-го розчину 2,4-динітрофенілгідразину в оцтовій кислоті додають розчин 0,02 г проби (карбонільної сполуки) в 2 мл етанолу. Суміш нагрівають на водяній бані, потім охолоджують. Похідні 2,4-динітрофенілгідразину утворюють яскраво-жовтий осад.

Ще однією реакцією на альдегіди можна вважати реакцію аренальарилімінів (основ Шиффа) на фільтрувальному папері з ДНФГ або 4-диметиламінобензальдегідом за схемами [39]:



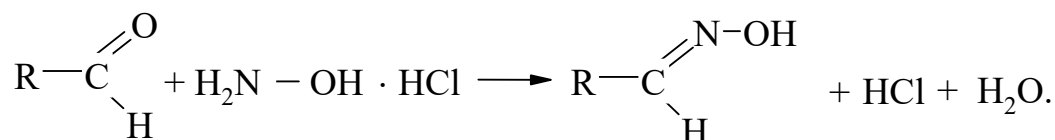
яскраве оранжеве забарвлення

У пробірку вносять 0,02 г основи Шиффа, потім додають 5 мл етанолу, перемішують зі слабким нагріванням до повного розчинення твердої речовини. На смужку фільтрувального паперу наносять краплю отриманого спиртового розчину і витримують над відкритою склянкою з концентрованою хлоридною кислотою впродовж 5 – 7 с. Далі на фільтрувальний папір наносять

розчин 2,4-динітрофенілгідразину, або 4-диметиламіно-бензальдегіду та спостерігають утворення яскравої жовто-оранжевої плями.

#### Дослід 4.14. Реакція з гідрогенхлоридом гідроксиламіну

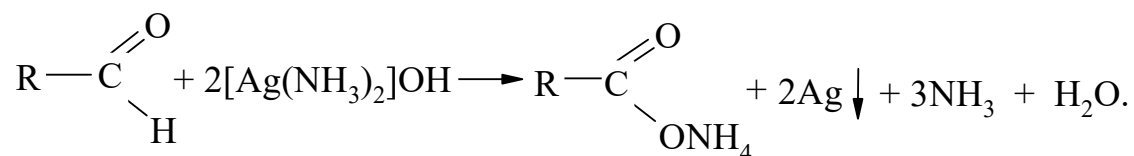
Оскільки гідрогенхлорид гідроксиламіну дає нейтральну реакцію, а оксим є досить слабкою основою, перебіг реакції контролюють за збільшенням кислотності середовища внаслідок виділення хлороводню.



До 2 мл 3%-го розчину гідрогенхлориду гідроксиламіну додають 0,1 г проби досліджуваного альдегіду в 0,5 мл етанолу. Суміш нагрівають на водяній бані і додають 1 краплю метилоранжу. При наявності карбонільної групи (carbonyl group) утворюється оксим, виділяється хлороводень і спостерігається зміна забарвлення індикатора (indicators) на червоне.

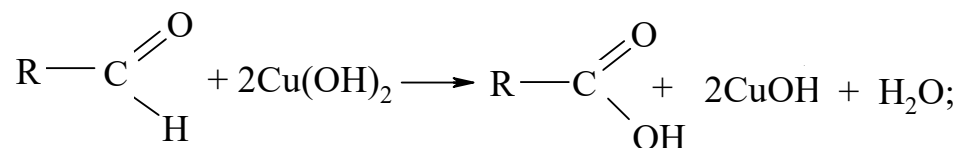
#### Дослід 4.15. Реакція “срібного дзеркала” (реакція Толленса)

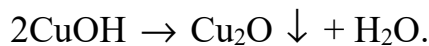
У чисту пробірку вносять 2 краплі 0,1М розчину аргентум(I) нітрату і додають 1 краплю розчину амоніаку. Бурий осад аргентум(I) гідроксиду розчиняють при додаванні 2 – 3 крапель розчину амоніаку. До отриманого розчину додають кілька краплин 5%-го розчину формальдегіду та занурюють пробірку на декілька хвилин у водяну баню з температурою води 60 – 70 °С. Спостерігають виділення металевого срібла у вигляді блискучої дзеркальної плівки. Ця реакція є якісною на альдегідну групу.



#### Дослід 4.16. Окиснення альдегідів купрум(II) гідроксидом

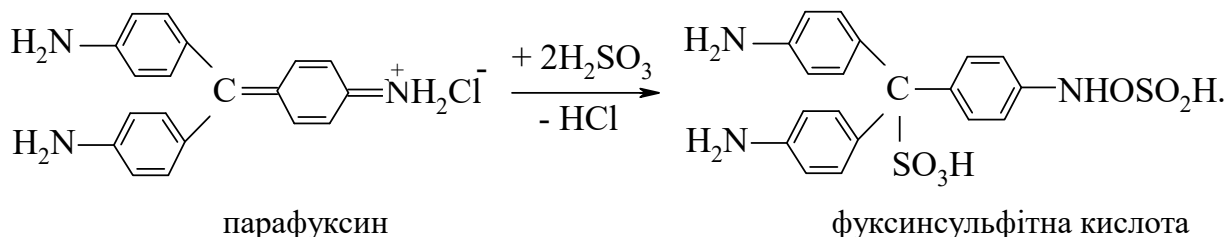
У пробірку вносять 4 краплі натрій гідроксиду, розбавляють 4 краплями води і додають 2 краплі розчину купрум(II) сульфату. До осаду купрум(II) гідроксиду додають 2 краплі розчину формальдегіду і струшують вміст пробірки. Нагрівають до кипіння верхню частину пробірки, залишаючи нижню холодною для контролю. У нагрітій частині пробірки виділяється жовтий осад купрум(I) гідроксиду, який перетворюється у червоно-коричневий осад купрум(I) оксиду за схемою:





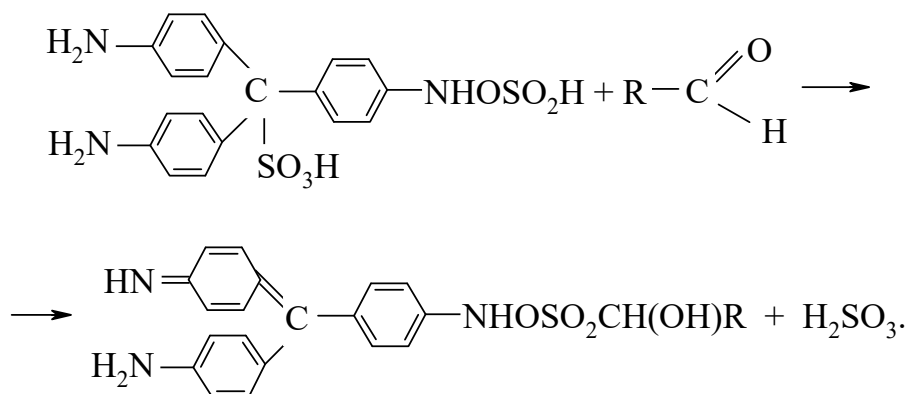
#### Дослід 4.17. Реакція з фуксинсульфитною кислотою

Якісною реакцією на альдегіди є реакція з фуксинсульфитною кислотою. Її добувають дією сульфитної кислоти на розчин фуксину:



Для отримання  $\text{H}_2\text{SO}_3$  в пробірку з газовідвідною трубкою, кінець якої занурюють в ємність з дистильованою водою, вносять 0,5 – 1 г кристалічного натрій сульфіту і додають 3 – 4 краплини концентрованої сульфатної кислоти.

Фуксин – яскраво-червоний трифенілметановий барвник – знебарвлюється сульфитною кислотою внаслідок руйнування хіноїдної структури. Після додавання альдегіду до безбарвного розчину фуксинсульфитної кислоти з'являється фіолетове або синє забарвлення:



В пробірку вносять 2 – 4 краплини фуксинсульфитної кислоти, яку попередньо отримують пропусканням  $\text{SO}_2$  через 0,1 %-й розчину фуксину до знебарвлення. Потім додають 2 – 4 краплини розчину формальдегіду. Поступово з'являється фіолетове забарвлення.

#### 4.2.3 Встановлення карбоксильної групи (карбонові кислоти)

**Дослід 4. 18. Виявлення карбонових кислот. Порівняння ступенів дисоціації карбонових кислот**

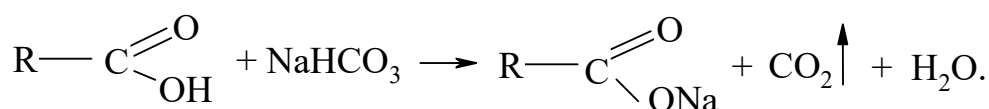
У окремі пробірки вносять по кілька крапель (або кристалів) оцтової, трихлороцтової, щавлевої, бурштинової, бензойної та саліцилової кислот і додають в кожну по 2 мл води. Якщо кислота не розчиняється, пробірку нагрівають. Чистою скляною паличкою розчин кожної кислоти наносять на сухий індикаторний папір (конго-червоний). Спостерігають появу забарвлених смуг різної інтенсивності.

Інтервал переходу конго-червоного рН = 3,0 – 5,0 (синій – червоний). При дії слабких кислот з'являється коричнево-чорне забарвлення, більш сильних – синьо-чорне, сильних – стійке сине забарвлення. Досліджені кислоти розташовують у ряд зростання сили кислот.

#### Дослід 4. 19. Реакція карбонових кислот з натрій гідрогенкарбонатом

Для виявлення карбонових кислот часто застосовують їх взаємодію з натрій гідрогенкарбонатом.

У кілька пробірок вміщують по 5 крапель розчинів кислот (оцтової, трихлорооцтової, щавлевої, бурштинової, бензойної, саліцилової тощо) і додають по 2 краплі 5%-го розчину натрій гідрогенкарбонату. Спостерігають бурхливе виділення бульбашок газу – карбон(IV) оксиду:



#### Лабораторна робота № 6

##### Якісний функціональний аналіз оксигеновмісних сполук

**Завдання 1.** Виконати дослід 8 – 17. Виявити функціональні групи (–ОН, –СОН, –СООН) в органічних сполуках. Результати дослідів занести до табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Якісні реакції на оксигеновмісні сполуки

Функціональна група	Реагент	Якісна реакція	Спостереження
–ОН (спирт одноатомний)			
–ОН (спирт багатоатомний)			
–ОН (фенол)			
–С(=О)Н (альдегід)			
–СООН (карбонова кислота)			

**Завдання 2.** Використовуючи вміння та навички, отримані при виконанні попереднього завдання, запропонувати якісні реакції для виявлення сполук а, б, в, г, д відповідно до свого варіанта (табл. 4.4). Навести схеми відповідних реакцій.

Таблиця 4.4 – Досліджувані сполуки

Вариант	Речовини				
	а	б	в	г	д
1	п-крезол	гліцерин	Етанол	ацетон	щавлева кислота
2	$\beta$ -нафтол	пропантріол	бутанол-1	пропанон	оцтова кислота
3	бензиловий спирт	гідрохінон	Формальдегід	олеїнова кислота	етиленгліколь
4	$\alpha$ -нафтол	гліцерин	аліловий спирт	пропаналь	оцтова кислота
5	етандіол	фенол	метил-етилкетон	бензойна кислота	карбінол
6	гідрохінон	метанол	Пропаналь	олеїнова кислота	о-крезол
7	акролеїн	пропантріол	Метанол	масляна кислота	бензиловий спирт
8	фенол	гліцерин	ізоаміловий спирт	бутанон-2	фталева кислота
9	пропанол-2	етиленгліколь	п-крезол	формальдегід	мурашина кислота
10	резорцин	ацетон	хлорооцтова кислота	ацеталь	аліловий спирт
11	втор-бутиловий спирт	масляна кислота	метил-етилкетон	формальдегід	м-крезол
12	трихлорооцтова кислота	ізобутиловий спирт	Пропаналь	фенол	гліцерин
13	етандіол	ізовалеріанова кислота	Формальдегід	о-крезол	метанол
14	$\beta$ -нафтол	аміловий спирт	бензойний альдегід	терефталева кислота	етиленгліколь
15	ізопропіловий спирт	бутанон-2	бромooцтова кислота	пропантріол	м-крезол

### Контрольні запитання

1. Якими реакціями можна відрізнити первинні та вторинні спирти від третинних?
2. Якою реакцією можна довести, що досліджувана речовина є: а) одноатомним спиртом; б) багатоатомним спиртом? Наведіть відповідні рівняння реакцій.
3. Наведіть рівняння реакції та назвіть продукт окиснення н-пропанолу хромовою сумішшю (*chrome mixture*).
4. Який реагент використовують для виявлення фенолів? Які зовнішні ефекти при цьому спостерігають?

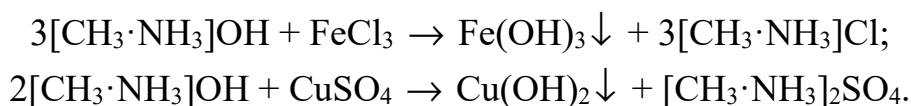
5. При взаємодії з яким реагентом альдегіди та кетони утворюють яскраво-жовті осаді? Наведіть рівняння реакції.
6. З якою метою додають метилоранж при виявленні альдегідів реакцією з гідрогенхлоридом гідроксиламіну?
7. Які окисно-відновні реакції використовують для виявлення альдегідної групи в органічних сполуках? Наведіть відповідні рівняння реакцій.
8. Наведіть рівняння реакцій взаємодії купрум(II) гідроксиду з етиленгліколем та етаналем. Чи однакові зовнішні ефекти при цьому спостерігаються?
9. Що спостерігають при виявленні карбонових кислот взаємодією з натрій гідрогенкарбонатом? Наведіть рівняння реакції.
10. Поясніть, чи можна за допомогою фенолфталеїну (індикатор змінює своє забарвлення в інтервалі рН 8,2 – 9,8 з безбарвного на малиновий) довести наявність у розчині оцтової кислоти.

### 4.3 Нітрогеновмісні сполуки

#### 4.3.1 Встановлення аміногрупи (аліфатичні та ароматичні аміни)

**Дослід 4.20. Реакція з водними розчинами ферум(III) хлориду та купрум(II) сульфату**

В одну пробірку вносять 2 мл розчину ферум(III) хлориду, в іншу – 2 мл розчину купрум(II) сульфату. Через кожний з розчинів пропускають газоподібний метиламін. У першій пробірці утворюється осад ферум(III) гідроксиду, у другій – купрум(II) гідроксиду:

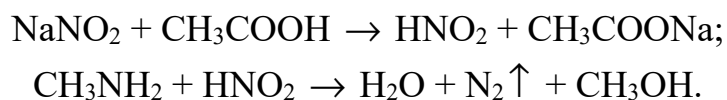


Утворення гідроксидів феруму(III) та купрум(II) вказує на те, що аміни у водному розчині утворюють гідрати, які дисоціюють як основи.

#### Дослід 4.21. Реакція аліфатичних амінів з нітритною кислотою

Первинні аміни можна відрізнити від вторинних, третинних та ароматичних за їх реакцією з нітритною кислотою – відбувається виділення азоту та утворення відповідного спирту.

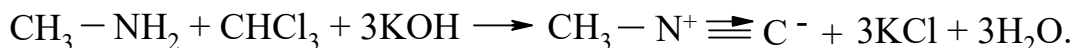
У пробірці змішують 0,2 г солі аміну з 1 мл води та 10%-го розчину натрій нітриту. До суміші додають 2 – 3 краплі концентрованої оцтової кислоти та спостерігають інтенсивне виділення бульбашок азоту:



#### Дослід 4.22. Ізонітрильна реакція на аліфатичні аміни

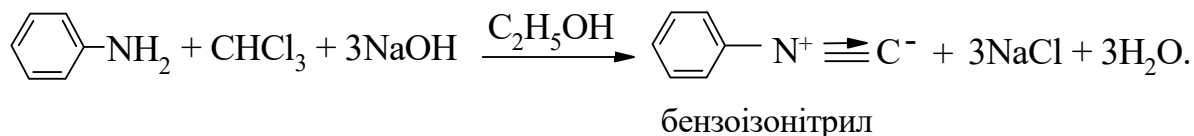
Первинні аміни вступають у реакцію з хлороформом у лужному середовищі з утворенням ізонітрилів, які мають різкий неприємний запах.

У пробірку (**витяжна шафа!**) вносять кілька крупинок гідрохлориду метиламіну, додають 2 – 3 краплі хлороформу та 1 мл 15%-го розчину калій гідроксиду. При обережному нагріванні починається енергійна реакція з утворенням ізонітрилу, який визначають за характерним запахом:

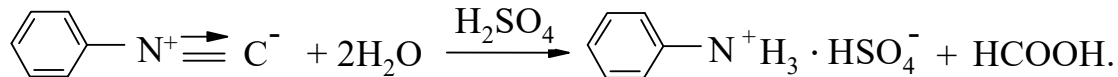


#### Дослід 4.23. Ізонітрильна реакція на ароматичні аміни

У пробірку вносять 5 крапель аніліну, 10 – 15 крапель 10%-го розчину натрій гідроксиду, 10 крапель хлороформу і 50 крапель етанолу. При повільному нагріванні суміші до кипіння з'являється характерний неприємний запах ізонітрилу. Реакція проходить за схемою:



Перед тим, як вилити розчин бензоізонітрилу в склянку для зливу, його краще гідролізувати за схемою:



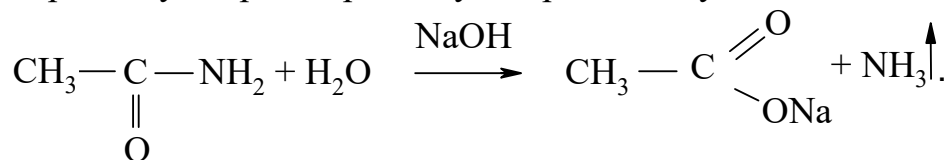
Для цього в пробірку додають 5 мл 10%-го розчину сульфатної кислоти і кип'ятять суміш до зникнення характерного запаху ізонітрилу.

Таким чином, ізонітрильна реакція використовується для ідентифікації первинних амінів аліфатичного та ароматичного рядів.

#### 4.3.2 Встановлення карбамідної групи (аміди, сечовини)

##### Дослід 4.24. Гідроліз ацетаміду

Декілька кристаликів ацетаміду вносять в пробірку, до якої додають 10 крапель 1М розчину натрій гідроксиду. Гідроліз відбувається за схемою:

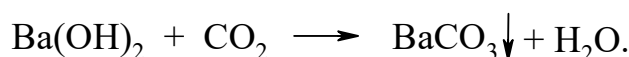
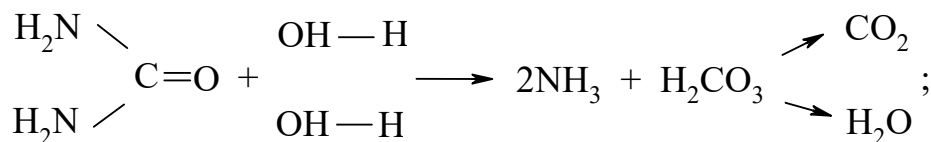


Різкий амоніачний запах та синє забарвлення вологого лакмусового паперу вказують на гідроліз ацетаміду за наведеною схемою.



#### Дослід 4.25. Гідроліз сечовини

Один мікрошпатель сечовини вносять в пробірку, до якої додають 5 – 6 крапель баритової води. Не щільно закривають пробірку гумовою пробкою, між пробіркою та пробкою розміщують лакмусовий папір. Пробірку вносять в нагріту водяну баню. Гідроліз сечовини відбувається за схемою:



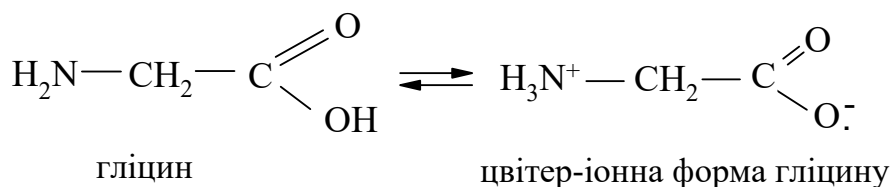
Зміна через 10 – 15 хвилин забарвлення вологого лакмусового паперу вказує на виділення амоніаку, а утворення білого мутного розчину – на утворення барій карбонату.

Таким чином, реакція лужного гідролізу використовується для ідентифікації нітрогеновмісних органічних сполук, що мають у своєму складі карбамідну групу.

#### 4.3.3 Якісні реакції на амінокислоти ( $\alpha$ -амінокислоти)

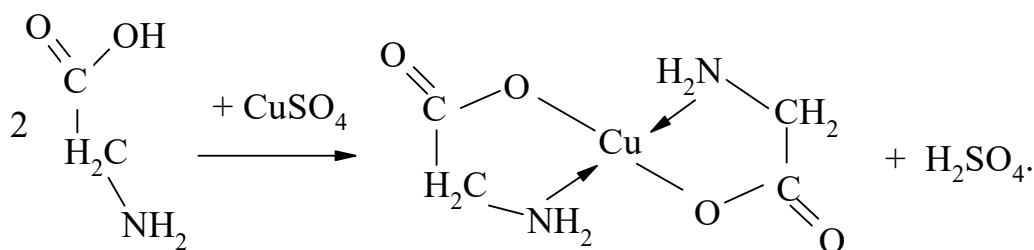
**Дослід 4.26. Визначення реакції середовища у водному розчині гліцину**

За допомогою смужки універсального індикаторного паперу визначають рН 1%-го розчину гліцину. Відсутність кислої реакції розчину гліцину пояснюється утворенням внутрішньомолекулярної солі (цвітер-іона):



#### Дослід 27. Реакція гліцину з купрум(II) сульфатом

У пробірку вносять по 0,5 мл 2%-го розчину купрум(II) сульфату та 1 %-го розчину гліцину. Утворюється стійка внутрішньомолекулярна комплексна сполука синього кольору:

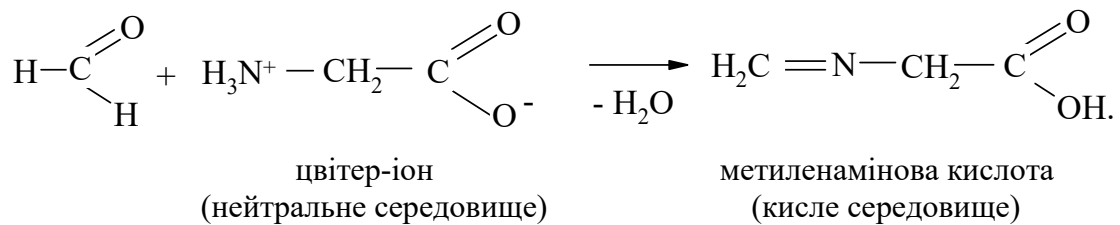


Сульфатна кислота, яка виділяється в процесі, не руйнує комплекс. При подальшому додаванні 5 – 10 крапель 10%-го розчину натрій гідроксиду до комплексу змін не відбувається, оскільки сіль гліцину стійка як в кислому, так і в лужному середовищах.

#### Дослід 4.28. Взаємодія $\alpha$ -амінокислот з формальдегідом

У пробірку вносять 3 краплі 40%-го водного розчину формальдегіду та 1 краплю індикатора метилового червоного. Спостерігають появу червоного забарвлення розчину, яке свідчить про наявність кислого середовища.

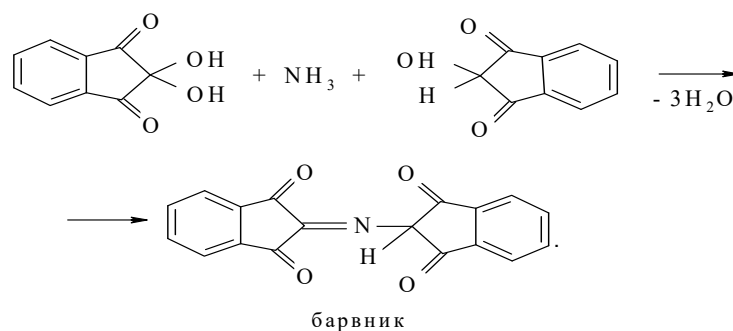
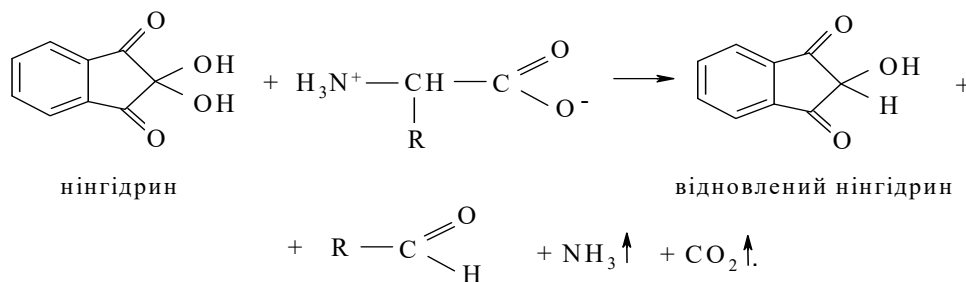
Піпеткою в пробірку краплями додають 10%-й водний розчин натрій гідроксиду до нейтральної реакції. Спостерігають появу жовтого забарвлення розчину. Добутий нейтралізований розчин формальдегіду змішують з 3 краплями 1%-го водного розчину гліцину і спостерігають появу червоного забарвлення (кисле середовище):



Якісна реакція ґрунтується на блокуванні формальдегідом аміногрупи кислоти.

#### Дослід 4.29. Взаємодія $\alpha$ -амінокислот з нінгідрином

У пробірку вносять 2 краплі 0,1%-го розчину нінгідрину та 4 краплі 1%-го розчину  $\alpha$ -амінокислоти. Суміш нагрівають до кипіння і спостерігають появу синьо-фіолетового забарвлення розчину:



Нінгідринна реакція застосовується для якісного визначення  $\alpha$ -амінокислот.

## Лабораторна робота № 7

### Якісний функціональний аналіз нітрогеновмісних сполук

**Завдання 1.** Виконати досліди 20 – 29. Виявити функціональні групи  $-\text{NH}_2$ ;  $-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$ ;  $-\text{C}(\text{NH}_2)\text{COOH}$  в досліджуваних органічних сполуках, результати дослідів занести до табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Якісні реакції на нітрогеновмісні сполуки

Функціональна група	Реагент	Якісна реакція	Спостереження
$-\text{NH}_2$ (аміни аліфатичні)			
$-\text{NH}_2$ (аміни ароматичні)			
$-\text{C}(=\text{O})\text{NH}_2$ (карбамідні сполуки, сечовина (urea))			
$-\text{C}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ ( $\alpha$ -амінокислоти)			

**Завдання 2.** Використовуючи вміння та навички, отримані при виконанні попереднього завдання, запропонувати якісні реакції для виявлення сполук а, б, в, г відповідно до свого варіанта (табл. 4.6). Навести схеми відповідних реакцій.

Таблиця 4.6 – Досліджувані сполуки

Варіант	Речовини			
	А	б	В	Г
1	п-толуїдин	гліцин	Анілін	Етиламін
2	$\alpha$ -аланін	бутиламін	Сечовина	Анілін
3	Ізобутиламін	фенурон*	Лейцин	о-толуїдин
4	монурон**	анілін	$\alpha$ -амінопропіонова кислота	1-бутанамін
5	N-феніл-N',N'-диметилсечовина	2-метил-1-пропанамін	2-аміно-3-фенілпропанова кислота	N,N-диметиланілін
6	Карбамід	фенілаланін	1-(N-метил-аміно)пропан	о-толуїдин
7	N-4-хлорфеніл-N',N'-диметилсечовина	м-толуїдин	Гістидин	1-бутанамін
8	Дифеніламін	сечовина	2-аміно-3-фенілпропанова кислота	Етиламін

Продовження таблиці 4.6

Варіант	Речовини			
	<i>A</i>	<i>б</i>	<i>B</i>	<i>г</i>
9	о-анізидин	ізобутиламін	Лейцин	фенурон*
10	N-3,4-дихлорфеніл-N',N'-диметилсечовина	2-аміно-3-(3-імідазоліл)-пропанова кислота	2-метил-1-пропанамін	п-толуїдин
11	діурон***	N,N-диметиланілін	Фенілаланін	Ізопентиламін
12	Сечовина	гістидин	дифеніламін	Пропан амін
13	N-метиланілін	метилфенілсечовина	Гліцин	м-толуїдин
14	N-3,4-дихлорфеніл-N'-метил-N'-метоксисечовина	2-амінопропанова кислота	N-метил-бензоламін	2-(N-етил-аміно)пропан
15	дикурон****	N-фенілбензоламін	Лейцин	1-(N-метил-аміно)бутан

\* фенурон: N,N-диметил-N'-фенілсечовина;

\*\* монурон: N,N-диметил-N'-(4-хлорфеніл)сечовина;

\*\*\* діурон: N,N-диметил-N'-(3,4-дихлорфеніл)сечовина;

\*\*\*\* дикурон: N,N-диметил-N'-(2-хлортоліл-4)сечовина [24].

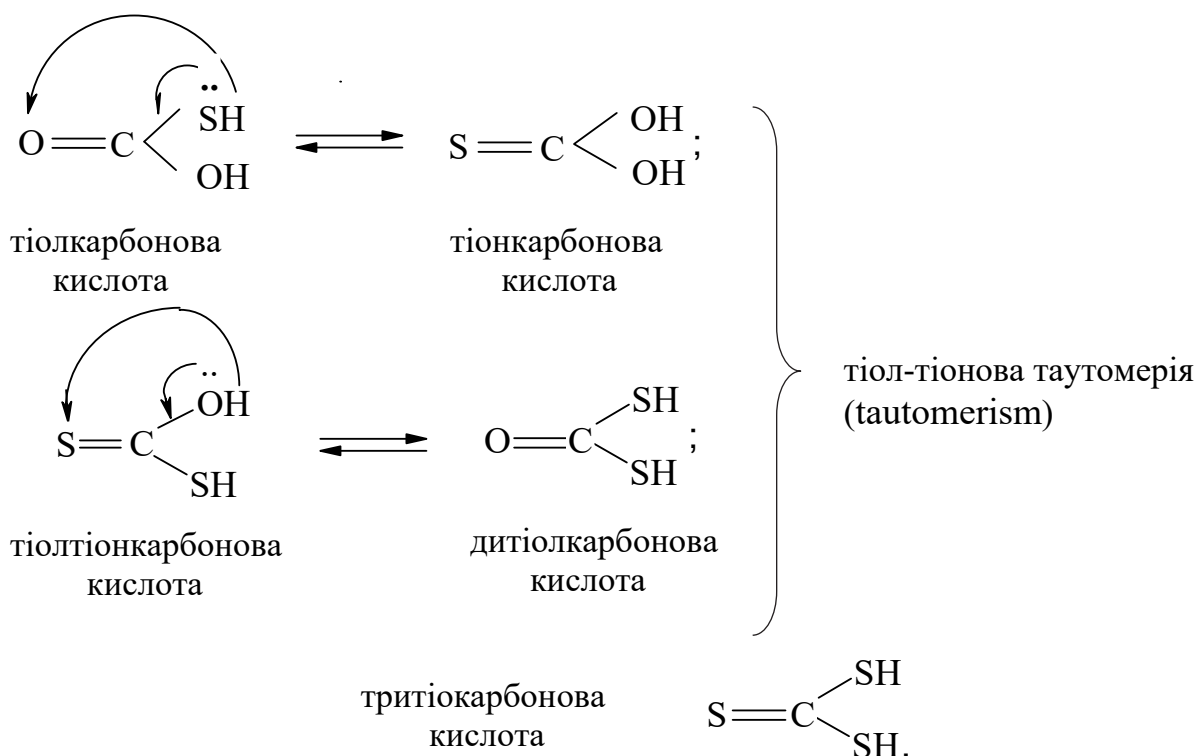
### Контрольні запитання

1. Якою є реакція середовища (рН) у водних розчинах амінів? Якими реакціями це можна довести? Наведіть відповідні рівняння реакцій.
2. Якими реакціями можна відрізнити первинні аміни від вторинних та третинних? Наведіть відповідні рівняння реакцій.
3. Чи можна використовувати ізонітрильну реакцію для того, щоб розрізнити первинні аліфатичні та ароматичні аміни?
4. Якою реакцією можна розрізнити первинні аліфатичні та ароматичні аміни?
5. На наявність якої функціональної групи у складі нітрогеновмісних органічних речовин вказує поява характерного запаху амоніаку та посиніння вологого лакмусового паперу після додавання розчину натрій гідроксиду? Наведіть рівняння реакції.
6. Які газоподібні продукти реакції утворюються при лужному гідролізі сечовини? За якими зовнішніми ознаками роблять висновок про їх виділення? Наведіть відповідні рівняння реакцій.
7. Які продукти утворюються при взаємодії  $\alpha$ -амінокислот з розчином купрум(II) сульфату?
8. Яке забарвлення буде мати метиловий червоний (індикатор змінює своє забарвлення в інтервалі рН 4,4 – 6,2 з червоного на жовтий) у розчині амінокислоти? Чи зміниться забарвлення індикатора після додавання формальдегіду? Відповідь поясніть.

9. Чи можна за допомогою відповідних кислотно-основних індикаторів (або універсального індикаторного паперу) визначити, яка з двох кислот – оцтова чи  $\alpha$ -амінооцтова кислота – міститься у розчині?
10. Які кольорові якісні реакції застосовують для виявлення  $\alpha$ -аміно-кислот?

#### 4.4 Сульфуровмісні сполуки

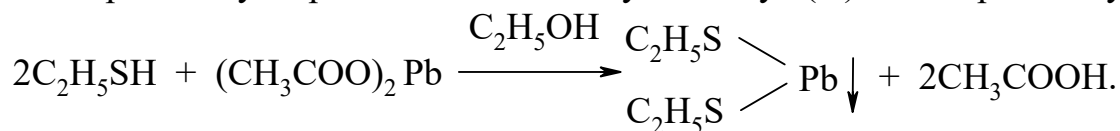
Деякі сульфуровмісні органічні сполуки можна розглядати як похідні від тіокарбонівих кислот. Із усіх можливих тіокарбонівих кислот у вільному стані лише тритіокарбонівих кислота є стійкою. Однак відомі і інші похідні тіокарбонівих кислот, які наведені нижче [6]:



Найбільш поширеними сульфуровмісними сполуками, як похідними від розглянутих тіокарбонівих кислот, є тіоли (меркаптани (mercaptans)), сульфідиди, дисульфідиди, тіосечовини, тіоамідиди, ксантогенати, дитіокарбамати та тіурами. Деякі найбільш характерні реакції сульфуровмісних органічних сполук наведені нижче.

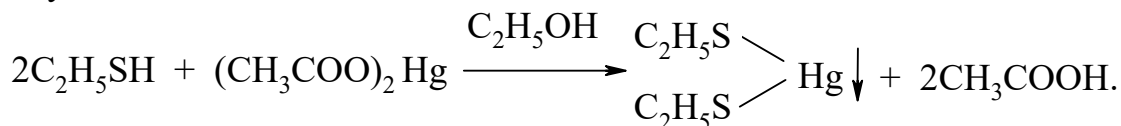
#### Дослід 4.30. Взаємодія пльомбум(II) ацетату з меркаптанами (тіоспирти)

У пробірку вносять 3 – 5 крапель спиртового розчину етилмеркаптану, додають 3 – 5 крапель насиченого спиртового розчину пльомбум(II) ацетату і спостерігають утворення жовтого осаду пльомбум(II) етилмеркаптіду:



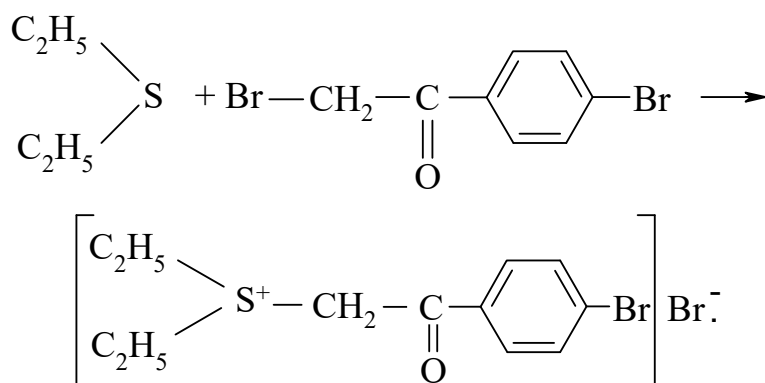
#### Дослід 4.31. Взаємодія меркурій(II) ацетату з меркаптанами (тіоспирти)

У пробірку поміщають 3 – 5 крапель спиртового розчину етилмеркаптану, додають 3 – 5 крапель насиченого спиртового розчину меркурій(II) ацетату і спостерігають утворення безбарвного осаду меркурій(II) етилмеркаптиду:



#### Дослід 4.32. Взаємодія 4-бромофенацилброміду з сульфідами (тіоетери)

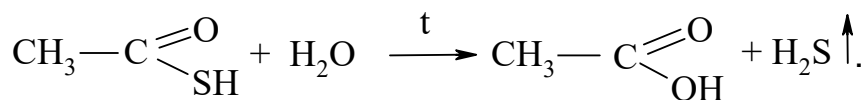
У пробірку вносять 3 – 5 крапель спиртового розчину діетилсульфіду, додають 5 крапель спиртового розчину 4-бромофенацилброміду і спостерігають утворення специфічної солі броміду діетил-4-бромофенацилбромідсульфонію:



бромід діетил-4-бромофенацилбромідсульфонію

#### Дослід 4.33. Гідроліз тіолоцтової кислоти (тіокарбоніві кислоти)

Тіокарбоніві кислоти при кип'ятінні з водою утворюють відповідні карбоніві кислоти та сірководень:



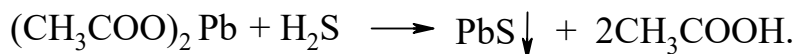
тіолоцтова кислота

оцтова кислота

Наявність різкого неприємного запаху сірководню та забарвлення лакмусового паперу у червоний колір вказують на присутність та гідроліз тіокарбоніві кислоти.

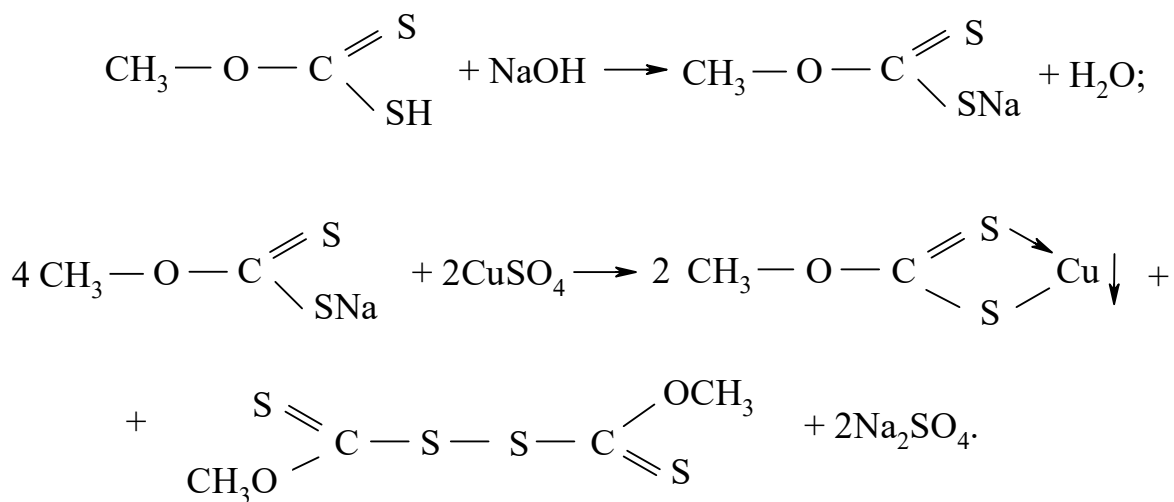
В суху пробірку вносять 1 – 2 краплі тіолоцтової (етантіолової) кислоти, додають 15 – 20 крапель води і нагрівають реакційну масу до кипіння. Далі за допомогою синього лакмусового паперу та смужки фільтрувального паперу, змоченого розчином плумбум(II) ацетату, доводять кислу реакцію

отриманого розчину та виділення сірководню. За наявності плюмбум(II) ацетату на смужці фільтрувального паперу утворюється чорний осад плюмбум(II) сульфід:

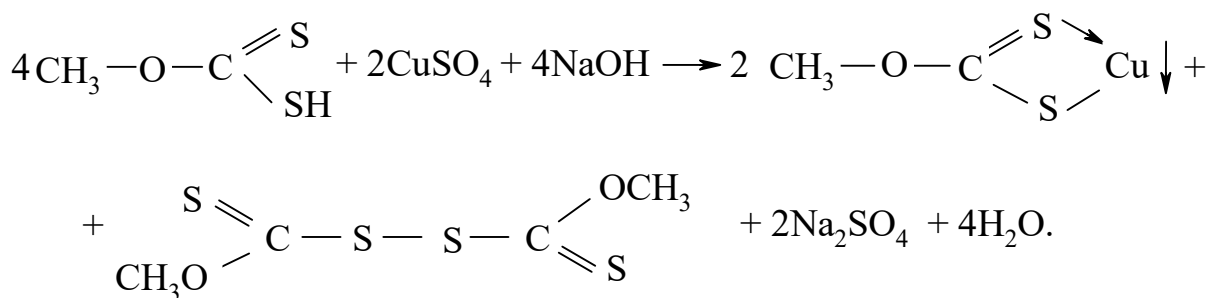


**Дослід 4.34. Взаємодія купрум(II) сульфату з метиловим О-естером дитіокарбоненової кислоти (ксантогенати)**

В суху пробірку вносять 1 – 2 краплі розчину ксантогенату в етиловому спирті, додають 1 краплю 5%-го розчину натрій гідроксиду, 1 – 2 краплі 2%-го розчину купрум(II) сульфату. Утворюється коричневий осад купрум(I) ксантогенату за схемою:

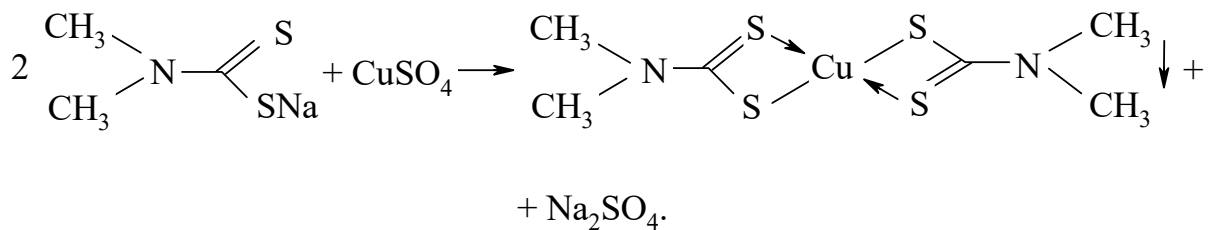


Сумарна реакція:



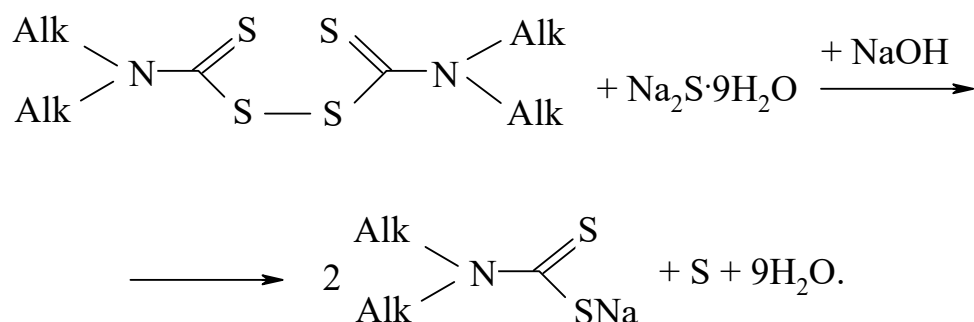
**Дослід 4.35. Взаємодія купрум(II) сульфату з натрій N,N-диметилдитіокарбаматом (солі дитіокарбаїнових кислот)**

В суху пробірку вносять 10 – 15 крапель водного розчину натрієвої солі N,N-диметилдитіокарбаїнової кислоти і додають 5 крапель 2 %-го розчину купрум(II) сульфату. Утворюється коричневий осад метал-хелату купруму(II) за схемою [40]:

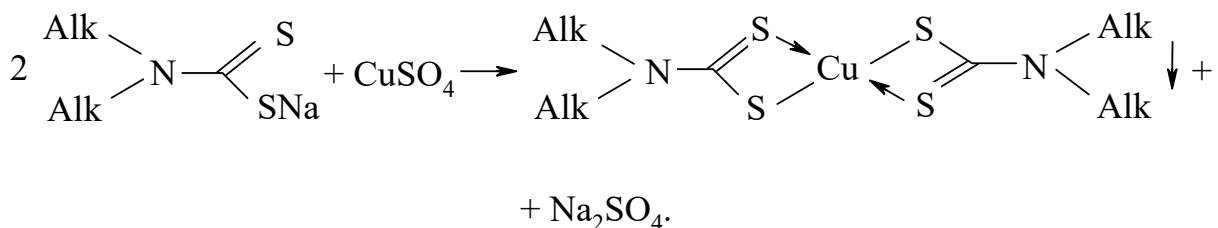


**Дослід 4.36. Взаємодія купрум(II) сульфату у лужно-сульфідному середовищі з тетраметилтіурамдисульфідом (тіурамсульфіди)**

Тіурамсульфіди взаємодіють з натрій сульфідом у лужному середовищі з утворенням натрієвої солі діалкілдитіокарбамінової кислоти за схемою [40]:



При додаванні до водного розчину натрієвої солі діалкілдитіокарбамінової кислоти водного розчину купрум(II) сульфату випадає коричневий осад метал-хелату купруму(II):



В суху пробірку вносять 10 – 15 крапель водного розчину тетраметилтіурамдисульфиду, додають 10 крапель 5%-го розчину натрій гідроксиду, 5 крапель розчину натрій сульфиду. Потім додають 5 крапель 2%-го розчину купрум(II) сульфату. Реакційну масу підігрівають до утворення коричневого осад.

**Лабораторна робота № 8**

**Якісний функціональний аналіз сульфуровмісних сполук**

**Завдання 1.** Виконати досліди 30 – 36. Виявити функціональні групи –SH, –S–, –C(=S)OH, –OC(=S)OH, =NC(S)SH, –C(=S)SS(S=)C– в органічних сполуках, результати досліджень занести до табл. 4.7.



Таблиця 4.7 – Якісні реакції на сульфуровмісні сполуки

Функціональна Група	Реагент	Якісна реакція	Спостереження
– SH (меркаптани, тіоли, тіоспирти)			
– S – (тіоетери)			
$\begin{array}{c} \text{S} \\ // \\ \text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$ (тіон-тіолові карбонові кислоти)			
$\begin{array}{c} \text{S} \\ // \\ \text{O}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{SH} \end{array}$ (ксантогенати)			
$\begin{array}{c} \text{S} \\ // \\ \text{N}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{SM} \end{array}$ (дитіокарбамати)			
$\begin{array}{c} \text{S} \quad \text{S} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{S} - \text{S} \end{array}$ (тіурамсульфіди)			

**Завдання 2.** Використовуючи вміння та навички, отримані при виконанні попереднього завдання, запропонувати якісні реакції для виявлення сполук а, б, в, г відповідно до свого варіанта (табл. 4.8). Навести схеми відповідних реакцій.

Таблиця 4.8 – Досліджувані сполуки

Варіант	Речовини			
	а	б	в	г
1	Етил меркаптан	тіолкарбонова кислота	Na-сіль N,N-диметилдитіокарбамінової кислоти	тетраметилтіурамдисульфід
2	тетраетилтіурамдисульфід	діетилдитіокарбамат діетиламіну	бутилмеркаптан	Метилтіобензол
3	пропілмеркаптан	кобальт(II) діетилдитіокарбамат	тіофенол	тетраметилтіурамдисульфід
4	Пропан тіол	купрум(II) диметилдитіокарбамат	диметилдитіокарбамат діетиламіну	тіонкарбонова кислота
5	Діетилсульфід	тетраетилтіурамдисульфід	ізобутилмеркаптан	Ізопропілтіол
6	нікол(II) диметилдитіокарбамат	1-метилтіопропан	тетраметилтіурамдисульфід	Пропіл меркаптан

Продовження таблиці 4.8.

Варіант	Речовини			
	А	Б	В	Г
7	пестицид ТМТД*	цинк діетилдитіокарбамат	метилпропіл-сульфід	пентан тіол
8	Діетилсульфід	ферум(II) диметилдитіокарбамат	етантиол	пестицид полікарбацін**
9	Пропіл меркаптан	натрій диметилдитіокарбамат	кобальт(II) діетилдитіокарбамат	4,4-дихлордифенілсульфід
10	купрум(II) метилксантогенат	бутантиол	натрій діетилдитіокарбамат	дифеніл сульфід
11	Етилтіоетан	цинк диметилдитіокарбамат	цинк бутилксантогенат	пропіл меркаптан
12	1-метилтіобутан	фенілтіобензол	нікол(II) етилксантогенат	цинк дибутилдитіокарбамат
13	цинк фенілетилдитіокарбамат	купрум(II) метилксантогенат	1-метилтіобутан	бутил меркаптан
14	пропілмеркаптан	метилфенілсульфід	диметилдитіокарбамат диметиламонію	цинк етилксантогенат
15	дифенілсульфід	N,N-дифеніл-N',N'-діетилтіурамдисульфід	етилмеркаптан	діетилдитіокарбамат диметиламонію

\* ТМТД – тетраметилтіурамдисульфід

\*\* полікарбацін – подвійна сіль N,N'-етиленбіс(дитіокарбамата)цинка і N,N'-етиленбіс(тіокарбамоїл)дисульфіда [24]

### Контрольні запитання

1. Солі яких важких металів застосовують для виявлення тіоспиртів? Наведіть відповідні рівняння реакцій.
2. Наведіть рівняння реакції взаємодії метилмеркаптану з меркурій(II) ацетатом.
3. Які спостереження вказують на наявність тіолкарбонових кислот при кип'ятінні їх розчину?
4. Чому чорніє смужка фільтрувального паперу, попередньо оброблена розчином солі плюмбуму(II) і розміщена над отвором пробірки, в яку був внесений розчин тіолкарбонової кислоти і нагрітий до кипіння? Наведіть рівняння реакції.
5. Які сульфурвмісні органічні сполуки можна виявити при дії розчину купрум(II) сульфату?
6. Що відбувається при взаємодії ксантогенатів з розчином купрум(II) сульфату? Наведіть рівняння реакції.
7. Як взаємодіють солі дитіокарбамінових кислот з розчином купрум(II) сульфату? Наведіть рівняння реакції.

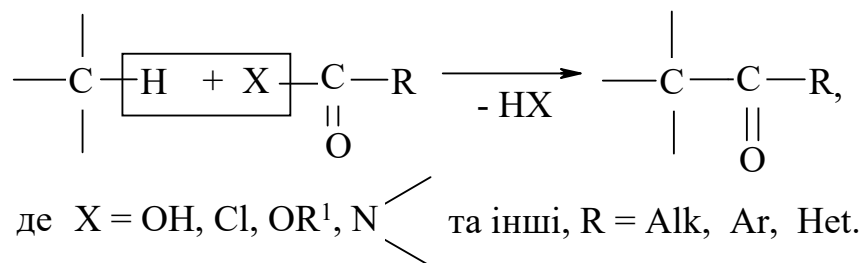
## СИНТЕЗИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Синтез органічних сполук передбачає більш глибоке вивчення курсу органічної хімії, що базується не лише на вивченні головних теоретичних положень, а і на знаннях та навичках практичної роботи в хімічній лабораторії стосовно техніки безпеки, техніки лабораторних робіт, методів вилучення та очищення органічних речовин, а також властивостей органічних речовин і якісних реакцій на їх функціональні групи.

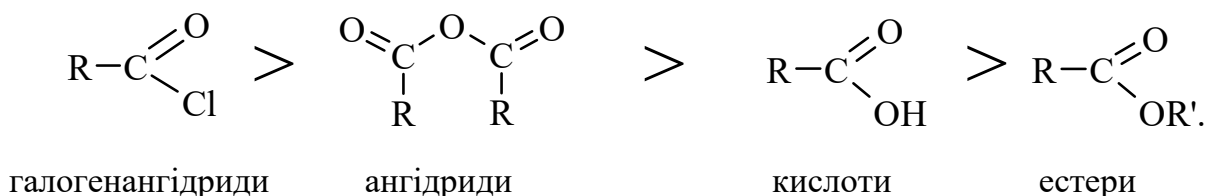
Таким чином, перші чотири розділи даного лабораторного проктикуму є основою для синтезу, виділення та ідентифікації органічних сполук згідно з наведеними прописами. Синтези органічних сполук згруповано за типами реакцій, а наведений у відповідних підрозділах теоретичний матеріал сприяє більш глибокому та цілісному їх вивченню. В кінці кожного пропису синтезу наведена коротка характеристика отриманої сполуки, галузі її використання та токсичні характеристики при впливі на людей, тварин та довкілля.

### 5.1 Ацилювання

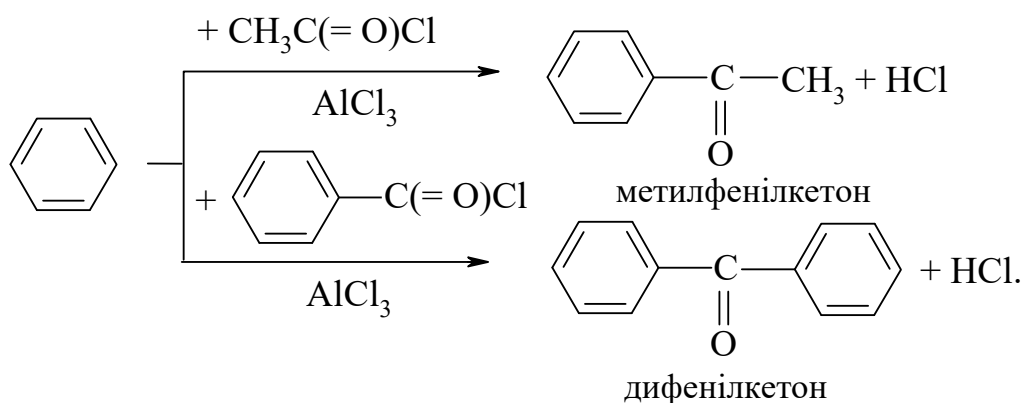
Ацилювання – це введення ацильного радикалу  $-C(=O)R$  в органічну сполуку реакцією заміщення, як найбільш вивченою та доступною. В залежності від того, біля якого атома заміщується рухомий Гідроген на ацильний радикал розрізняють С-, N-, O- та S-ацилювання. Наприклад, реакція С-ацилювання відбувається за загальною схемою [24, 27, 28]:



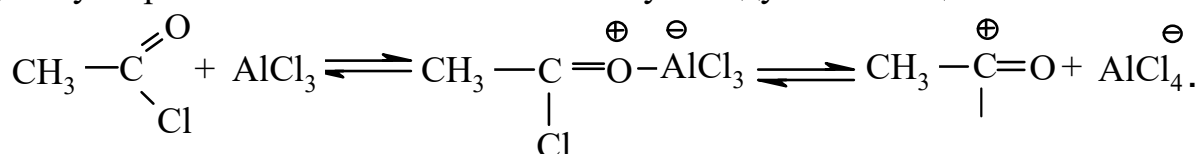
За активністю найбільш поширені ацилюючі засоби можна розмістити в ряд:



*Реакція С-ацилювання.* Ароматичні вуглеводні ацилюються реакцією Фріделя – Крафтса подібно до реакції алкілування ароматичних сполук:



При цьому кислоти Льюїса (алюміній хлорид) виконують каталітичну функцію з утворенням активованого комплексу складу 1:1 або ацетил-катиона:

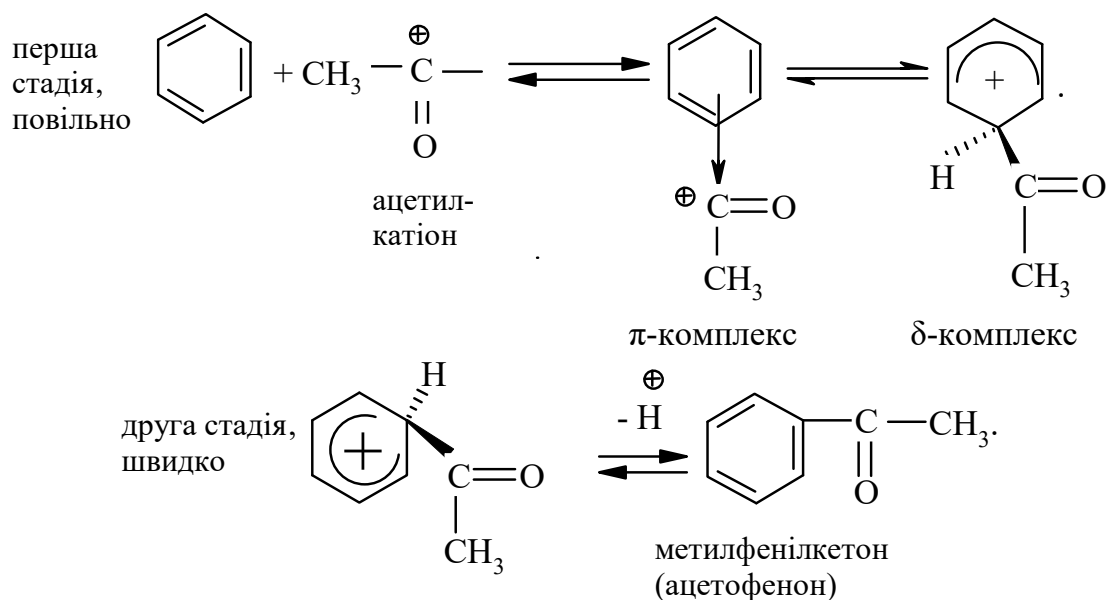


хлорангідрид  
оцтової кислоти

активованій  
комплекс

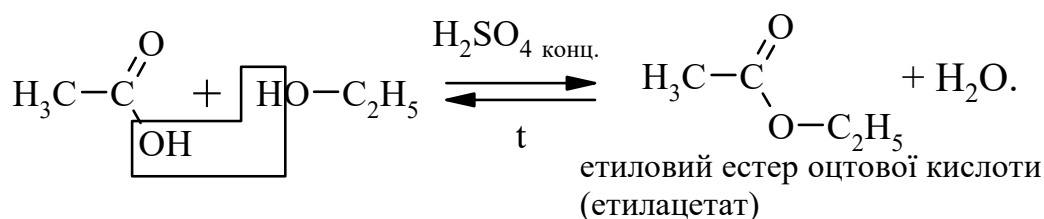
ацетил-  
катион

В подальшому реакція заміщення атома Гідрогена в ароматичному ядрі на ацетилкатион проходить в дві стадії за механізмом електрофільного заміщення  $S_E$ :

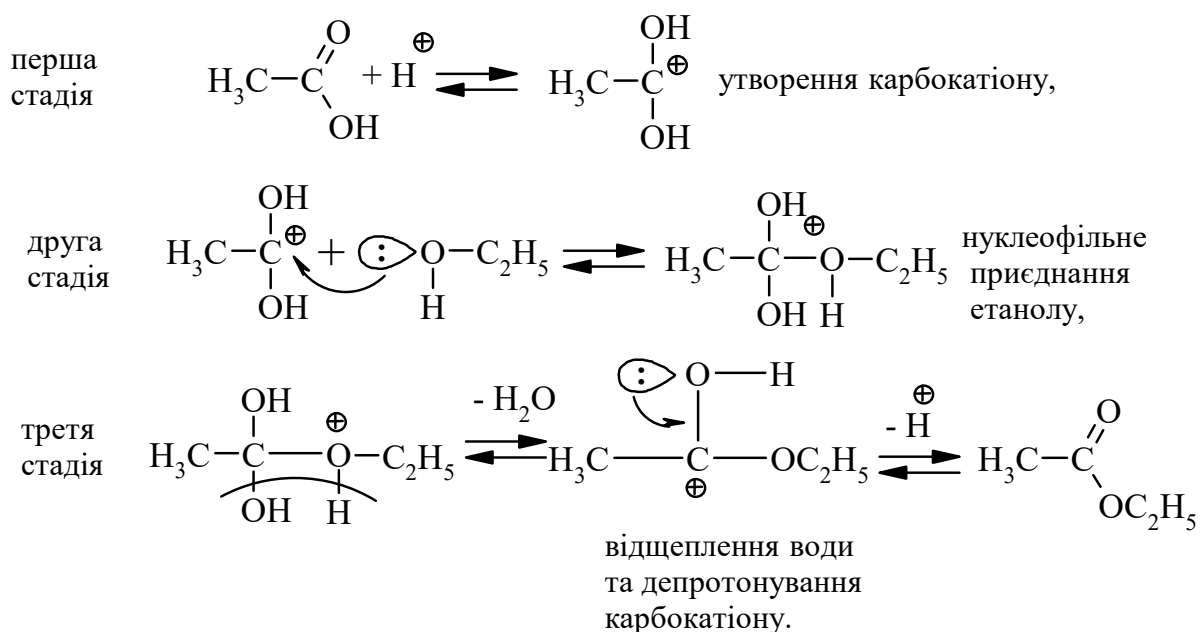


Реакція С-ацилювання ароматичних сполук проходить за  $S_E$  механізмом подібно до реакції С-алкілювання, включаючи повільну, лімітуючу (першу стадію утворення  $\sigma$ -комплексу) та швидку (другу стадію утворення кінцевої сполуки) стадії реакції.

*Реакція О-ацилювання.* Прикладом О-ацилювання органічних сполук є реакція естерифікації спиртів, яка відбувається при їх взаємодії з мінеральними та карбоновими кислотами:



### Механізм реакції



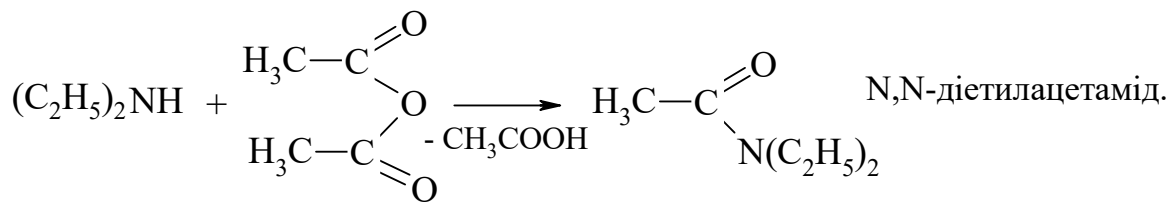
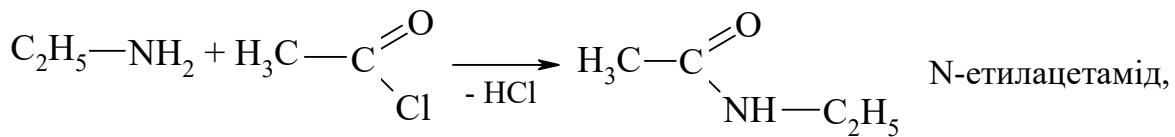
За механізмом – це бімолекулярна реакція приєднання, яка має ряд особливостей:

– реакція рівноважна, тому для добування кінцевого естеру з максимальним виходом необхідно створювати значний надлишок вихідних речовин або виводити із реакційного середовища воду та кінцевий естер;

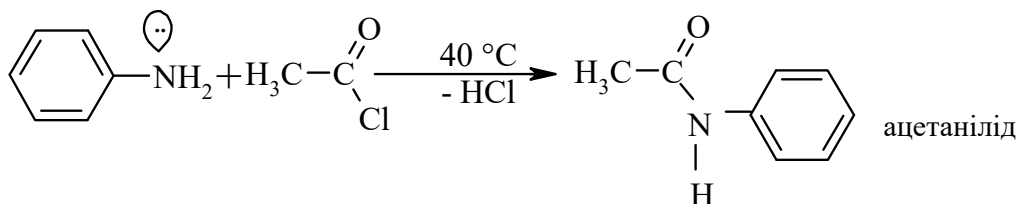
– швидкість реакції для спиртів різної будови змінюється у ряду:  $\nu_{\text{перв.}} : \nu_{\text{втор.}} : \nu_{\text{трет.}} = 20 : 3 : 1$ . В першому наближенні це можна пояснити стеричними перешкодами;

– швидкість реакції визначається оптимальною концентрацією сульфатної кислоти (рис. 5.1). Значна концентрація кислоти приводить до протонування молекули спирту  $\text{R}-\text{OH} + \text{H}^{\oplus} \rightarrow \text{RO}^{\oplus}\text{H}_2$  і, відповідно, до сильного сповільнення реакції. Мала концентрація кислоти значно збільшує кількість води в реакційному середовищі, що зміщує рівновагу у сторону вихідних сполук.

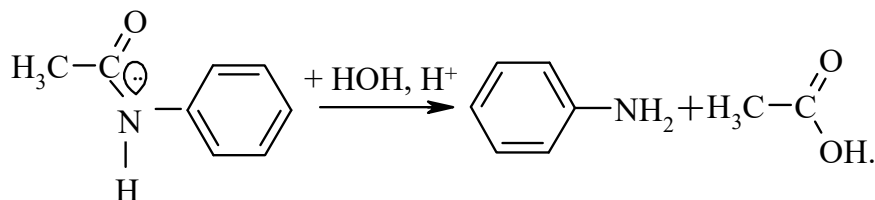




Ацилювання ариламінів, які є менш основними у порівнянні з алкіламінами, відбувається при взаємодії ангідридів або хлороангідридів кислот, а у випадку карбонових кислот, як ацилюючих агентів, потребує жорстких умов перебігу реакції.

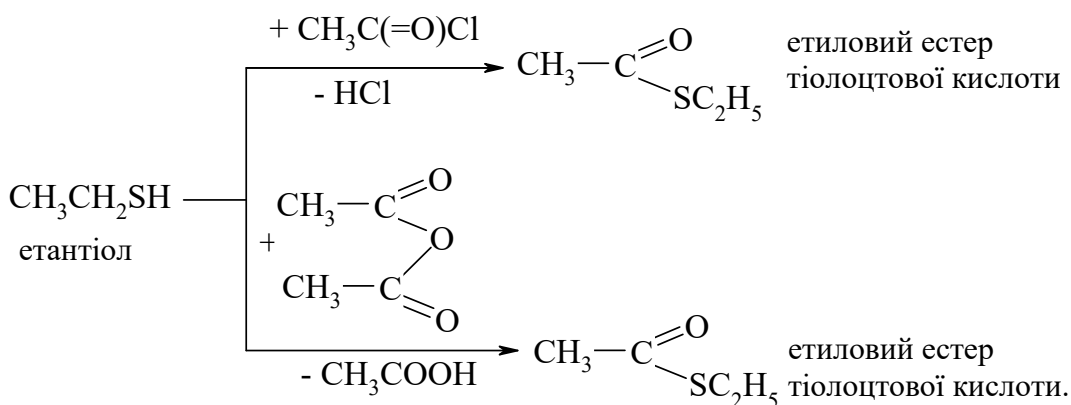


Аміди кислот легко гідролізуються в кислому або лужному середовищі з відновленням (reduction) аміногрупи.



Тому такий підхід використовують в синтетичній практиці для захисту аміногрупи або для зменшення її донорського впливу на ароматичне ядро.

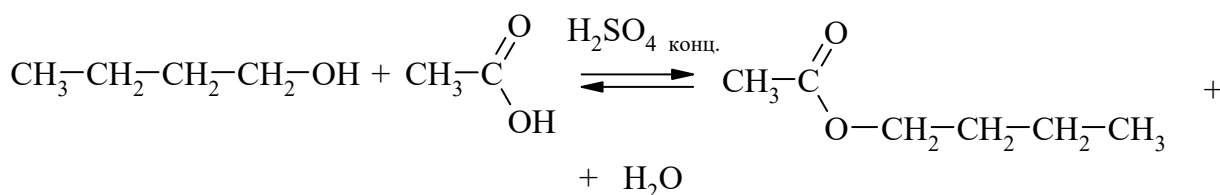
*Реакція S-ацилювання.* В реакцію вступають етилтіолі (меркаптани) подібно до аліфатичних спиртів за схемою:



## Лабораторна робота № 9

### Синтез бутилацетату

Схема синтезу



Реактиви:

оцтова кислота ( $\rho = 1,05$ г/мл)	0,15 моль
н-бутиловий спирт	0,1 моль
сульфатна кислота ( $\rho = 1,84$ г/мл)	5 мл
натрій хлорид (6%-ий розчин)	30 мл
натрій сульфат безводний	

**Методика синтезу.** В суху плоскодонну колбу на 100 мл вносять 0,15 моль оцтової кислоти при перемішуванні та охолодженні колби під струменем холодної води, а потім невеликими порціями 5 мл концентрованої сульфатної кислоти. За тих же умов повільно (впродовж ~ 15 хв) до реакційної суміші додають 0,1 моль н-бутилового спирту. Температура реакційної суміші при цьому не повинна перевищувати 40 °С (контролюють за допомогою термометра, зануреного в реакційну суміш).

Плоскодонну колбу з реакційною сумішшю та кип'ятильними камінцями з'єднують із зворотним холодильником та нагрівають на електроплитці протягом 30 хв при слабкому кипінні реакційної суміші.

**Виділення продукту.** Після завершення реакції суміш охолоджують і додають до неї 30 мл 6%-го розчину натрій хлориду. Вміст колби переносять до ділильної воронки, струшують і дають відстоятися. Нижній водний шар відокремлюють, а естер, що залишився у воронці, нейтралізують розчином соди (контролюють за допомогою універсального індикаторного паперу), знову відокремлюють і промивають водою.

Естер переносять в суху колбу на 50 мл, висушують реакційну масу безводним натрій сульфатом і переганяють її при атмосферному тиску із колби Вюрца, відбирають при цьому фракцію з  $T_{\text{кип}} = 124 - 125$  °С.

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
формула	Назва	М, г/моль	$T_{\text{кип}}$ , °С	$T_{\text{пл}}$ , °С	$\rho$ , г/мл	п, моль	т, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								



*Характеристика кінцевого продукту.* Бутилацетат – безбарвна горюча рідина з характерним етерним запахом. Малорозчинний у воді, добре розчиняється в органічних розчинниках,  $T_{\text{пл}} = 73,5^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{кип}} = 126,1^{\circ}\text{C}$ ,  $d_4^{20} = 0,881$ ,  $n_D^{20} = 1,3941$ .

*Токсичність.* ГДК  $_{\text{р.з.}} = 200 \text{ мг/м}^3$ . Подразнює слизову оболонку очей та органів дихання.

*Використання.* Як розчинник для нітроцелюлозних лаків і фарб та екстрагент в парфумерній промисловості.

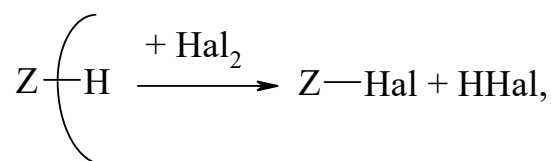
### Контрольні запитання

1. Яку реакцію називають реакцією ацилювання? Назвіть найбільш поширені ацилюючі агенти.
2. За яким механізмом протікає реакція С-ацилювання ароматичних сполук?
3. Яким чином кислоти Льюїса ( $\text{AlBr}_3$ ) активують ацилброміди в реакціях ацилювання ароматичних бензоїдних структур?
4. Наведіть схему та механізм реакції етерифікації пропанової кислоти етанолом.
5. Назвіть умови, за яких проходить реакція етерифікації та її особливості.
6. Які ацилюючі агенти застосовують для отримання естерів реакцією О-ацилювання?
7. Наведіть реакцію N-ацилювання. В яких умовах вона протікає і яким чином використовується в органічному синтезі?
8. Як можна захистити аміногрупу в процесі синтезу? Як знімають захист аміногрупи?
9. Які продукти отримують реакцією S-ацилювання? Наведіть приклади.
10. Наведіть схему та механізм реакції синтезу бутилацетату з бутанолу.

### 5.2 Галогенування

Галогенування – це введення атома галогену в молекулу органічної сполуки за допомогою, як правило, реакцій заміщення або приєднання.

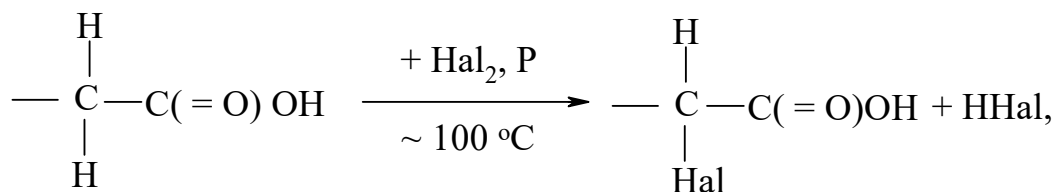
Заміщення атома Гідрогену на галоген проходить за загальною схемою:



де  $\text{Z} = \text{C}, \text{N}, \text{S}$  – атоми органічної сполуки.

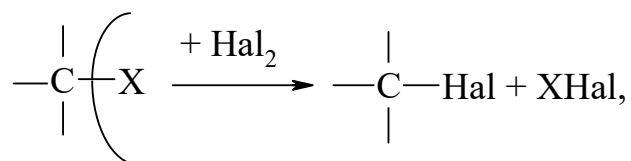
Багато із реакцій наведеної схеми є іменними. Так, реакція Хелля-Фольхарда-Зелінського – це галогенування карбонових кислот в  $\alpha$ -поло-

ження при дії галогену та червоного фосфору [46]:



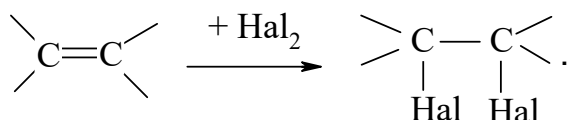
де Hal = Cl, Br, I.

Заміщення групи атомів, або атома, відмінного від Гідрогену, на галоген відбувається за схемою:



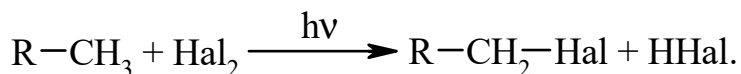
де X = OH, NR<sub>2</sub>, OSO<sub>3</sub>R, SO<sub>3</sub>H та інші.

Приєднання атома галогену до подвійного Карбон-Карбонового зв'язку (C = C-дигалогенування):



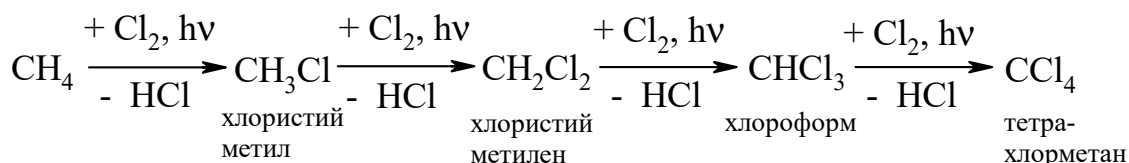
Розглянемо деякі приклади галогенування, яке здійснюється за допомогою реакцій заміщення та приєднання.

Галогенування алканів під дією галогенів проходить із утворенням моно- та полігалогенопохідних алканів. Загальна схема утворення монопохідних галогеноалканів:

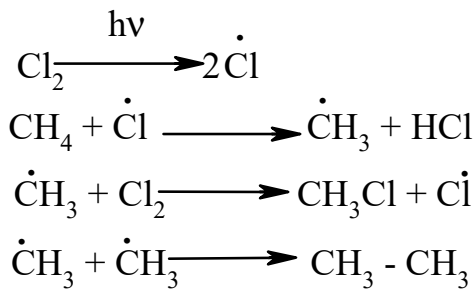


Швидкість реакції в залежності від природи алкану зменшується у ряду: третинний > вторинний > первинний, а в залежності від природи галогену у такій послідовності: F<sub>2</sub> (з вибухом) > Cl<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub> (опромінення світлом або T ≥ 300 °C) > I<sub>2</sub> (практично не взаємодіє без застосування спеціальних йодуючих агентів, наприклад, (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>C-OI).

Хлорування (chlorination) метану відбувається за схемою радикального заміщення (S<sub>R</sub>):



Механізм реакції (S<sub>R</sub>) ланцюгово-радикальний (М. М. Семенов, Нобелівський лауреат з хімії):



перша стадія: ініціювання,  
або зародження ланцюга

друга стадія: **зростання** ланцюга

третя стадія: **обрив** ланцюга.

На рисунку 5.2 наведено енергетичну діаграму реакції хлорування метану. Реакція між метаном та хлором проходить при досягненні енергії активації –  $E'$ , подальша взаємодія метильного радикалу ( $\text{CH}_3\cdot$ ) та молекули хлору відбувається при досягненні енергії активації –  $E''$  з утворенням хлористого метилу та активного радикала хлору.

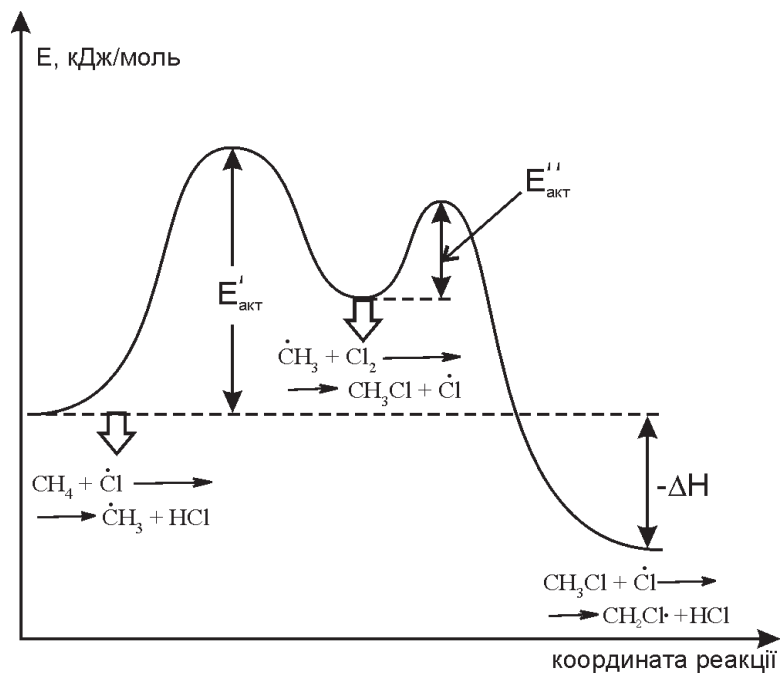


Рисунок 5.2 – Енергетична діаграма реакції хлорування метану

Галогенування різних алканів проходить селективно в залежності від їх будови та стабільності утворених радикалів: третинний > вторинний > первинний. При цьому їх термодинамічна стабільність визначається енергією дисоціації зв'язку С–Н, тобто енергією утворення вільних радикалів та ефективністю делокалізації заряду радикального центра (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Енергія дисоціації зв'язків С–Н в алканах та ряд стійкості радикалів

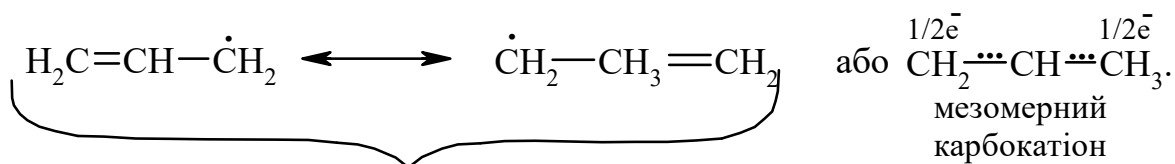
Енергія дисоціації, кДж/моль	425	406	395	375
Алкан	$\text{H}_3\text{C}-\text{H}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\   \\ \text{H} \end{array}$
Алкіл-радикали (ряд стабільності)	$\dot{\text{C}}\text{H}_3$	$\approx \text{CH}_3\dot{\text{C}}\text{H}_2$	$< \text{CH}_3-\dot{\text{C}}\text{H}-\text{CH}_3$	$< \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3-\dot{\text{C}}-\text{CH}_3 \end{array}$

Можливість селективного галогенування закономірно пов'язана із природою галогену ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$ ) та швидкістю таких реакцій біля первинного ( $\nu_{\text{C}_1}$ ), вторинного ( $\nu_{\text{C}_2}$ ) та третинного ( $\nu_{\text{C}_3}$ ) атома Карбону (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Швидкість реакції галогенування алканів різної будови

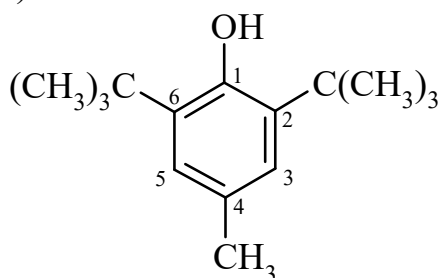
Швидкість Реакція	$\nu_{\text{C}_1}$	$\nu_{\text{C}_2}$	$\nu_{\text{C}_3}$
$\text{R}-\text{CH}_3 + \text{Cl}_2$	1,00	3,25	4,30
$\text{R}-\text{CH}_3 + \text{Br}_2$	1,0	82,0	1600,0

У випадку взаємодії (спряження) неспареного електрона із  $\pi$ -електронною системою (алкени, ацени) стабільність таких радикалів значно зростає:

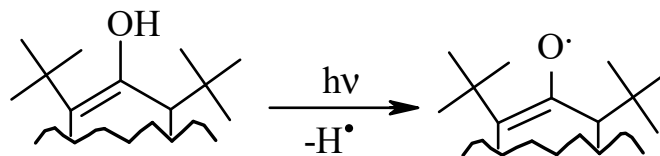


Резонансні структури алільного радикала

Кінетична стабільність радикалів зумовлена, в першу чергу, просторовими перешкодами, що впливає на їх реакційну здатність. Так, 4-метил-2,6-дитрет-бутилфенол (іюнол)



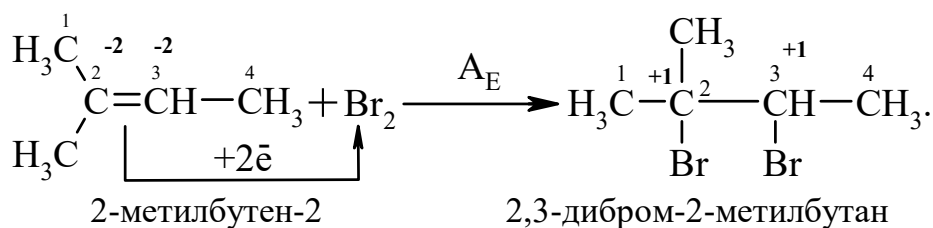
має об'ємні трет-бутильні радикали, що знаходяться у ортоположенні відносно гідроксильної групи. У випадку утворення радикала



об'ємні трет-бутильні замісники екранують атом Оксигену та заважають перебігу радикальних реакцій по цьому реакційному центру. Виходячи із цього положення, інол широко використовується у багатьох промислових сумішах (пластмаси, гуми, мастила, оливи тощо) як ефективний антиоксидант.

Розглянуті на прикладі реакції галогенування алканів теоретичні положення (природа субстрата та реагента, стабільність радикалів) будуть характерними і для інших реакцій, що відбуваються за радикально-ланцюговим механізмом ( $S_R$ ).

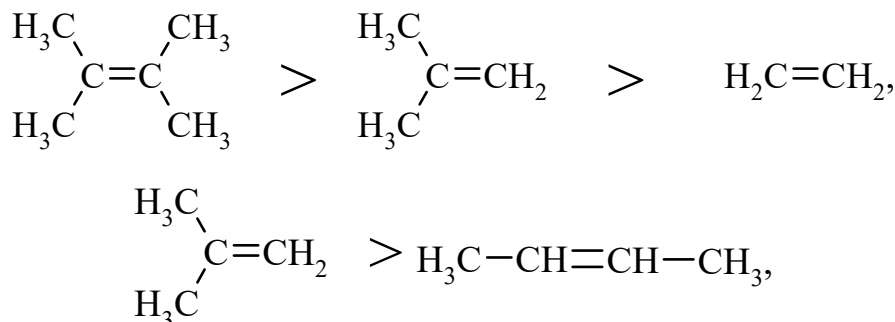
Галогенування алкенів проходить з утворенням віцинальних дигалогеналканів:



Це – якісна реакція на алкени: бромна вода темно-червоного кольору знебарвлюється у присутності алкену внаслідок утворення дибромгалогеналкану. Реакцію галогенування алкенів можна розглядати як окисно-відновну, в якій алкен окиснюється до дибромгалогеналкану, а молекулярний бром відновлюється до бромід-аніону, що входить до складу 2,2-ди-бром-2-метилбутану.

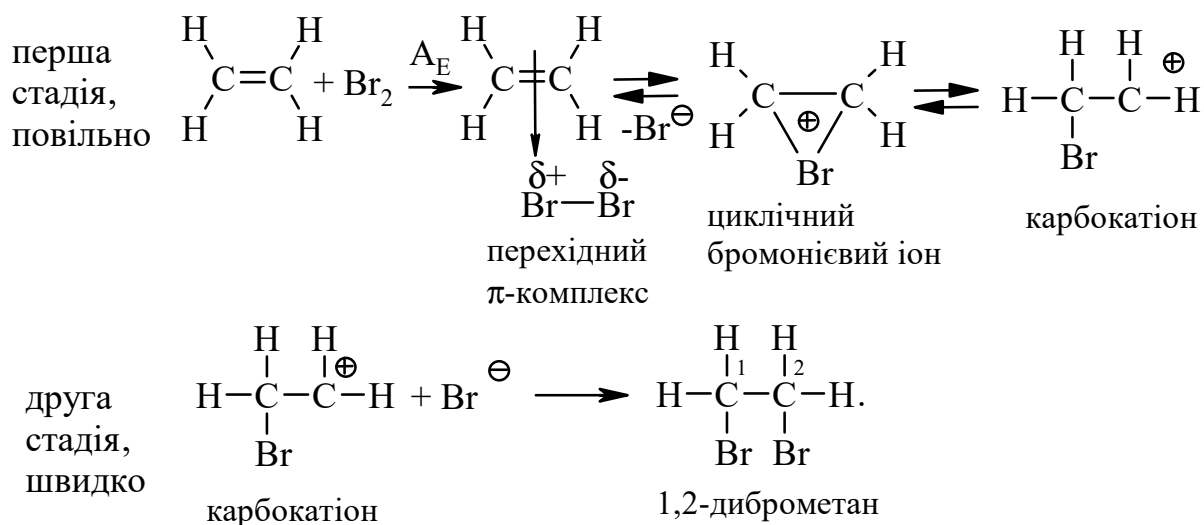
Швидкість реакції галогенування залежить від природи галогену і зменшується в ряду:  $F_2$  (з вибухом)  $>$   $Cl_2$ ,  $Br_2$  (кімнатна температура)  $>$   $I_2$  (повільно при освітлені,  $h\nu$ ), а також від будови алкену:

– чим більше замісників знаходиться біля атомів Карбону подвійного зв'язку, тим активнішим є алкен

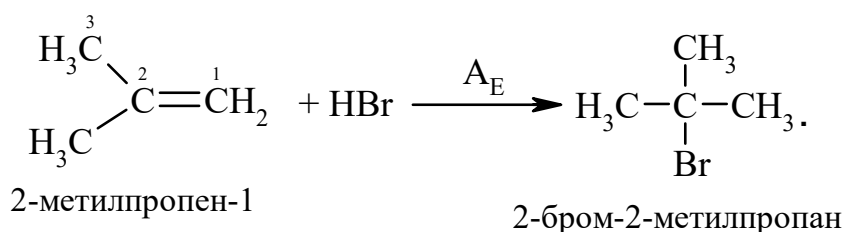


– чим полярнішим є алкен, тим він більш реакційноздатний.

Реакції бромовання та хлорування відбуваються, як правило, за  $A_E$ -механізмом:

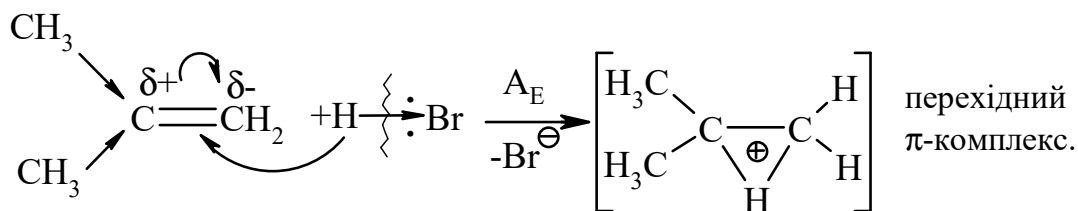


Приєднання галогеноводнів (*гідрогалогенування*) до алкенів відбувається дуже легко з утворенням галогеноалканів:

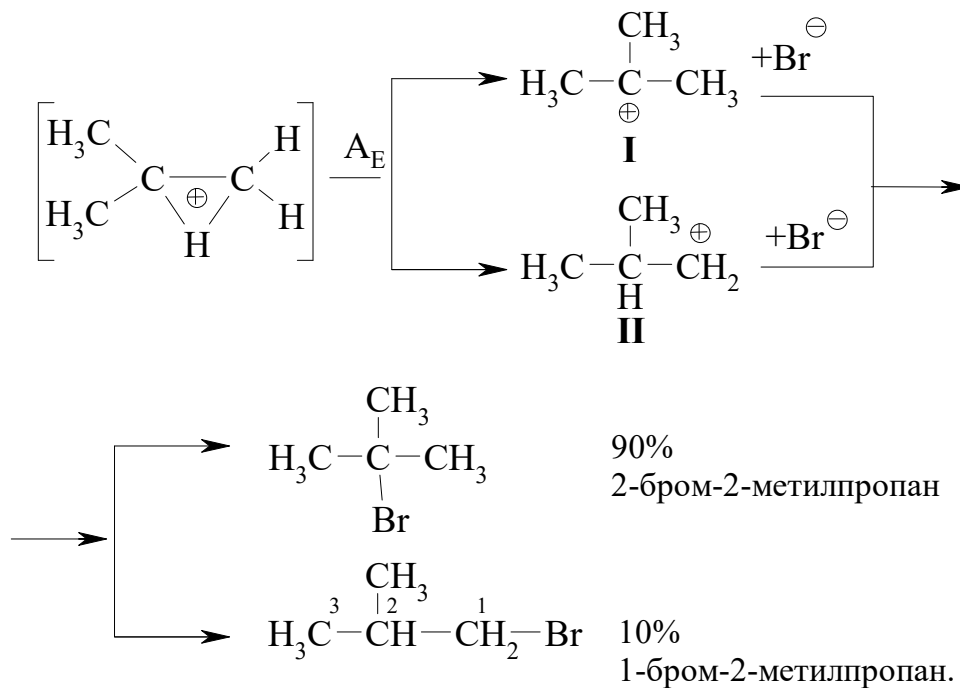


Реакційна здатність галогеноводнів зростає із збільшенням сили кислот у ряду:  $\text{HF} < \text{HCl} < \text{HBr} < \text{HI}$ .

Галогеноводні у випадку несиметричних алкенів приєднуються за правилом В. В. Марковнікова (1869 р.): *атом Гідрогену приєднується до більш гідрогенізованого атома Карбону* (до атома Карбону, що має більшу кількість атомів Гідрогену). Така регіоселективність визначається поляризацією подвійного зв'язку в алкенах з утворенням на першій стадії перехідного  $\pi$ -комплексу:

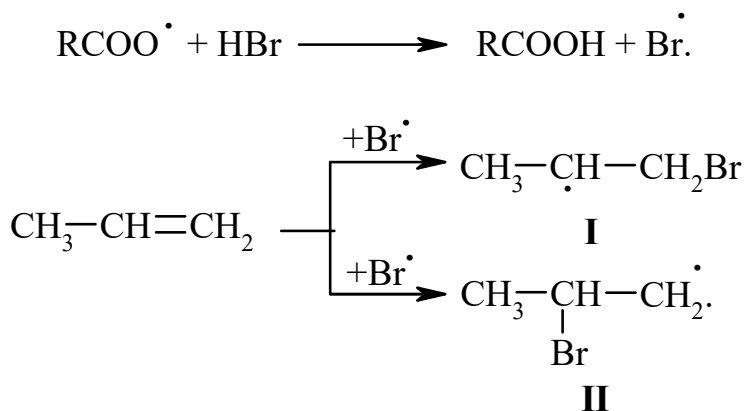


Останній перегрупується до карбокатионів (I) та (II):

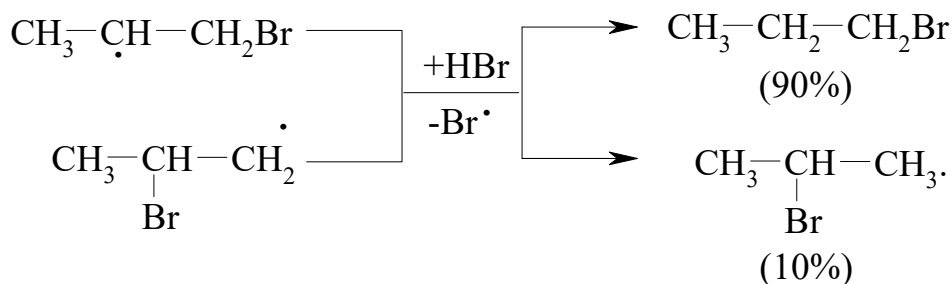


Із двох проміжних карбокатионів **I** та **II**, перший є більш стійким, тому і вихід кінцевого бромалкану у цьому випадку є визначальним (90%).

При наявності у реакційному середовищі пероксидів реакція проходить не за  $A_E$ -механізмом, а за радикальним механізмом –  $A_R$  (Хараш, 1933 р.):



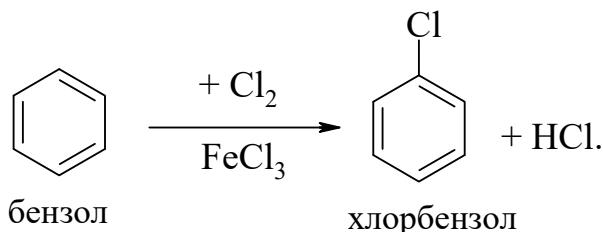
Радикал **I** є більш стабільним, ніж радикал **II**, що є визначальним при утворенні кінцевого 1-бромпропану (90%):



Радикали **I** та **II** стабілізуються за рахунок взаємодії із наступною молекулою бромоводню.

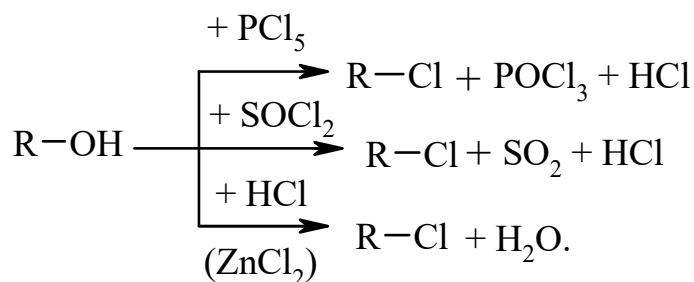
Таким чином, наявність в реакційному середовищі пероксидів приводить до зміни механізму реакції та до приєднання галогеноводнів всупереч правилу Марковнікова.

Галогеноарени утворюються при галогенуванні ароматичних сполук хлором або бромом в присутності кислот Льюїса ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$ ):



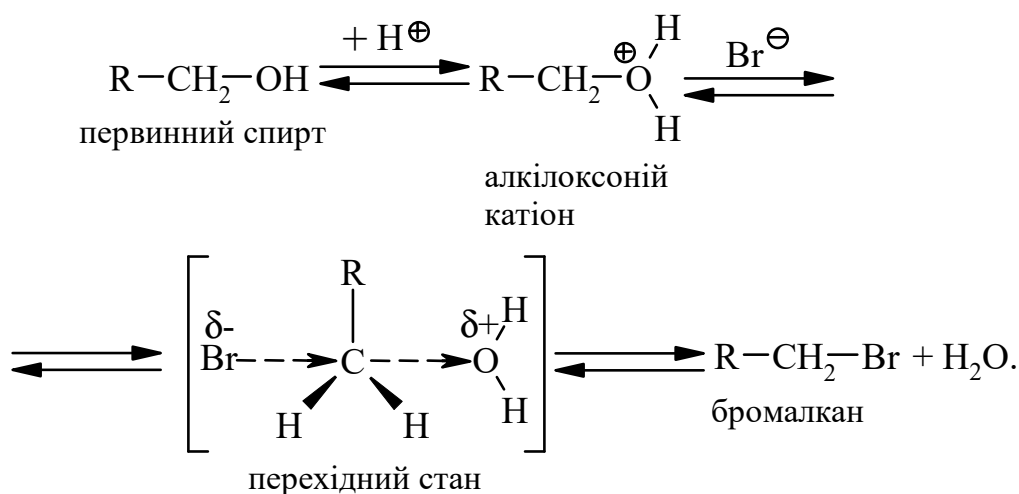
Реакція проходить за механізмом електрофільного заміщення ( $\text{S}_\text{E}$ ).

Нуклеофільне заміщення гідроксилу на галоген відбувається при дії галогенідів Фосфору та Сульфуру, а також галогеноводнів  $\text{H}-\text{Hal}$  ( $\text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl}$ ) на спирти за схемою:



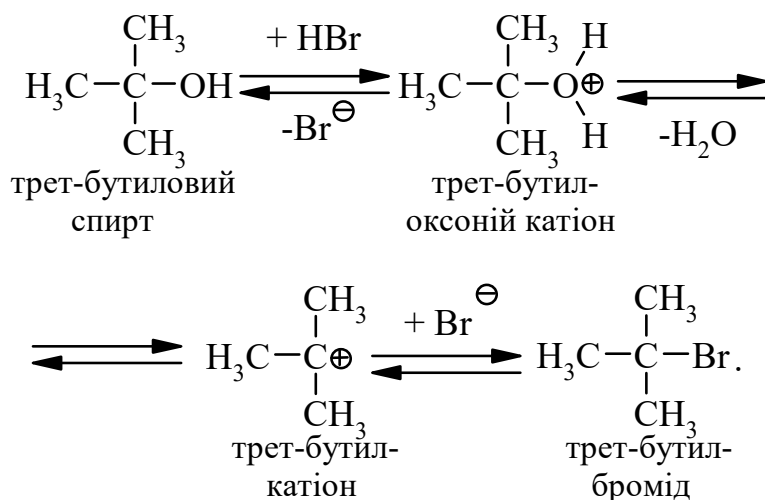
З кислотами  $\text{HI}$  (50% мас),  $\text{HBr}$  (50% мас) та  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (96% мас) реакція відбувається досить легко, з кислотою  $\text{HCl}$  значно важче в присутності каталітичних кількостей  $\text{ZnCl}_2$ . З первинними спиртами реакція відбувається за механізмом  $\text{S}_\text{N}2$ , а з третинними –  $\text{S}_\text{N}1$ . Вторинні спирти реагують як за  $\text{S}_\text{N}2$ , так і за  $\text{S}_\text{N}1$  механізмами.

*Первинні спирти ( $\text{S}_\text{N}2$ -механізм):*

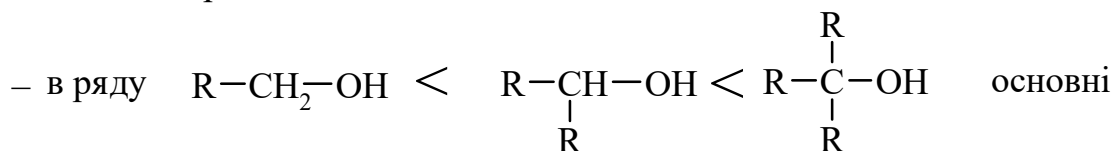




Третинні спирти ( $S_N1$ -механізм):

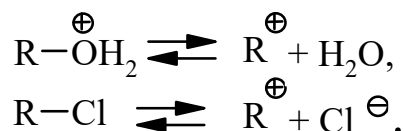


Реакція має ряд особливостей:

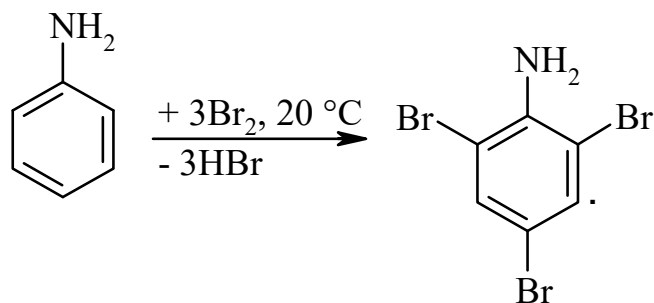


властивості спиртів посилюються, тому є закономірним зростання швидкості реакції у тій же послідовності (з урахуванням протонування спиртів на першій стадії);

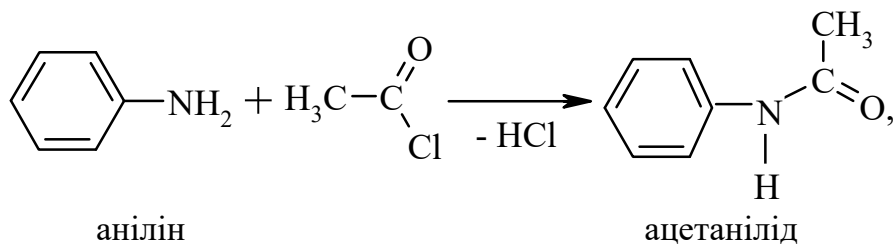
– для спиртів, у порівнянні із галогеналканами, більш характерним є механізм  $S_N1$ , тому що нейтральна молекула води ( $\text{H}_2\text{O}$ ) відщеплюється значно легше, ніж заряджений галогенід-аніон ( $\text{Hal}^-$ ):



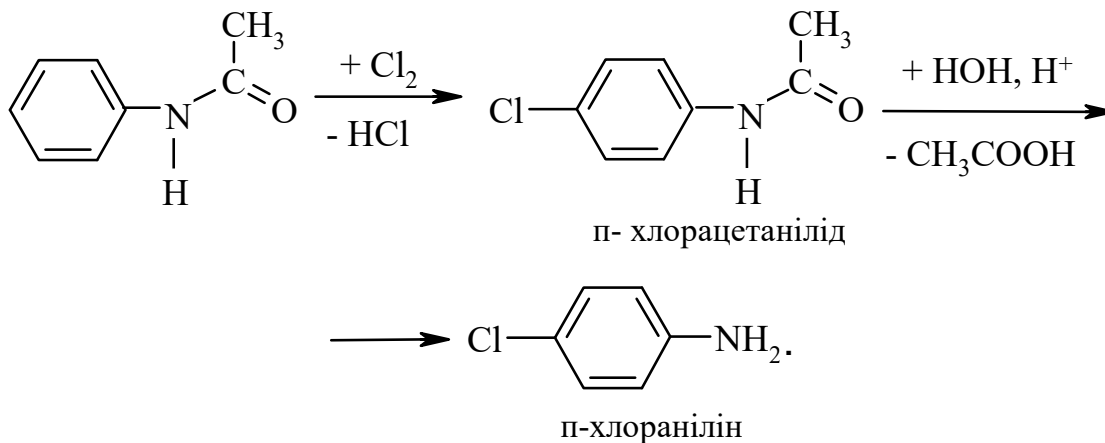
Реакція галогенування ариламінів. При дії бромної води на анілін відбувається полібромування з утворенням 2,4,6-триброманіліну:



Аналогічно відбувається і йодування. При хлоруванні слід враховувати здатність аміногрупи до окиснення. Тому спочатку проводять захист аміногрупи ацилюванням:



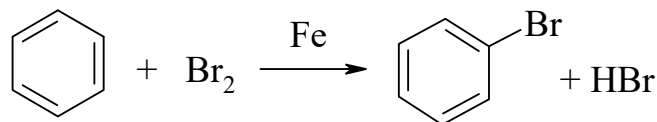
а потім хлорують з наступним гідролізом п-хлорацетаніліду:



## Лабораторна робота № 10

### Синтез бромбензолу

*Схема синтезу*



*Реактиви:*

бензол ( $\rho = 0,879$ г/мл)	0,25 моль
бром ( $\rho = 3,1$ г/мл)	0,19 моль
залізна стружка	0,5 г
натрій гідроксид (5%-ий розчин)	
кальцій хлорид безводний	

*Методика синтезу.* В круглодонну двогорлову колбу, оснащену крапельною воронкою і зворотним холодильником з газовідвідною трубкою, вносять 0,5 г залісної стружки та 0,25 моль попередньо висушеного бензолу, а потім частинами додають 0,19 моль бром у з крапельної воронки. Після додавання чергової порції бром у вміст колби обережно перемішують. Залишок бром у після початку виділення бромоводню доливають в колбу, не допускаючи бурхливого протікання реакції.

Для завершення реакції колбу протягом 30 хв нагрівають на теплій водяній бані ( $\sim 25$  °С), потім поступово підвищують температуру бані до 60 – 70 °С. Нагрівання закінчують, коли над рідиною в колбі зникають бурі пари

бромбу. Суміш виливають в колбу Вюрца об'ємом 50 мл і відганяють бромбензол з водяною парою. Змінивши приймач і зливши воду з холодильника, відганяють п-дибромбензол (побічний продукт реакції бромбування). Дистилат з бромбензолом переносять в ділильну воронку, відділяють його від верхнього водного шару і сушать безводним кальцій хлоридом. З висушеного продукту відганяють з повітряним холодильником фракцію, яка кипить при температурі 152 – 158 °С.

*Виділення продукту.* Отриманий продукт переносять в ділильну воронку, промивають водою, розведеним розчином натрій гідроксиду і знову водою, сушать кальцій хлоридом.

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
формула	Назва	М, г/моль	T <sub>кип</sub> , °С	T <sub>пл</sub> , °С	ρ, г/мл	n, моль	m, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* Бромбензол – важка прозора рідина. Нерозчинна у воді, добре розчинна в спирті, етері, хлороформі, бензолі, T<sub>пл</sub> = 30,6 °С, T<sub>кип</sub> = 156,2 °С, d<sub>4</sub><sup>20</sup> = 0,1495, n<sub>D</sub><sup>20</sup> = 1,5602.

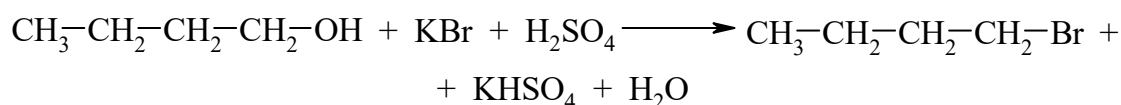
*Токсичність.* Уражає слизові оболонки дихальних шляхів, токсичний. ГДК – 3 мг/м<sup>3</sup>, ЛД<sub>50</sub> = 2700 мг/кг

*Використання.* В органічному синтезу (реакція Гриньяра, реакція Фіттига).

## Лабораторна робота № 11

### Синтез бромбутану

#### Схема синтезу



#### Реактиви:

1-бутанол (ρ = 0,81 г/мл)	0,175 моль
калій бромід	0,125 моль
сульфатна кислота (ρ = 1,84 г/мл)	20 мл

*Методика синтезу.* В конічну колбу на 250 мл вносять 10 мл дистильованої води і невеликими порціями (при перемішуванні та охолодженні колби під струменем води) додають 20 мл сульфатної кислоти. В тих же умовах (**перемішування і охолодження!**) до реакційної суміші додають 0,175 моль бутилового спирту.

В плоскодонну колбу на 250 мл вносять 0,125 моль калій броміду і невеликими порціями додають до нього приготовлену реакційну суміш (**витяжна шафа!**). До колби Вюрца приєднують похилий холодильник та алонж. Кінець алонжа занурюють в приймач з холодною водою. Реакційну суміш обережно нагрівають електронагрівачем, не допускаючи піноутворення. Реакцію вважають завершеною після повного розчинення калій броміду та закінчення стікання великих оліїстих крапель бутилброміду в приймач.

*Виділення продукту.* Бутилбромід відділяють від води через ділильну воронку, висушують безводним кальцій хлоридом та переганяють з колби Вюрца ( $T_{\text{кип}} = 101 - 102 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

Ця методика може використовуватись також для синтезу етил-, пропіл- та амілбромідів.

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
формула	Назва	М, г/моль	$T_{\text{кип}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\rho$ , г/мл	п, моль	м, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* 1-бромбутан – безбарвна рідина з характерним запахом. Змішується з етиловим спиртом і діетиловим етером, добре розчиняється в ацетоні,  $T_{\text{пл}} = -111,9 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{кип}} = 101,6 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $d_4^{20} = 1,2588$ ,  $n_D^{20} = 1,4398$ .

*Токсичність.* ГДК р.з. = 0,3 мг/м<sup>3</sup>, ЛД<sub>50</sub> = 4450 мг/кг.

*Використання.* Як напівпродукт в органічному синтезі.

## Лабораторна робота № 12

### Синтез йодоформу

#### Схема синтезу



*Реактиви:*

Етанол	10 мл
кристалічний йод	5г
гідроксид натрію (30%-ий розчин)	

*Методика синтезу.* В стакан на 250мл наливаємо 10 мл етанолу, додаємо 5г кристалічного йоду і 10 мл води. Стакан з сумішшю переносимо на мішалка, вмикаємо мішалка на малі оберти і суміш перемішуємо протягом 10 хв. Потім продовжуємо перемішування і одночасно з клепальної воронки поступово доливаємо 30%-ий розчин натрій гідроксиду до повного розчинення йоду та знебарвлення розчину. Вмикаємо підігрів мішалки і обережно нагріваємо суміш при температурі 60–70°C до випадання зелено-жовтих кристалів йодоформу. Кристали, які випали відфільтровуємо на воронці Бюхнера, промиваємо дистильованою водою, висушуємо в ексикаторі.

*Виділення продукту.* Кристали, які випали відфільтровуємо на воронці Бюхнера, промиваємо дистильованою водою, висушуємо в ексикаторі.

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
формула	Назва	М, г/моль	T <sub>кип</sub> , °C	T <sub>пл</sub> , °C	ρ, г/мл	n, моль	m, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* Йодоформ (трийодметан) – кристалічна речовина зелено-жовтого кольору, з характерним неприємним запахом. Важкорозчинна у воді (0,01г в 100г води при 25°C), краще в етанолі (1,5г при 15°C). Йодоформ плавиться при 116–120°C, легко сублімується. Розчин йодоформу легко розкладається на повітрі й на сонячному світлі з виділенням йоду.

*Використання.* Як антисептик у медичній і ветеринарній практиці.

### Контрольні запитання

1. Яку реакцію називають реакцією галогенування? Наведіть її загальну схему.
2. Наведіть рівняння реакції отримання хлороцтової кислоти реакцією Хелля-Фольхарда-Зелінського.
3. Від яких чинників залежить швидкість реакції галогенування алканів галогенами?
4. Наведіть схему та механізм реакції бромовання метану.
5. Як впливає будова алкану та природа галогену на можливість селективного галогенування алканів?
6. Від яких чинників залежить швидкість галогенування алкенів галогенами?
7. Як змінюється реакційна здатність галогеноводнів в реакції гідрогалогенування алкенів? Наведіть схему реакції гідрогалогенування бутену-1

хлороводнем.

8. Наведіть схеми реакцій та зазначте вихід продуктів при взаємодії пропену-1 з йодоводнем без та за наявності пероксидів у системі.
9. За яким механізмом протікає реакція галогенування ароматичних вуглеводнів? Наведіть схему бромовання бензолу. За яких умов вона протікає?
10. Наведіть схему та механізм реакції синтезу бромбутану з 1-бутанолу.

### 5.3 Нітрування

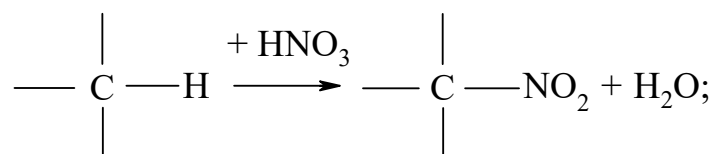
Введення нітрогрупи  $-NO_2$  в органічну сполуку називається реакцією нітрування.

Найбільш поширеними нітруючими агентами є:

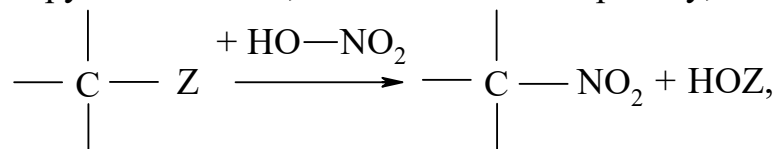
- суміш концентрованої нітратної та сульфатної кислот (нітруюча суміш);
- нітратна кислота різної концентрації в суміші з органічними розчинниками ( $HNO_3$  + ацетонітрил);
- тетраоксид нітрогену ( $N_2O_4$  + ацетонітрил);
- алкілнітрити ( $Alk-NO_2$ ) або нітрити металів ( $NaNO_2$ ).

Найбільш поширені такі методи добування нітросполук:

- заміщення атома Гідрогену на нітрогрупу [41 – 50]:



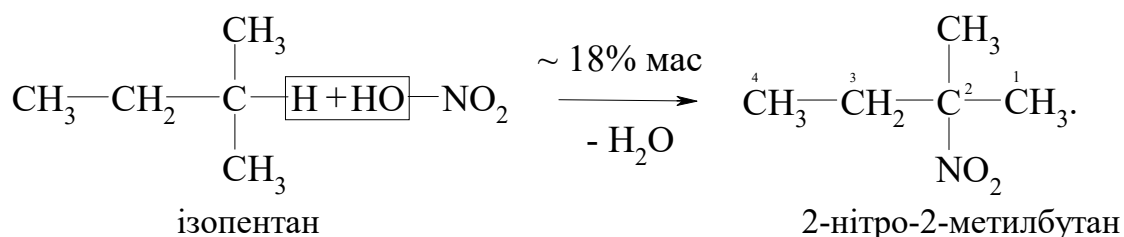
- заміщення групи або атома, відмінного від Гідрогену, на нітрогрупу:



де  $Z = Hal, CH_3C(=O)-, SiR_3$  та інші.

Наведемо деякі приклади реакції нітрування органічних сполук.

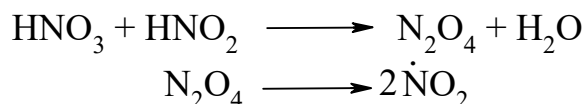
Нітрування алканів нітратною кислотою за звичайних умов не відбувається, а при нагріванні, як правило, іде їх окиснення. М. І. Коновалов (1889 р.) встановив, що при нагріванні ( $\sim 140^\circ C$ ) під дією розведеної нітратної кислоти відбувається нітрування алканів за радикальним механізмом ( $S_R$ ) із задовільним виходом кінцевих нітроалканів:



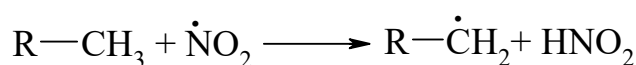
За таких умов забезпечується селективність нітрування (ізопентан нітрується переважно по третинному атому Карбону). Парофазне нітрування ( $N_2O_4$ ;  $T \geq 400 \text{ }^\circ\text{C}$ ) не забезпечує селективності процесу нітрування.

*Механізм реакції ( $S_R$ )*

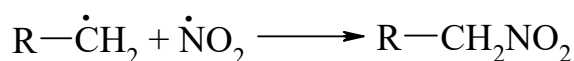
перша стадія: ініціювання або зародження ланцюга



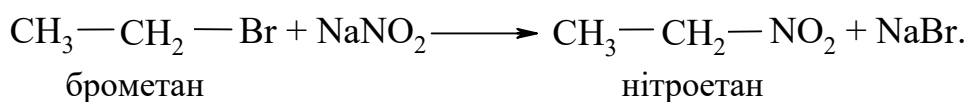
друга стадія: зростання ланцюга



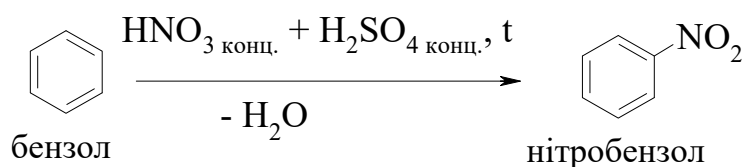
третья стадія: обрив ланцюга



*Взаємодія солей нітритної кислоти з алкілгалогенідами (В. Мейер, 1872 р.):*

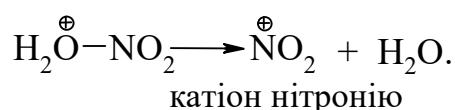
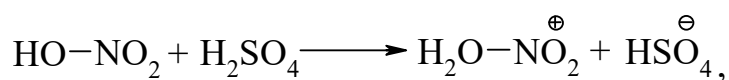


*Нітрування аренів проходить за такою схемою (механізм  $S_E$ ):*

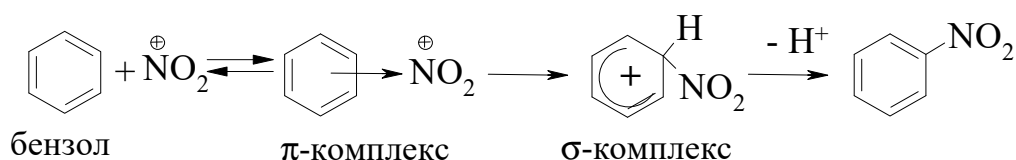


*Механізм  $S_E$*

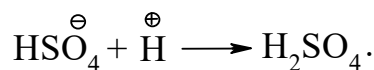
1. При взаємодії нітруючої суміші утворюється електрофільний реагент:  $-\overset{\oplus}{\text{N}}\text{O}_2$  (катіон нітронію):



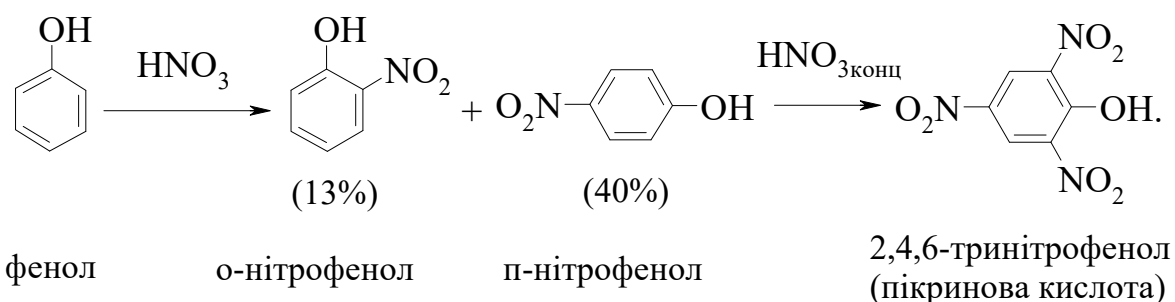
2. Стадія електрофільного заміщення атома Гідрогену ароматичної системи на нітрогрупу:



3. Відновлення каталізатора:

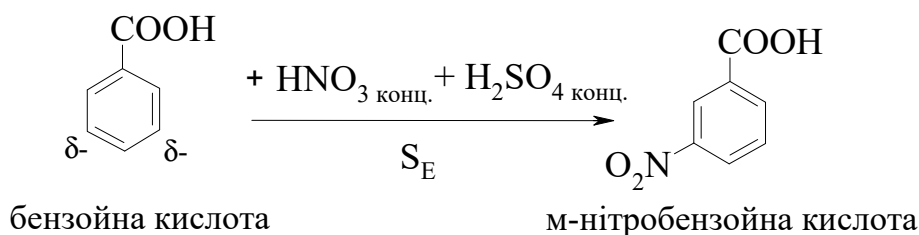


*Нітрування фенолу.* Фенол взаємодіє з розведеною нітратною кислотою при охолодженні з утворенням суміші о- та п-нітрофенолів:

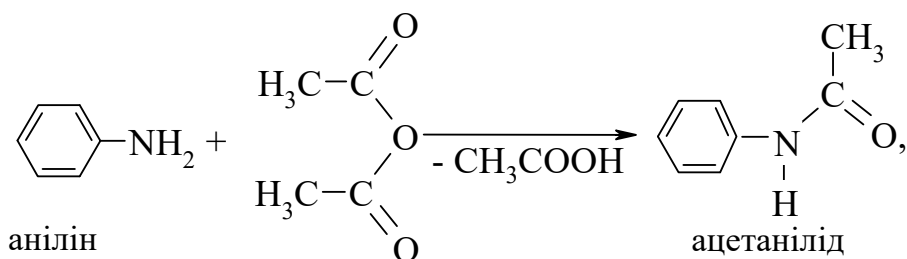


Застосування концентрованої нітратної кислоти веде до окиснення фенолу.

*Нітрування карбонових кислот.* В ароматичних карбонових кислотах карбоксильна група (carboxyl group) є потужним акцептором, який орієнтує нітрогрупу в метоположення ароматичного ядра в реакціях електрофільного заміщення ( $S_E$ ):

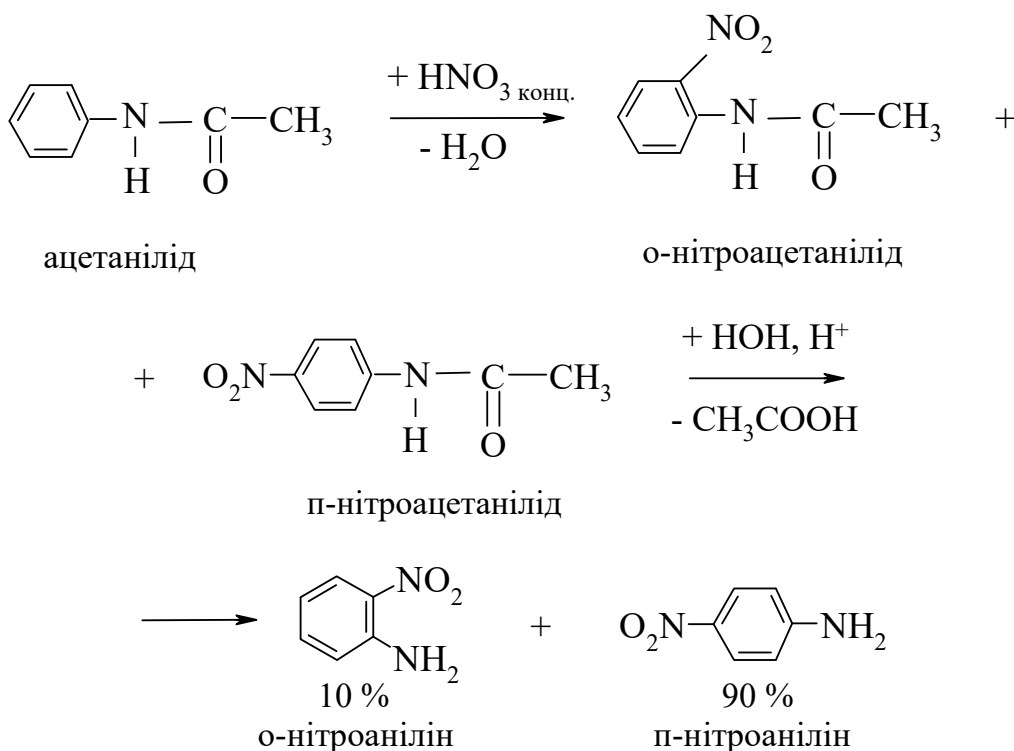


*Нітрування амінів.* Нітратна кислота є сильним окисником і для запобігання окисненню аміногрупи, як і при хлоруванні, її захищають ацилюванням:



а потім нітрують з наступним гідролізом:

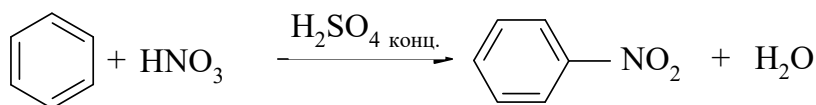




### Лабораторна робота № 13

#### Синтез нітробензолу

##### Схема синтезу



##### Реактиви:

Бензол	0,11 моль
нітратна кислота ( $\rho = 1,40$ г/мл)	11 мл
сульфатна кислота ( $\rho = 1,84$ г/мл)	12,5 мл
натрій гідроксид (5%-ий розчин)	40 мл
кальцій хлорид безводний	

*Методика синтезу.* В тригорлову колбу об'ємом 100 мл вносять 11 мл нітратної кислоти і при охолодженні добавляють невеликим порціями 12,5 мл сульфатної кислоти. При необхідності суміш охолоджують до кімнатної температури (20 °С). Колбу з'єднують із зворотним холодильником, термометром та крапельною воронкою. Через крапельну воронку до нітруючої суміші, що вже знаходиться в колбі, порціями додають 0,11 моль бензолу, струшуючи кожного разу реакційну суміш (для цього закріплення колби в муфті повинно бути дещо ослаблене). Температура реакційної суміші при цьому не повинна перевищувати 50 °С (за необхідністю суміш охолоджують у заздалегідь приготовлений льодовій бані).

Після закінчення додавання бензолу реакційну суміш нагрівають на водяній бані до температури 60 °С та витримують її протягом 1 год.

*Виділення продукту.* Після закінчення реакції реакційну суміш охолоджують, переливають в ділительну воронку та залишають для відстоювання. Верхній шар (нітробензол) відділяють, промивають водою та двічі розчином натрій гідроксиду (2 x 20 мл) і знову водою (40 мл). Суміш переносять у ділительну воронку і відділяють нижній шар – нітробензол.

Промитий нітробензол вносять в суху колбу, приєднану до зворотного холодильника, додають безводний  $\text{CaCl}_2$  і нагрівають реакційну масу до її освітлення. При охолодженні реакційної маси нижній шар повинен затвердівати, утворюючи кристалогідрат  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  якщо цього не відбувається, то в колбу додають ще  $\text{CaCl}_2$  та повторюють операцію до повного зневоднення нітробензолу.

Сухий нітробензол вносять в колбу Вюрца і переганяють його, відбираючи фракцію при 204 – 210 °С. Ні в якому разі **нітробензол не переганяють досуха – це може призвести до вибуху**. В колбі повинно залишитись 10 – 15% початкового об'єму. Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
формула	Назва	М, г/моль	$T_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$	$\rho$ , г/мл	п, моль	т, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* Нітробензол чистий – безбарвна рідина, технічний – рідина світло-жовтого кольору. Легко розчинний в етанолі, етері, бензолі, нерозчинний у воді,  $T_{\text{пл}} = 5,76\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{кип}} = 210,8\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $d_4^{15} = 1,208$ ,  $n_D^{20} = 1,5526$ .

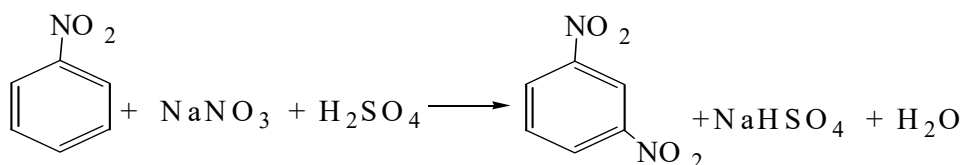
*Токсичність.* Дуже отруйна речовина, окиснює гемоглобін до метгемоглобіну, порушує діяльність центральної нервової системи, викликає захворювання печінки.  $\text{ГДК}_{\text{р.з.}} = 3\text{ мг/м}^3$ .

*Використання.* Для отримання аніліну, а також бензидину, м-динітробензолу, м-нітрохлорбензолу, м-нітробензолсульфокислоти; в виробництві барвників, як розчинник при очищенні сирої нафти, а також використовується як м'який окисник.

## Лабораторна робота № 14

### Синтез м-динітробензолу

Схема синтезу



*Реактиви:*

Нітробензол	0,06 моль
натрій нітрат	0,16 моль
сульфатна кислота ( $\rho = 1,84$ г/мл)	25 мл
натрій гідроксид (5%-ий розчин)	40 мл
кальцій хлорид безводний	

*Методика синтезу.* В круглодонній колбі, місткістю  $100\text{см}^3$ , змішати  $8,3\text{см}^3$  нітробензену і  $25\text{см}^3$  концентрованої сульфатної кислоти ( $\rho=1,84\text{г/см}^3$ ). Занурити термометр у реакційну суміш і нагріти до  $80\text{-}90^\circ\text{C}$ . Невеликими порціями додати  $12,5\text{г}$  тонко розтертого натрій нітрату, слідкуючи за тим, щоб температура не підвищувалась вище  $130^\circ\text{C}$ . Натрію нітрат розчиняється, сульфатна кислота стає каламутною.

м-Динітробензен, що утворюється, спливає у вигляді маслянистого шару. Нагрівання продовжувати 30 хвилин до повного розчинення осаду. Потім вміст колби охолодити до  $70^\circ\text{C}$  і при енергійному перемішуванні вилити у стакан, що містить  $120\text{г}$  товченого льоду. м-Динітробензен виділяється у вигляді жовтої аморфної маси. Водно-кислотний шар декантацією злити з осаду. До осаду додати  $50\text{см}^3$  води і нагріти до кипіння при перемішуванні скляною паличкою. м-Динітробензен при цьому плавиться. Воду злити декантацією, прилити до м-динітробензену ще  $50\text{см}^3$  води і додати натрій карбонат до різко лужної реакції. Розчин охолодити, злити воду крізь фільтр, а м-динітробензен, що залишився на дні стакану (у вигляді твердого коржику) ще 2 рази плавити у гарячій воді (по  $50\text{см}^3$ ). Охолоджений водний шар злити крізь той же фільтр. Кристали на фільтрі промити холодною водою, віджати у фільтровальному папері і приєднати до основної маси м-динітробензену, який вийняти зі стакану і також віджати у фільтровальному папері. Очистити м-динітробензен перекристалізацією з етанолу. Вихід  $11\text{г}$ .

*Виділення продукту.* Водно-кислотний шар декантацією злити з осаду. До осаду додати  $50\text{см}^3$  води і нагріти до кипіння при перемішуванні скляною паличкою. м-Динітробензен при цьому плавиться. Воду злити декантацією, прилити до м-динітробензену ще  $50\text{см}^3$  води і додати натрій карбонат до різко лужної реакції. Розчин охолодити, злити воду крізь фільтр, а м-динітробензен, що залишився на дні стакану (у вигляді твердого коржику) ще 2 рази плавити у гарячій воді (по  $50\text{см}^3$ ). Охолоджений водний шар злити крізь той же фільтр. Кристали на фільтрі промити холодною водою, віджати у фільтровальному папері і приєднати до основної маси м-динітробензену, який вийняти зі стакану і також віджати у фільтровальному папері. Очистити м-динітробензен перекристалізацією з етанолу. Вихід  $11\text{г}$ .

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
формула	Назва	M, г/моль	T <sub>кип</sub> , °C	T <sub>пл</sub> , °C	ρ, г/мл	n, моль	m, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* 1,3- динітробензол – кристалічна речовина, жовтого кольору з характерним запахом. Легко розчинний в хлороформі, естері, бензолі, нерозчинний у воді, T<sub>пл</sub> = 89,57 °C, T<sub>кип</sub> = 300°.

*Токсичність.* Дуже отруйна речовина, окиснює гемоглобін до метгемоглобіну (сильніше за нітробензол), порушує діяльність центральної нервової системи, уражує печінку (аж до гострої жовчної дистрофії). ГДК<sub>р.з.</sub> = 1,0 мг/м<sup>3</sup>.

*Використання.* У виробництві барвників, у синтезі м-нітроаніліну, м-фенілдіааміну та м-дихлорбензену.

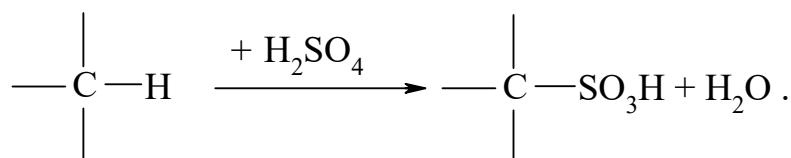
### Контрольні запитання

1. Яку реакцію називають реакцією нітрування? Назвіть найбільш поширені нітруючі агенти.
2. Назвіть основні методи добування нітросполук. Наведіть схеми реакцій.
3. Чи використовують концентровану нітратну кислоту при прямому нітруванні алканів? За яких умов його здійснюють?
4. Наведіть схему та механізм реакції нітрування етану розбавленою нітратною кислотою.
5. За яких умов при нітруванні бутану отримують переважно 2-нітробутан?
6. Наведіть схему реакції отримання 1-нітропропану при використанні натрій нітриту як нітруючого агента.
7. Наведіть схему та механізм реакції нітрування бензолу.
8. Які продукти утворюються при нітруванні толуолу? Наведіть схему реакції.
9. Які ізомери (o-, m-, p-) переважно отримують при нітруванні ароматичних фенолів? Ароматичних карбонових кислот?
10. Чому синтез p-нітроаніліну з аніліну здійснюють у декілька стадій?

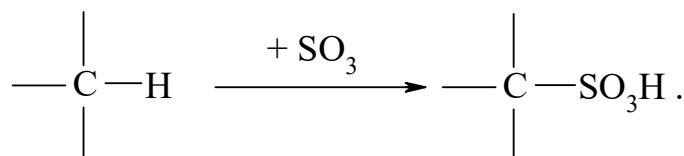
### 5.4 Сульфування

Сульфування (*sulfonation*) – це введення сульфогрупи –SO<sub>3</sub>H в молекулу органічної сполуки за допомогою таких найбільш поширених способів.

1. Заміщення атома Гідрогену при дії сульфатної кислоти або олеуму (*oleum*) (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · SO<sub>3</sub>) згідно зі схемою [34 – 41]:



2. Включення молекули сульфатного ангідриду у зв'язок Карбон-Гідроген [51 – 58]:

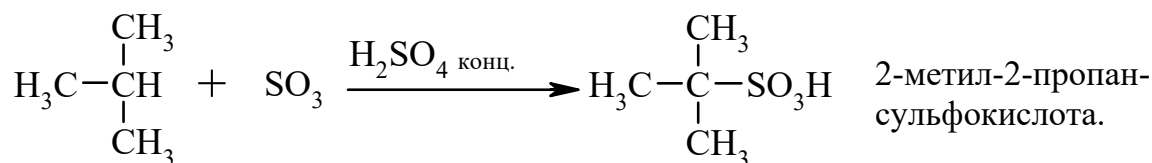


Найбільш поширеними сульфівними реагентами є:

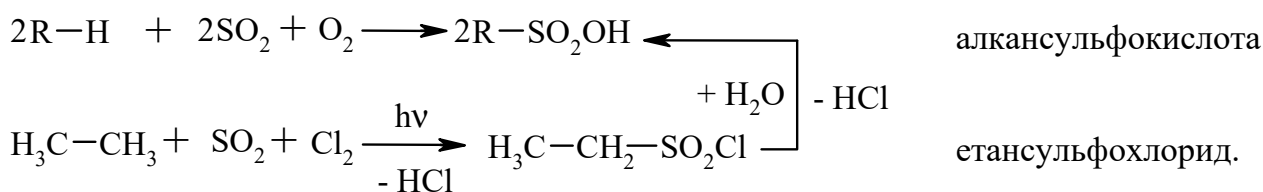
- концентрована сульфатна кислота ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  конц.);
- олеум ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \times \text{SO}_3$ );
- газова суміш для сульфоокиснення ( $\text{SO}_2 + \text{O}_2$ ).

Розглянемо деякі конкретні приклади реакції сульфування.

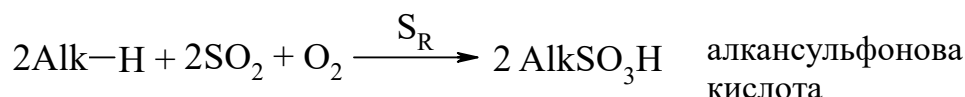
Пряме сульфування алканів за допомогою концентрованої  $\text{H}_2\text{SO}_4$  або олеуму відбувається лише для третинного атому Карбону:



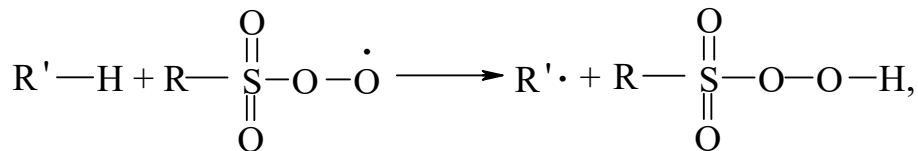
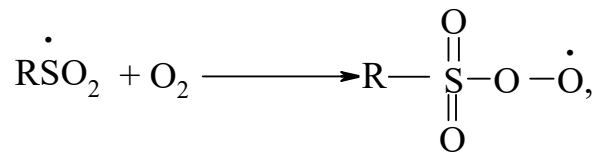
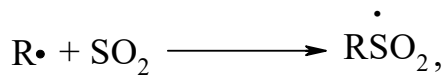
В промисловості широко використовується сульфоокиснення або сульфохлорування (*sulfochlorination*):



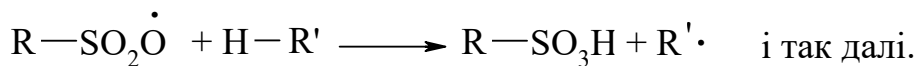
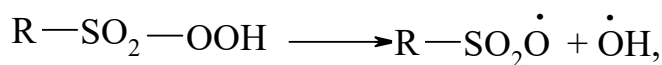
УФ-опроміювання або застосування ініціаторів радикального процесу сприяють проходженню реакції сульфоокиснення:



За механізмом це реакція радикального заміщення ( $\text{S}_R$ ) атома Гідрогену на сульфогрупу в алкані. Алкільний радикал R, який спочатку утворюється, в подальшому взаємодіє за схемою:

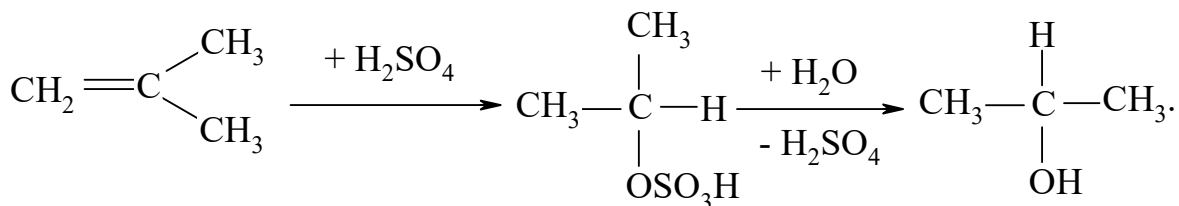


алканпероксисульфокислота



алкансульфокислота

Електрофільне приєднання сульфатної кислоти до алкенів проходить за правилом Марковнікова з утворенням кислих алкілестерів сульфатної кислоти, гідроліз яких приводить до утворення відповідних спиртів:



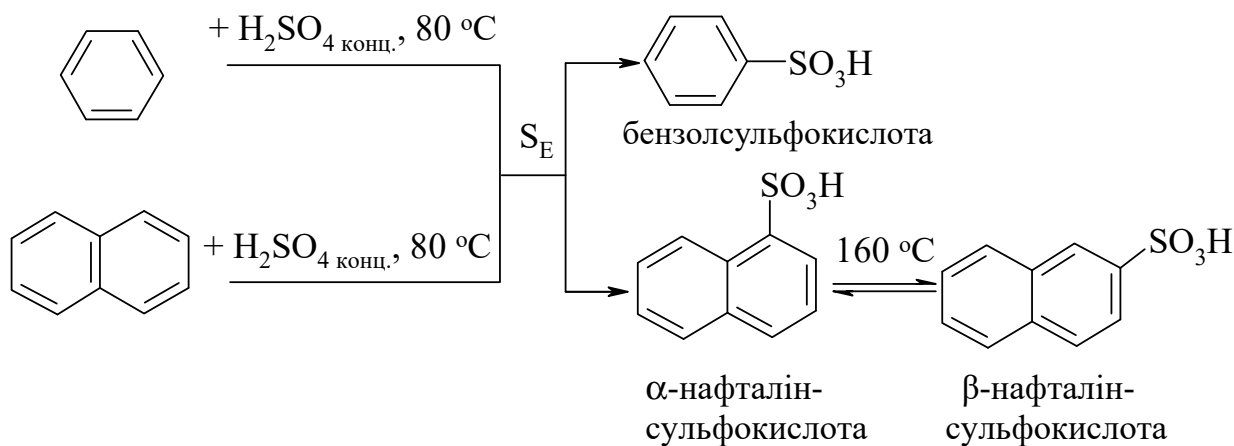
2-метилпропен

ізопропіловий  
естер сульфатної кислоти

пропанол-2

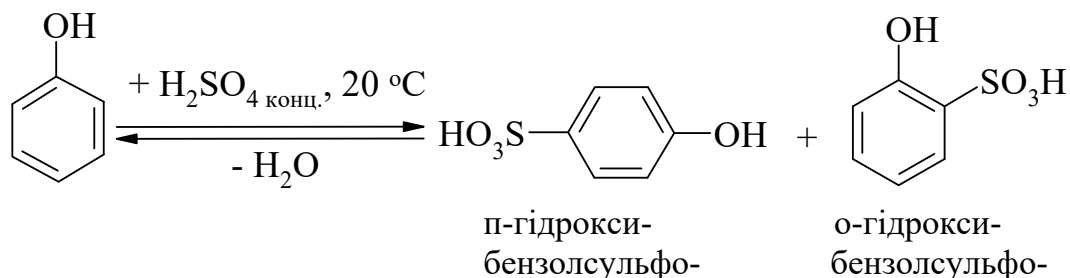
Таким методом в промисловості отримують етанол та пропанол-2.

Сульфування аренів проходить при дії концентрованої сульфатної кислоти за схемою:



Необхідно відмітити, що при нагріванні до 160 °С  $\alpha$ -нафталінсульфокис-лота переходить в  $\beta$ -ізомер.

Феноли легко сульфуються концентрованою сульфатною кислотою навіть за кімнатної температури:

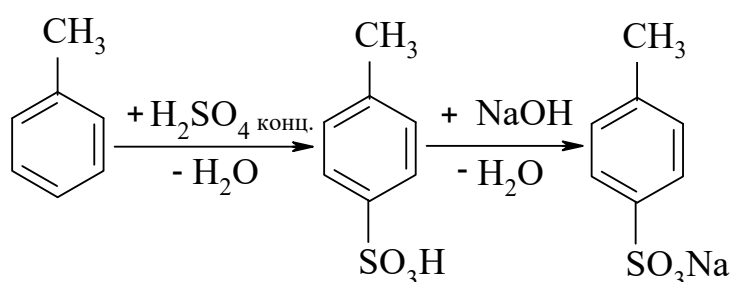


з наступною селективною ізомеризацією утвореної о-гідроксибензолсульфокислоти при нагріванні до 100 °С до п-ізомера. Так при температурі 20 °С утворюється 90% о-ізомеру і 10% п-ізомеру, а при 100 °С – 10% о-ізомеру і 90% п-ізомеру.

### Лабораторна робота № 15

#### Синтез натрій п-толуолсульфонату

Схема синтезу



Реактиви:

толуол	0,075 моль
сульфатна кислота ( $\rho = 1,84$ г/мл)	5 мл
натрій гідроген карбонат	4 г
натрій хлорид	10 г
натрій хлорид (насичений розчин)	10 мл

**Методика синтезу.** В круглодонну колбу на 200 мл вносять 0,075 моль толуолу і при перемішуванні невеликими порціями додають 5 мл сульфатної кислоти. Суміш перемішують впродовж 10 хв. Колбу з'єднують із зворотним холодильником і, струшуючи її через кожні 5 хв, нагрівають на електроплитці. Нагрівання продовжують протягом 30 – 40 хв при слабкому кипінні до зникнення шару толуолу.

**Виділення продукту.** Реакційну суміш охолоджують і теплою виливають в конічну колбу, заповнену 30 мл води. Кислий розчин частково нейтралізують, при додаванні невеликими порціями твердого натрій гідрогенкарбо-

нату (**обережно – вспінювання!**). Потім додають твердий натрій хлорид та нагрівають суміш до повного розчинення солі.

Гарячий розчин фільтрують через воронку для гарячого фільтрування. З охолодженого фільтрату кристалізується натрій п-толуолсульфонат. Кристалічний осад відділяють вакуумним фільтруванням на воронці Бюхнера, промивають 10 мл насиченого розчину натрій хлориду, висушують і зважують. Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
формула	Назва	М, г/моль	T <sub>кип</sub> , °C	T <sub>пл</sub> , °C	ρ, г/мл	n, моль	m, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

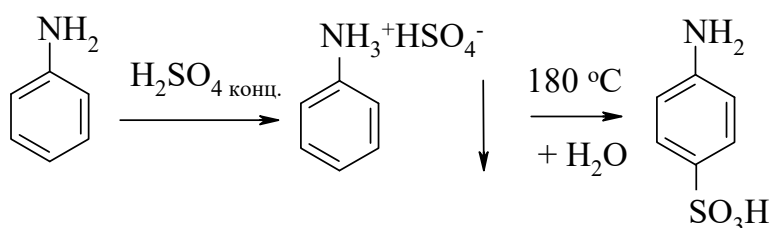
*Характеристика кінцевого продукту.* Натрій п-толуолсульфонат – безбарвна кристалічна речовина. Добре розчинна у воді, розчинна в етанолі, етері, гігроскопічна, на повітрі розпливається T<sub>пл</sub> = 107 °C, T<sub>кип</sub> = 140 °C.

*Використання.* Для виробництва п-крезолу, азобарвників, дезинфекційних відбілювальних речовин, хлораміну-Т.

### Лабораторна робота № 16

#### Синтез сульфанілової кислоти

*Схема синтезу*



*Реактиви:*

Анілін	0,05 моль
сульфатна кислота (ρ = 1,84 г/мл)	7 мл

*Методика синтезу.* В плоскодонну колбу з вузькою горловиною на 100 мл заливають 7 мл концентрованої сульфатної кислоти і при обережному перемішуванні невеликими порціями додають 0,05 моль аніліну (так, щоб він не потрапив на горловину колби). Колбу закріплюють над електроплиткою і опускають в неї термометр таким чином, щоб ртутна кулька термометра була



занурена у реакційну суміш (**колбу пробкою не закривати!**). Нагрівання продовжують протягом години при температурі 170 °С.

*Виділення продукту.* Гарячу реакційну суміш обережно виливають в колбу з 70 мл охолодженої води при постійному перемішуванні. Білий кристалічний осад сульфанілової кислоти відфільтровують під вакуумом на воронці Бюхнера, промивають на фільтрі холодною водою, перекристалізують з води і висушують на повітрі. При цьому виділяється кристалогідрат сульфанілової кислоти. При висушуванні у сушильній шафі (100 – 105 °С) утворюється безводна сульфанілова кислота.

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
формула	Назва	М, г/моль	T <sub>кип</sub> , °С	T <sub>пл</sub> , °С	ρ, г/мл	n, моль	m, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* Сульфанілова кислота – безбарвна кристалічна речовина. Важкорозчинна в більшості органічних розчинників і холодній воді. При температурі 100 °С втрачає кристалізаційну воду, при нагріванні до 280 °С розкладається без плавлення.

*Використання.* Для лабораторного визначення нітритів, Осмію, Рутенію, Церію (IV).

### Контрольні запитання

1. Яку реакцію називають реакцією сульфування? Назвіть найбільш поширені сульфівні реагенти.
2. Назвіть основні способи сульфування. Наведіть схеми реакцій.
3. Прямим сульфуванням яких алканів (бутану чи метилбутану) концентрованою сульфатною кислотою отримують алкансульфоокислоту? Наведіть відповідне рівняння реакції.
4. Наведіть схему реакції отримання сульфоокислоти з n-пропану.
5. За яким механізмом протікає реакція сульфоокиснення?
6. Наведіть схему сульфохлорування етану з наступним гідролізом отриманого продукту.
7. Який сульфівний реагент використовують при отриманні етанолу? Наведіть відповідні рівняння реакцій.

8. *Наведіть рівняння реакцій взаємодії 1-пропену з сульфатною кислотою та гідролізу отриманого продукту.*
9. *Наведіть схему реакції сульфування нафталіну. Який сульфівний реагент при цьому використовують?*
10. *За яких умов при сульфуванні фенолу отримують переважно п-гідроксибензолсульфокислоту? Наведіть схему реакції.*

# ХАРАКТЕРНІ РЕАКЦІЇ НА ДЕЯКІ КЛАСИ БІОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Біоорганічна хімія – розділ органічної хімії, який вивчає зв'язок між будовою органічних речовин і їх біологічними функціями, її об'єктами є біополімери ( вуглеводи, ліпіди, нуклеїнові кислоти, білки) природні і штучні біологічно-активні речовини. Характерною особливістю біоорганічних сполук є сполучення даних аналізу їх хімічної структури і просторової будови молекул окремих речовин з їх синтезом, а також вивчення механізмів дії в тісному зв'язку з їх біологічними функціями.

За біохімічною класифікацією всі біоорганічні сполуки можна поділити на біополімери та біорегулятори. До біополімерів належать складні вуглеводи, білки та нуклеїнові кислоти, до біорегуляторів — вітаміни, гормони, деякі природні й синтетичні біологічно активні сполуки, в тому числі лікарські речовини [12].

Як правило, більшість біоорганічних сполук - гетерофункціональні речовини, які за певними функціональними групами можна віднести до сполук, що були розглянуті раніше. Також існують ряд специфічних якісних реакцій для класів природних сполук, що не були розглянуті у розділі 4.

### 6.1. Естери і жири

Естери (складні ефіри) – найбільш багато чисельна група запашних речовин. Естери нищих жирних кабронових кислот та насичених спиртів мають фруктові аромати. Їх використовують як компоненти фруктових есенцій та як ароматизатори.

Будучи електрофільними реагентами, естери здатні вступати в реакції неклеофільного заміщення, реагуючи з водою (гідроліз), спиртами (алкоголіз), гідразинами (гідразинололіз) та ін.

Ліпіди, або жироподібні речовини – велика група природних органічних сполук, головним чином вищих аліфатичних кислот і спиртів. До простих, омилювальних ліпідів відносять естери гліцерину та вищих аліфатичних кислот. Такі сполуки ще називають триацилгліцеринами, або ж тригліцеридами. Жири містять дві або три головні кислоти і деякі інші кислоти в меншій кількості. Кислоти жирів — монокарбонові, мають нерозгалужений карбоновий ланцюг, як правило, з парним числом атомів Карбону.

#### Дослід 6.1. Гідроліз естеру

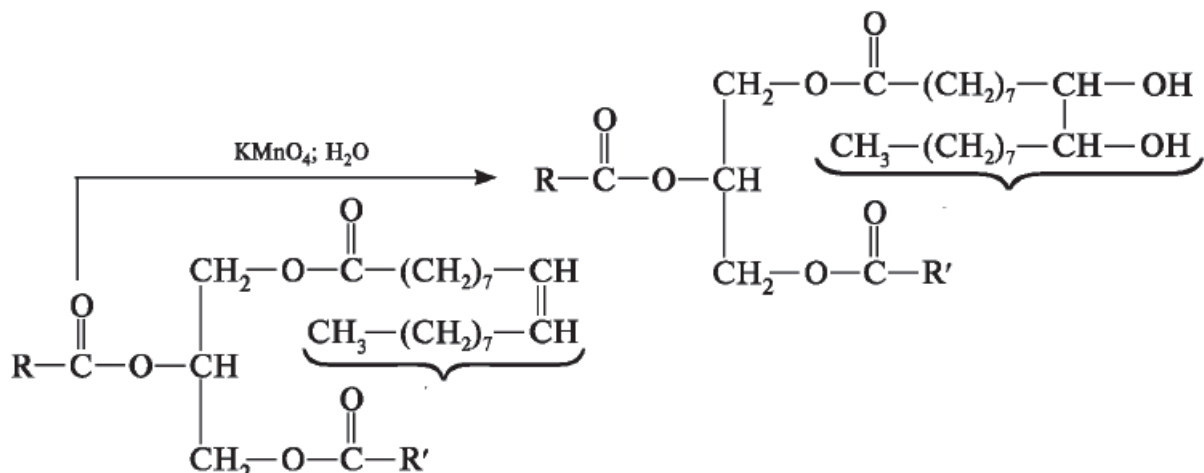
У пробірці змішують 2 мл естеру з 2 краплями розчину фенолфталеїну. До одержаної суміші додають 10 крапель 20%-го розчину гідроксиду натрію. Суміш забарвлюється в інтенсивний малиновий колір, який не зникає в процесі перемішування. Пробірку з реакційною сумішшю закривають пробкою з



Під час реакції також визначають, як швидко знебарвлюється бромна вода.

#### Дослід 6.4. Відношення рідких жирів до водного розчину перманганату калію

Дослід проводять у пробірці, в яку попередньо вносять 2–3 краплі соняшникової олії або іншого рідкого жиру. Потім у пробірку додають 3–4 краплі перманганату калію. Реакційну суміш в пробірці енергійно перемішують.

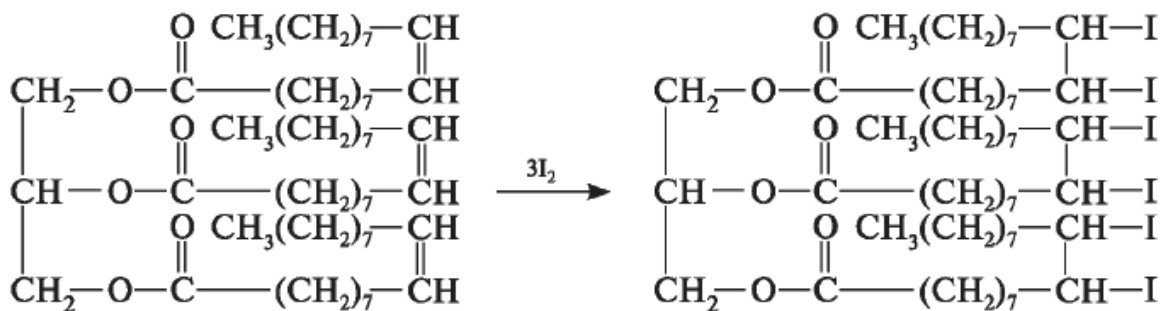


Реакція представлена на прикладі триолеїну

Визначають зміну забарвлення розчину перманганату калію.

#### Дослід 6.5. Визначення ненасиченості жиру пробою зі спиртовим розчином йоду

У конічну колбу місткістю 50 мл вносять 1 мл олії і 9 мл хлороформу, а потім 2 краплі 2%-го розчину крохмалю (0,04 г в 2 мл крохмалю). До одержаної суміші при перемішуванні додають із бюретки краплями 0,05%-й спиртовий розчин йоду до утворення синього забарвлення (або на поверхні суміші з'являється кільце синього кольору).



Реакція представлена на прикладі триолеїну

## Лабораторна робота № 17

### Синтез естерів. Гідроліз естерів і жирів.

**Завдання 1.** Виконати дослід 2, змішавши спирт, карбонову кислоту і концентровану сульфатну кислоту у кількісному співвідношенні, наведеному у табл. 5.1. Визначити запах утвореного продукту

Таблиця 6.1 – Співвідношення реагентів для реакції естерифікації

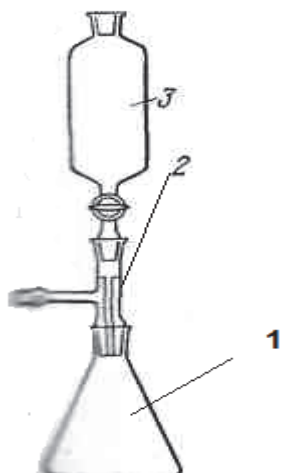
Варіант	Назва естеру	Запах	Об'єм вихідних продуктів, мл			Час гідролізу, хв.
			Карбонова кислота	Спирт	Сульфатна кислота	
1	Бутилформіат		2	1	0,5	
2	Етилацетат		2	2	1,0	
3	Бутилацетат		2	1	0,5	
4	Амілацетат		2	1	0,5	
5	Ізоамілацетат		2	1	0,5	
6	Етилізовалеріат		2	2	0,5	

Здійснити гідроліз отриманого естеру, виконуючи дослід 1. Встановити час гідролізу.

**Завдання 2.** Виконати омилення жиру (чи олії), встановити число омилення і порівняти отримане число з теоретичними відомостями.

Таблиця 6.2. – Речовини до омилення

Варіант	Жир	Варіант	Олія
1	Свинячий	5	Оливкова
2	Баранячий	6	Пальмова
3	Курячий	7	Соняшникова
4	Лій	8	Гарбузова



У конічну колбу місткістю 50 мл приладу для омилення жирів вносять 2-3 г твердого жиру, попередньо зваженого. Колбу закривають пробкою з ділильною лійкою, що має шкалу об'єму, в лійку наливають спиртовий розчин лугу (макс. 15 мл), встановлюють на мішалку і закріплюють на штативі. Вмикають нагрів мішалки (близько 70°C), прогрівають колбу при низьких обертах мішалки 1-2 хвилини. Поступово вливають (по 2-4мл) розчину з ділильної лійки, після при-

Рисунок 6.1. – Прилад для омилення.  
1-термостійка колба; 2- відвідна трубка для аналізу фільтрату; 3- градуйована ділильна воронка.

ливання кожної порції обертають 5 хв. Щоб встановити, чи закінчилось омилення жиру, кілька крапель гідролізату добавляють до 2-3 мл гарячої дистильованої води. Якщо гідролізат розчиняється повністю без виділення крапель жиру, омилення можна вважати закінченим, фіксують час омилення та об'єм прилитого спиртового розчину лугу. Після закінчення омилення в реакційну колбу добавляють 10 мл гарячого насиченого розчину хлориду натрію. При цьому натрієві солі вищих карбонових кислот висолюються і спливають, утворюючи на поверхні реакційної суміші шар. Після охолодження реакційну суміш фільтрують. На фільтрі залишається тверде мило.

Визначають число омилення, як кількість мг КОН на 1 г жиру. Результати розрахунку вносять у таблицю.

Таблиця 6.3 – Результати омилення

Маса жир, г	Об'єм спиртового розчину КОН, мл	Маса КОН в визначеному об'ємі розчину, мг	Число омилення, мг/г

### Контрольні запитання

1. Як називають естери за систематичною номенклатурою?
2. Наведіть приклади структурних формул ізомерних етерів, естерів.
3. Які лабораторні і промислові методи синтезу естерів вам відомі? Наведіть приклади відповідних хімічних реакцій.
4. Хімічні властивості естерів.
5. Напишіть структурні формули естерів, що мають значення для промисловості, медицини і ветеринарії. Вкажіть їх практичне використання.
6. Чим відрізняються за своїм складом тверді жири від рідких? Як перетворити рідкий жир у твердий?
7. Що таке мило? Чим відрізняються один від одного за своїм складом тверді та рідкі мила?
8. Загальна біологічна характеристика ліпідів.
9. Що таке «гідкнення жирів»? Які його причини? Як запобігти такому явищу?

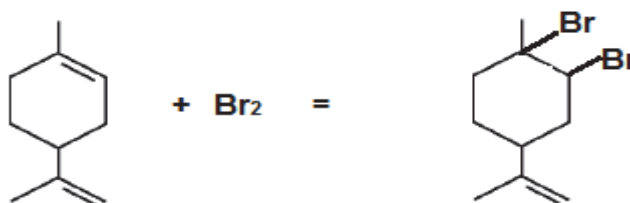
### 6.2. Терпени (Неомилювальні ліпіди)

Терпени — природні сполуки, молекули яких побудовані з ізопренових фрагментів. До терпенів належать як вуглеводні, так і їх функціональні похідні (терпеноїди) – терпенові спирти, альдегіди, кетони. Терпени є складовою частиною ефірних олій рослинного походження (трояндова, цитринова, м'ятна, лимонна, гвоздична тощо), смоли хвойних дерев (скипидар) [11,12].

Терпени поділяються на ациклічні, моноциклічні, біциклічні, трициклічні тощо. До основних моноциклічних терпенів належать похідні повністю або частково гідрованого *n*-цимолу: ментан, лімонен, терпінени, ментол тощо. За правилами IUPAC найпростішим циклічним терпенам надаються напівсистематичні назви з фіксованою нумерацією атомів Карбону циклу. У зв'язку з громіздкістю таких назв здебільшого вживаються емпіричні назви.

### Дослід 6.6. Бромовання терпенів

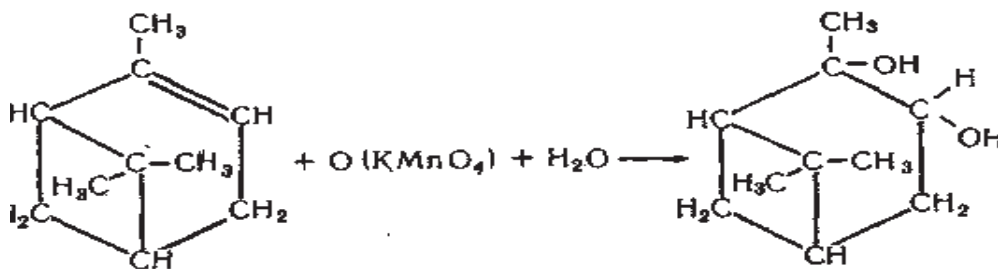
У пробірку наливають 0,5 мл бромної води та додають декілька крапель (чи кристалів) терпену. Суміш знебарвлюється при наявності у терпену ненасичених зв'язків.



Реакція представлена на прикладі лімонену

### Дослід 6.7. Окислення терпенів

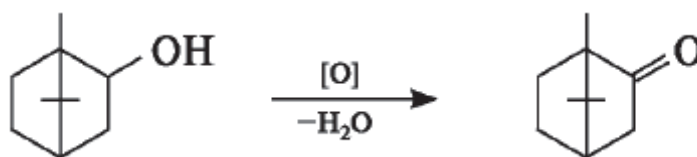
У пробірку наливають 0,5 мл розчину калій перманганату додають 1 краплю розведеної сульфатної кислоти та декілька крапель (чи кристалів) терпену. Суміш збовтують. Реакція відбувається для ненасичених терпенів і терпеноїдів з гідроксигрупою, при цьому спостерігають рожеве забарвлення, або утворення бурого осаду.



Реакція представлена на прикладі  $\alpha$ -пінену

### Дослід 6.8. Окислювальна дегідратація терпенів

Реакція характерна для терпенів, що є вторинними спиртами. До 0,5мл спиртового розчину (2:1) терпену 5 краплин 5%-го розчину хромату калію та 5 краплин 30% -го розчину нітратної кислоти. При охолодженні суміш синіє.

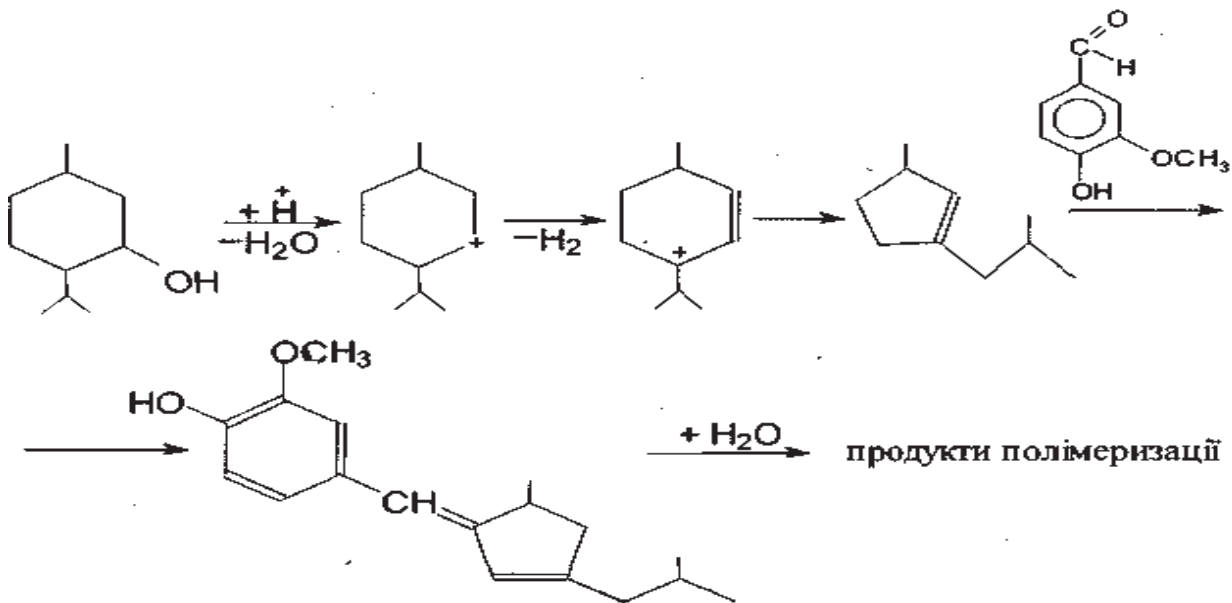


Реакція представлена на прикладі борнеолу

### Дослід 6.9. Якісна реакція терпінових спиртів



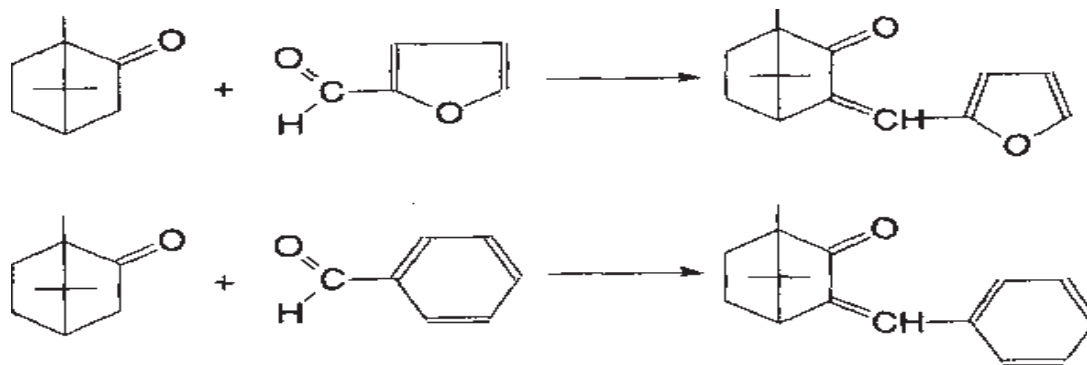
До насиченого розчину терпену додають розчин ваніліну і по краплям концентровану сульфатну кислоту. Утворене жовте забарвлення змінюється на червоне при додаванні надлишку води.



Реакція представлена на прикладі ментолу

### Дослід 6.10. Якісна реакція терпенових кетонів

На предметне скло наносять 2 краплі фурфуролу, додають 1-2 краплі спиртового розчину терпену та розмішують. Кольорову реакцію конденсації також можливо здійснити з іншими альдегідами, наприклад, з бензальдегідом.



Реакції представлена на прикладі камфори

У реакції з фурфуролом спостерігають фіолетове забарвлення, а з бензальдегідом – червоне.

## Лабораторна робота №18

### Якісний функціональний аналіз терпенів та терпеноїдів

**Завдання 1.** Виконати досліди 6-9. Виявити функціональні групи  $-OH$ ,  $=C=O$  та подвійний зв'язок для речовини, згідно варіанту (табл. 5.5), результати досліджень занести до табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Якісні реакції на сульфуровмісні сполуки

Функціональна група, ненасичений зв'язок	Реагент	Якісна реакція	Спостереження

**Завдання 2.** Використовуючи вміння та навички, отримані при виконанні попереднього завдання, визначити основні елементи структурної формули заданої речовини. Результати порівняти з структурною формулою речовини.

Таблиця 6.5 – Досліджувані сполуки

Варіант	Речовини	-ОН – група (+/-)	=C=O – група (+/-)	= -зв'язок (+/-)	Формула речовини з літ. джерел
1	Лімонен				
2	Ментон				
3	Ментол				
4	$\alpha$ -пінен				
5	Терпінеол				
6	Терпінгідрат				
7	Камфора				

### Контрольні запитання

1. Що таке терпени і терпеноїди? Назвіть основні з них та напишіть їх структурні формули.
2. Ізомеризація терпеноїдів.
3. Наведіть приклади ациклічних терпенів. Напишіть їх структурні формули.
4. Моноциклічні терпени (ментан, ментол, лімонен, терпін), їх хімічні властивості.
5. Біциклічні терпени. Камфора, борнеол, пінне – синтез і хімічні властивості.
6. Напишіть схеми промислового синтезу камфори синтетичної, ментолу, терпіну.

### 6.3. Білки

Білки — це складні нітрогеновмісні високомолекулярні сполуки, біополімери, утворені залишками  $\alpha$ -амінокислот, що з'єднані у певній послідовності пептидними зв'язками.

Білки широко розповсюджені у природі як складові речовин усіх живих організмів — містяться в ядрі та протоплазмі всіх тваринних і рослинних клітин. У природі існує приблизно від  $10^{10}$  до  $10^{12}$  різних білків, які складають основу  $1,2 \cdot 10^6$  видів живих організмів, починаючи від вірусів і закінчуючи людиною.

Білки класифікують за походженням, загальним типом структури, біологічною функцією, хімічним складом тощо.

За хімічним складом білки поділяють на дві групи — прості (протеїни) і складні (протеїди). Прості білки під час гідролізу утворюють тільки  $\alpha$ -амінокислоти. Складні білки в результаті гідролізу утворюють, крім амінокислот, речовини небілкової природи, так звані простетичні групи (вуглеводи, ліпіди, барвники, фосфатну кислоту, нуклеїнові кислоти тощо).

За фізіологічними функціями білки поділяють на два класи: фібрилярні та глобулярні. Із фібрилярних білків, що мають волокнисту структуру, оскільки утворені ниткоподібними молекулами, побудовані волокна живих тканин. До них належать білок волосся — кератин, білок шовку — фіброїн, білок м'язів — мізін, білок крові — фібрин тощо. Глобулярні білки підтримують і регулюють життєві процеси, їх молекули мають кулеподібну чи овальну форму. Більшість із них розчинні у воді. До них належать альбуміни і глобуліни сироватки крові, білки молока, яєць, ферменти, багато гормонів, зокрема інсулін підшлункової залози тощо.

У структурі будь-якого білка є декілька ступенів ускладнення. Згідно з пептидною теорією будови білків розрізняють первинну, вторинну, третинну і четвертинну структури білка.

**Первинна структура білка** - це специфічна послідовність амінокислот у поліпептидному ланцюгу. Кожен білок має свою послідовність чергування амінокислотних ланок — певну первинну структуру. Головний ланцюг білкових молекул однаковий для всіх білків, і відрізняються вони тільки відгалуженнями.

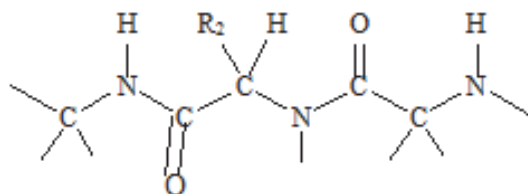


Рисунок 6.2 – Фрагмент поліпептидного ланцюга білкової молекули

Будь-який вид живих організмів характеризується індивідуальним набором білків, який визначається спадковою інформацією, закодованою в ДНК.

**Вторинна структура** - просторова структура поліпептидного ланцюга, стабілізована водневими зв'язками між полярними групами  $-\text{CO}-\text{NH}-$ , що забезпечує максимальну стабільність молекули білка.

Вторинна структура існує у двох конформаціях —  $\alpha$  і  $\beta$ . Більш характерною для білків є  $\alpha$ -конформація ( $\alpha$ -спіраль), для якої на один виток спіралі припадає 3,6 амінокислотних залишки незалежно від природи амінокислоти (рис. 7.2 а). Так, водневий зв'язок утворюється між кожною першою і четвертою  $-\text{CO}-\text{NH}-$  пептидними групами. Спіраль має переважно праве обертання. Діаметр спіралі становить 10,5 Å, відстань між витками становить 5,5 Å. Бічні замісники амінокислот знаходяться із зовнішнього боку  $\alpha$ -спіралі. Розтягуванням  $\alpha$ -конформації утворюється  $\beta$ -конформація (або структура за типом складчастого шару) лінійної будови, де поліпептидні ланцюги також сполучені між собою водневими зв'язками і розміщуються паралельно один одному. Така вторинна структура характерна для деяких фібрилярних білків, наприклад, фіброїну шовку, білків волосся, вовни тощо.

**Третинна структура** - це тривимірна конфігурація, яка визначає просторову форму білкової молекули й утворюється завдяки водневим, іонним  $-\text{R}_3\text{N}^+\text{O}^-\text{CO}-$ , дисульфідним  $-\text{S}-\text{S}-$  і гідрофобним зв'язкам між поліпептидами.

В організації третинної структури велику роль відіграють радикали аміно-кислот. Загальною ознакою просторового розміщення залишків амінокислот у третинній структурі білка є локалізація гідрофобних груп усередині молекули, а гідрофільних — на її поверхні.

**Четвертинні структури** визначають тип взаємодії між окремими ланцюгами для молекул білків, які складаються з декількох поліпептидних ланцюгів. Формування четвертинної структури здійснюється завдяки нековалентним (водневим, гідрофобним, іонним тощо) зв'язкам між третинними структурами. До білків з четвертинною структурою відносять гемоглобін, віруси тютюнової мозаїки і жовтої мозаїки ріпи, деякі ферменти. Так, у молекулі інсуліну два пептидні ланцюги з'єднані між собою двома дисульфідними містками.

### Дослід 6.11. Буферні властивості білків

1 мл розчину хлоридної кислоти концентрацією 0,01 моль/л додати декілька крапель розчину індикатору конго і спостерігати утворення яскраво-синього розчину. В одержаний розчин по краплях додати до 2...3 мл розчину білка. Забарвлення індикатору змінюється.

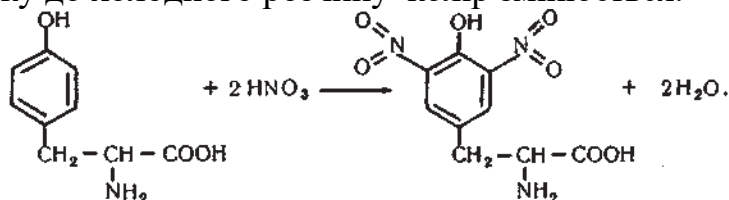
До розчину натрій гідроксиду концентрацією 0,01 моль/л додати декілька крапель розчину фенолфталеїну — розчин забарвлюється на яскраво-рожевий колір. Після додавання цього розчину до розчину білка забарвлення зникає.

**Звернути увагу!** Зміна забарвлення індикаторів відбувається завдяки буферним властивостям білка, який може зв'язувати як гідроген-, так і гідроксид-

іони. У першому випадку білок знижує кислотність, у другому — основність системи.

### Дослід 6.12. Ксантопротеїнова реакція

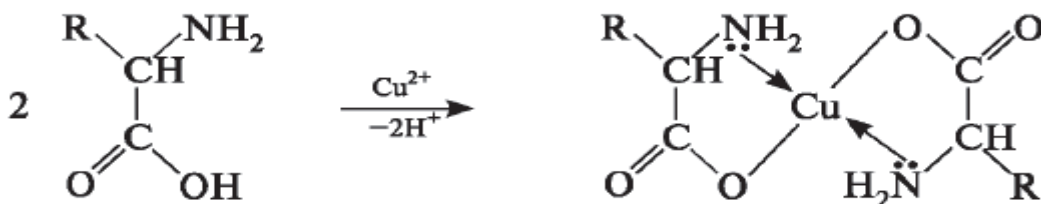
3 - 5 мл білка нагрівають з 1 - 2 мл концентрованої азотної кислоти. При цьому випадає жовтий осад, що обумовлений нітруванням ароматичних груп. При доливанні аміаку до холодного розчину колір змінюється.



Амінокислотний залишок з ароматичним ядром представлений на прикладі тирозину

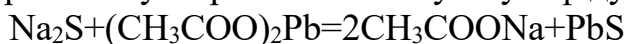
### Дослід 6.13. Біуретова реакція

У пробірці 3 мл розчину білка нагрівають з 2 мл розчину гідроксиду натрію та декількома краплями розчину сульфату купруму. При цьому розчин змінює забарвлення на фіолетово-синій. Реакція на наявність пептидних груп. Визначають, чи змінюється колір розчину при його нагріванні і охолодженні.



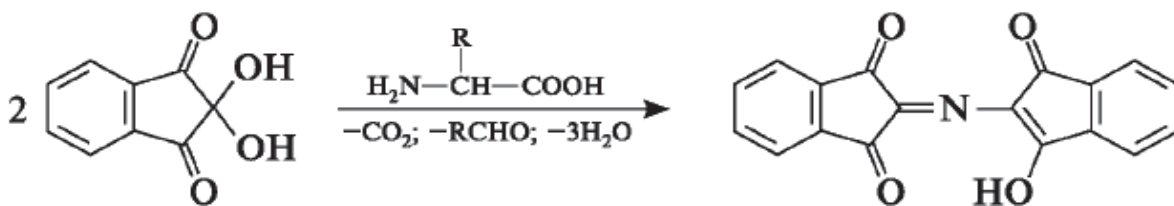
### Дослід 6.14. Реакція Фоля на наявність Сульфуру

У пробірку наливають 0,5 мл розчину ацетату плумбуму і по краплям доливають розчин гідроксиду натрію до розчинення утвореного гідроксиду плумбуму. До нього доливають 2-3 краплі розчину білка. Суміш перемішують та обережно нагрівають до кипіння 2-3 хвилини. При цьому спостерігають характерне темне забарвлення утвореного плумбум сульфиду.



### Дослід 6.15. Нінгідрінова реакція

В пробірку наливають 2-3 мл розчину білка, 2-3 мл розчину нінгідрину і нагрівають до кипіння. Яскраво-червоне забарвлення з'являється через 2-3 хвилини після нагрівання.



### Дослід 6.16. Реакція висолювання білків

В пробірку наливають 2-3мл розчину білка, 2-3мл розчину сульфату амонію, перемішують, якщо висолювання не відбулося то нагрівають до кипіння.

**Дослід 6.17. Осадження білка під час нагрівання (термічна денатурація білка)**

На водяній бані нагріти до кипіння 2 мл розчину білка.

*Занотувати спостереження.* Пояснити, які зміни в структурі білка відбуваються під час нагрівання і чи є оборотною термічна денатурація.

**Дослід 6.18. Денатурація білка мінеральними кислотами**

У три пробірки налити по 1 мл розчину білка та додати по краплях у першу пробірку 0,5 мл концентрованої сульфатної кислоти, другу - 0,5 мл концентрованої хлоридної, третю - 0,5 мл концентрованої нітратної кислоти.

*Занотувати спостереження.* Визначити, як діють на білок перші краплі кислот і надлишок кожної кислоти. Перевірити, чи розчиняються у воді осаді, які утворилися, і зробити відповідний висновок.

**Лабораторна робота №19**

**Властивості білків**

**Завдання 1.** Виконати досліди 10-17 для речовини, що обрана з таблиці 6.6. Описати спостереження. Для написання реакцій використовують фрагменти первинної білкової структури, або ж загальну формулу  $\alpha$ -амінокислот, до яких білки гідролізують за умовами більшості дослідів.

Таблиця 6.6– Розчини білків, білкових модифікаторів та препарати для проведення лабораторної роботи

Варіант	Речовина	Варіант	Речовина
1	Казеїн, 10%-ий розчин	4	Препарат кератину, 20%-ий розчин
2	Желатин, 1%-ий розчин	5	Препарат підшлункової залози ВРХ, 15%-ий водний розчин
3	Інсулін, медичний препарат	6	Водний розчин яєчного білку

Таблиця 6.7– Якісні реакції на білки

Назва досліджу	Реагент	Якісна реакція	Спостереження

**Завдання 2.** Приготуват 9 сухих пронумерованих пробірок. До першої відміряти 3,2 мл 1М розчину оцтової кислоти та 6,8 мл води, а до наступних по 5 мл води. Потім з першої пробірки після перемішування перенести 5 мл розчину до другої, а з другої перенести 5 мл розчину до третьої і т.д. До кожної пробірки також додати по 1 мл розчину казеїну і 1 мл 1М розчину соди і ще раз перемішати. Виміряти рН кожного розчину. Результати вимірювань рН та ступінь осадження білку в розчинах заносять у таблицю 6.8.

Таблиця 6.8– Результати вимірювання рН розчинів

Номер розчину	рН	Помутніння / осад	(-) – відсутність помутніння і осаду (+) – помутніння (++) – помутніння і осад (+++) – найбільша кількість осаду
1			
2			
4			
5			
6...9			

Значення рН при найбільшій кількості осаду відповідає ізоелектричній точці казеїну.

### Контрольні запитання

1. *Особливості синтезу пептидів. Реакції поліконденсації амінокислот*
2. *Напишіть структурні формули двох трипептидів, ізоелектричні точки яких знаходяться у слабкокислому, (нейтральному) середовищі. Відповідь обґрунтуйте.*
3. *Напишіть структурні формули трипептидів, ізоелектрична точка яких знаходиться у лужному середовищі. Відповідь обґрунтуйте.*
4. *Напишіть схеми реакції гідролізу тетрапептиду: лейцил-треоніл-цистеїл-аргініну.*
5. *Напишіть схеми реакції гідролізу тетрапептиду: лізил-метіоніл-валін-триптофану.*
6. *Напишіть схеми реакції гідролізу тетрапептиду: серил-ізолейцил-лізил-*

цистеїну.

7. Розкрийте положення пептидної теорії будови білків щодо первинної структури як першого ступеня ускладнення білкової молекули.
8. Наведіть характеристики хімічних властивостей білків.
9. Поясніть способи захисту функціональних груп з метою синтезу поліпептидів і розкрийте їх на прикладі одержання дипептиду аланіл-валіну.

#### 6.4. Вуглеводи

**Вуглеводи** – органічні сполуки, молекула яких найчастіше складається з трьох хімічних елементів – карбону, кисену та гідрогену – в такому кількісному співвідношенні, що на один атом карбону припадає одна молекула води. За хімічними властивостями вуглеводи є багатоатомними альдегідо- і кетоспиртами.

**Моносахариди** (монози) — це прості вуглеводи, які не здатні гідролізуватися з утворенням більш простих молекул вуглеводів.

Моносахариди — кристалічні речовини, більшість яких має склад, що від- повідає загальній формулі  $C_nH_{2n}O_n$  (де  $n=3-9$ ), добре розчинні у воді, солодкі на смак, оптично активні.

Залежно від кількості атомів Оксигену в молекулі моносахариди поділяють на тетрози  $C_4H_8O_4$  ( $n=4$ ), пентози  $C_5H_{10}O_5$  ( $n=5$ ), гексози  $C_6H_{12}O_6$  ( $n=6$ ) та ін.

Залежно від розміщення карбонільної групи в молекулі моносахариди поділяють на альдози, що свідчить про наявність альдегідної групи, і кетози - наявність кетогрупи.

Моносахариди є оптично активними сполуками, що зумовлено наявністю в їх молекулах хіральних атомів Карбону. Методом прямого рентгеноструктурного аналізу доведено, що у кристалічному стані молекули моносахаридів мають циклічну будову у вигляді піранозних (шестичленних) і фуранозних (п'ятичленних) циклів. Назви циклів походять від назв відповідних оксигеновмісних гетероциклічних сполук «піран» і «фуран». Карбонільний атом Карбону в циклічній формі молекули стає хіральним. Цей новий хіральний центр називається аномерним, а гідроксильна група, яка сполучена з ним, — напівацетальною або глікозидною. Залежно від розміщення глікозидного гіроксилу відносно аномерного центру визначають  $\alpha$ - і  $\beta$ -форми - аномери. Якщо в проєкційній формулі Фішера напівацетальна група – ОН розташована з того самого боку, що й гідроксильна група, яка визначає конформацію молекули (приналежність до D- або L-ряду), утворюється  $\alpha$ -аномер, якщо з різних боків —  $\beta$ -аномер.

Під час розчинення моносахарів у воді спостерігаються таутомерні перетворення, які зумовлюють стан динамічної рівноваги суміші кількох форм молекул моносахаридів. Для моносахаридів також є характерним явище мутаротації.

**Олігосахариди**, або цукроподібні вуглеводи, молекули яких в умовах гід- ролізу розкладаються на декілька молекул моносахаридів (від 2 до 10



молекул). Найважливішими з них є *дисахариди*, загальна формула яких  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Дисахаридами називаються олігосахариди, молекули яких приєднуючи молекулу води, розкладаються на дві молекули моносахаридів.

За будовою і хімічними властивостями дисахариди поділяють на дві групи. До першої групи належать дисахариди, молекули яких утворені за рахунок взаємодії глікозидного гідроксилу молекули першого моносахариду й одного із спиртових гідроксилів молекули другого моносахариду. Молекули цих дисахаридів мають один глікозидний гідроксил, за рахунок якого вони здатні до цикло-ланцюгової таутомерії з одержанням альдегідної групи, існують у відповідних формах і здатні до мутаротації. Подібно до моносахаридів вони виявляють відновні властивості - відновлюють деякі метали з їх оксидів під час перебігу реакцій окиснення. Такі дисахариди називають відновлюючими, а зв'язок між залишками моносахаридів у їх молекулах - глікозидглікозним. До них належать мальтоза, целобіоза, лактоза тощо. До дисахаридів другої групи належать дисахариди, молекули яких утворені за рахунок взаємодії глікозидних гідроксилів обох молекул моносахаридів. Молекули цих дисахаридів не мають жодного глікозидного гідроксилу, не відновлюють оксиди металів, не здатні до мутаротації та існують тільки в циклічних формах. Такі дисахариди називаються невідновлюючими, а зв'язок у молекулі - глікозид-глікозидним. До них належать сахароза, трегалоза тощо.

*Полісахариди* - високомолекулярні нецукроподібні природні вуглеводи, молекули яких містять велику кількість за лишків моносахаридів, що сполучені глікозидними зв'язками. Ці зв'язки утворені за рахунок глікозидного гідроксилу попереднього залишку моносахариду і спиртового гідроксилу другої молекули моносахариду в  $\alpha$ - або  $\beta$ -формі.

Полісахариди - складова частина рослинних і тваринних клітин. Полісахариди виконують роль конструкційних матеріалів клітин, вони є постачальниками енергії, багато з них виявляють фізіологічну активність. Значна їх кількість концентрується в насінні, бульбах, корінні рослин. Полісахариди не солюють на смак, у воді не розчиняються, а утворюють колоїдні розчини.

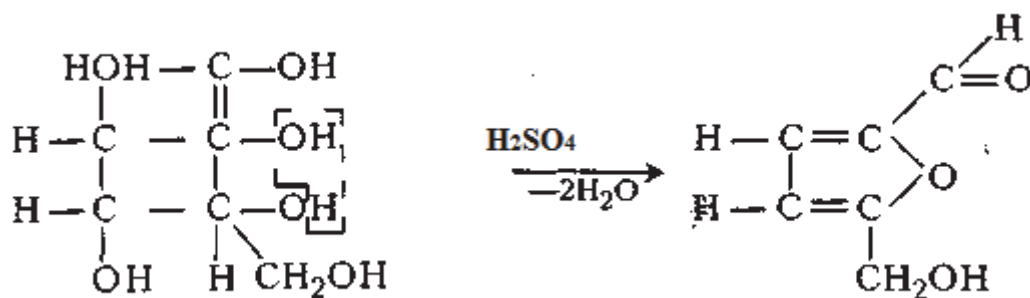
Залежно від хімічного складу розрізняють гомополісахариди і гетерополісахариди. В умовах гідролізу гомополісахариди утворюють однакові, а гетерополісахариди - різні за природою моносахариди.

В утворенні полісахаридів можуть брати участь як пентози, так і гексози. У першому випадку утворюються пентозани: арабани з арабінози, ксилани з ксилози тощо. У другому випадку - гексозани. Гексозани мають найбільше значення, найважливішими представниками яких є: крохмаль, целюлоза (клітковина) і глікоген, побудовані із глюкози; інουλін - із фруктози. Склад будь - якого з них позначається загальною формулою  $(C_6H_{10}O_5)_x$ , де  $x$  - величина порядку сотень і тисяч.

### **Дослід 6.19. Якісна реакція Подобєдова–Моліша**

У пробірці змішати 1 мл розчину моносахариду з однією краплею розчину  $\alpha$ -нафтолу. Помутніння суміші пояснюється слабкою розчинністю  $\alpha$ -нафтолу у воді. Потім обережно, по стінці пробірки долити 1 мл концентрованої сульфатної кислоти.

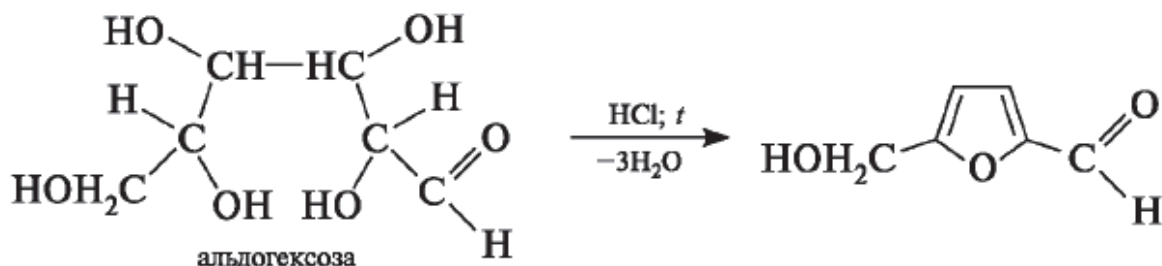
Реакція Подобедова–Моліша характерна для всіх гексоз, що пояснюється розкладанням їх молекул під дією концентрованої сульфатної кислоти з утворенням 5-оксиметилфурфурулу та його подальшої конденсації з  $\alpha$ -нафтолом. При цьому утворюються сполуки з характерним забарвленням.



Реакція представлена на прикладі фруктози

#### Дослід 6.20. Якісна реакція на кетогексози — реакція Селіванова

До 0,5 мл розчину вуглеводу додати 1 мл реактиву Селіванова (розчин резорцину у хлоридній кислоті) і нагріти суміш упродовж 2 хв на водяній бані.



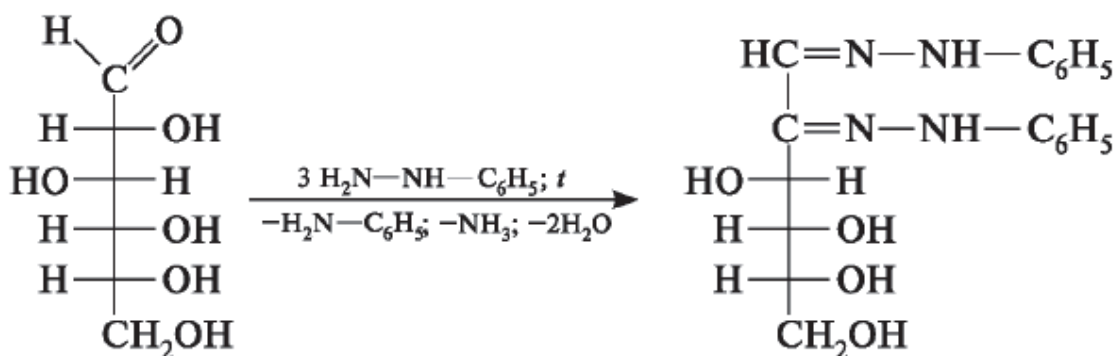
Утворений 5-гідроксиметилфурфурул дає червоне забарвлення з резорцином.

**Звернути увагу!** В умовах нагрівання з хлоридною кислотою фруктоза (кетогексоза) перетворюється на 5-оксиметилфурфурул, який вступає в реакцію конденсації з резорцином, у результаті чого утворюється забарвлена сполука. Для глюкози (альдогексози) також характерні аналогічні перетворення, але відбуваються вони у 15–20 раз повільніше.

#### Дослід 6.21. Утворення озонів моносахаридів

У пробірку налити 1 мл розчину моносахариду, додати близько 0,2 г сухої суміші хлороводневого фенолгідазину з ацетатом натрію. Суміш прогріти на водяній бані протягом 8...10 хв.

Дослідити під мікроскопом кристали озону, що утворилися під час повільного охолодження суміші.

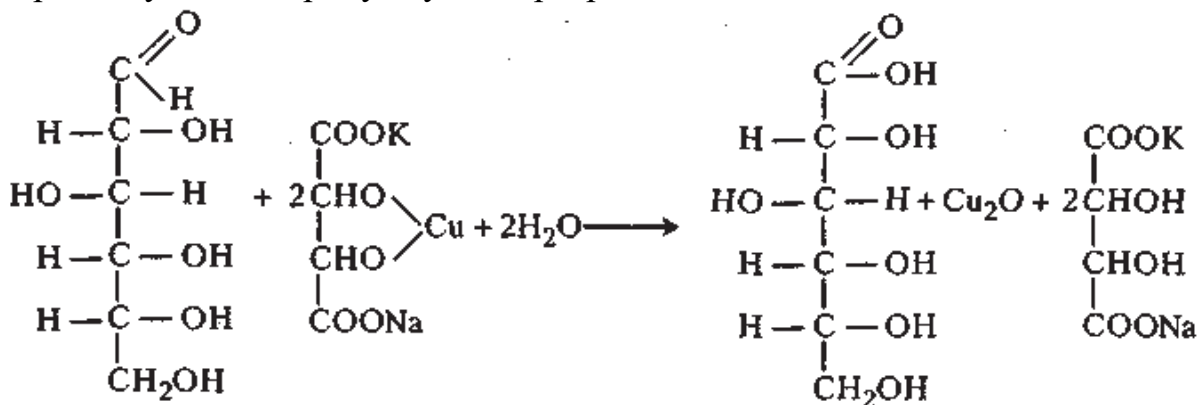


Реакція представлена на прикладі D-глюкози

Відновлюючі дисахариди також здатні утворювати озаони на даних умовах.

### Дослід 6. 22. Окиснення моносахаридів реактивом Фелінга

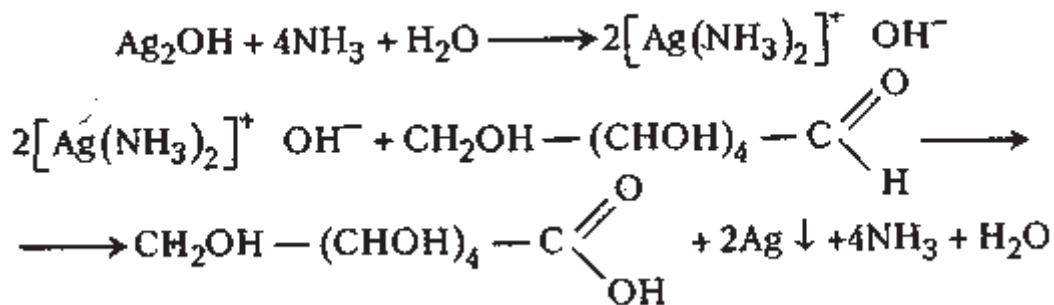
Змішати у пробірці 1 мл розчину Фелінг-I (5% розчин купрум(II) сульфату) з 1 мл розчину Фелінг-II (лужний розчин сегнетової солі). До одержаного темно-синього прозорого розчину реактиву Фелінга долити 1 мл розчину моносахариду. Суміш прогріти на водяній бані.



Реакція з реактивом Фелінга характерна і для відновлюючих дисахаридів з вільною альдегідною групою. Поява червоного забарвлення обумовлена відновленням  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  до  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

### Дослід 6.23. Окиснення моносахаридів амоніачним розчином аргентум(I) оксиду — реакція «Срібного дзеркала»

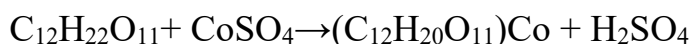
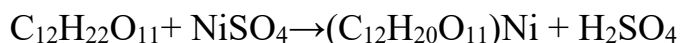
У ретельно вимиту пробірку налити 2...3 мл розчину аргентум нітрату і, струшуючи, додати по краплях розчин амоніаку до розчинення осаду, утвореного спочатку (надлишок амоніаку у розчині знижує чутливість реакції). Потім до одержаного амоніачного розчину аргентум(I) гідроксиду долити 1 мл водного розчину альдози, або 1-2 мл лужного розчину кетози. Суміш нагріти на водяній бані. Під час нагрівання пробірку не струшувати, оскільки металічне срібло може виділитися не на стінках пробірки, а у вигляді темного осаду.



Реакція відбувається і для відновлюючих дисахаридів, що містять альдегідну групу

#### Дослід 6.24. Взаємодія дисахаридів з нікель- і кобальт сульфатами

У пробірці змішати 4 мл розчину дисахариду з 2 мл розчину натрійгідроксиду. Утворений розчин розлити у дві пробірки, в одну з яких додати декілька крапель розчину нікол(II) сульфату, а в другу — декілька крапель розчину кобальт(II) сульфату. Для реакцій характерне забарвлення.

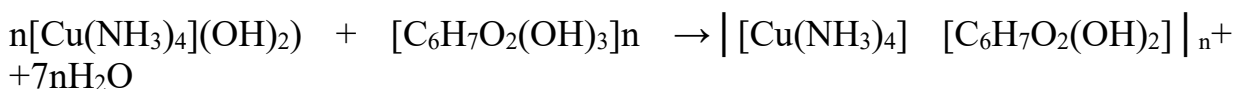


#### Дослід 6.25. Утворення меланоїдинів (реакція Майяра)

У пробірці змішати близько 0,5 г кристалічного відновлюючого дисахариду з такою ж кількістю кристалічної амінокислоти (гліцину або аланіну). Додати 2–3 краплі води, перемішати й обережно нагріти суміш на спиртівці до появи коричневого кольору. Після охолодження долити 2...3 мл води. Описати властивості меланоїдину: колір, запах, розчинність у воді.

#### Дослід 6.26. Розчинення полісахаридів у реактиві Швейцера

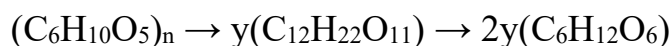
У пробірку помістити невелику кількість целюлози (чи іншого полісахариду) і долити близько 1 мл реактиву Швейцера (амоніачний розчин купрум(II) гідроксиду  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ ). Вміст пробірки перемішувати скляною паличкою до повного розчинення вати. До одержаного в'язкого розчину долити 15–20 крапель води і вилити суміш у пробірку, яка містить 3 мл розбавленої хлоридної кислоти. Спостерігають осад у вигляді білих пластівців.



#### Дослід 6.27. Кислотний гідроліз целюлози

У суху конічну колбу на 50...100 мл внести невелику кількість целюлози (чи іншого полісахариду) і змочити його концентрованою сульфатною кислотою (0,5 мл). Ретельно перемішати вміст колби скляною паличкою до повного розчинення паперу й утворення безбарвного в'язкого розчину.

Потім **обережно** (!) додати до нього невеликими порціями, перемішуючи, 15...20 мл води. Колбу з'єднати з повітряним зворотним холодильником і кип'ятити реакційну суміш 20...30 хв, періодично перемішуючи. Після закінчення гідролізу відлити 2...3 мл рідини і нейтралізувати сухим натрій карбонатом, додаючи його невеликими порціями. Присутність відновлюючих цукрів виявити за реакцією з реактивом Фелінга.



## Лабораторна робота №20

### Якісні реакції вуглеводів

**Завдання 1.** Виконати досліди 18-26, що характерні для моно(а)-, ди(б)- і полі(в)-сахаридів. Записати спостереження і відповідні рівняння реакції.

Таблиця 6.9 – Досліджувані речовини

Варіант	Речовини		
	А	Б	В
1	Глюкоза	Целобіоза	Інулін
2	Фруктоза	Мальтоза	Крохмаль
3	Галактоза	Лактоза	Целюлоза (шматочки ва- ти)
4	Арабіноза	Сахароза	Хітин
5	Ксилоза	Сахароза (кри- сталічний цу- кор)	Целюлоза (зра- зки бавовняно- го волокна)

**Завдання 2.** Здійснити гідроліз крохмалю за участю кислоти (кислотний гідроліз) та ферменту слини (ферментний гідроліз).

У дві конічних колби місткістю 50 мл вносять по 20-25 мл 1%-го крохмального клейстеру, в одну колбу вносять 5 мл 10%-го розчину сірчаної кислоти і кілька кип'ятільних камінців, в іншу колбу вносять стільки ж слини. Одночасно у два штативи ставлять по 8 пробірок, в кожену пробірочку вносять по 1 мл розведеного розчину йоду в йодиді калію світло-жовтого кольору. У одну пробірочку для контролю вносять 4-5 крапель крохмального клейстеру та розведений розчин йоду. Звертають увагу на забарвлення реакційної суміші. Потім колби з реакційними сумішами ставлять на електроплитку і їх вміст нагрівають – першу колбу з кислотою до кипіння, другу колбу зі слиною до температури 40<sup>0</sup>С. Потім першу колбу залишають на вимкненій плитці, а другу колбу ставлять в посуд з теплою водою. Кожні 30 с після початку нагрівання з кожної колби відбирають піпеткою пробу, яку вносять в пробірочку з розчином йоду (на штативах). Звертають увагу на забарвлення реакційної суміші в кожному випадку. Спостерігають за поступовою зміною

забарвлення реакційних сумішей у пробірках з розчинами йоду, в разі зміни в порівнянні з попередньою пробіркою занотовують час гідролізу.

Звичайний рослинний крохмаль складається з двох полісахаридів - амілози і амілопектину. В амілозі залишки глюкози з'єднані у вигляді майже не розгалуженого ланцюга, а молекули амілопектину мають розгалужену структуру. Молярна маса амілози - до 200000, а молярна маса амілопектину - понад 1000000. У разі дії йоду амілоза забарвлюється в синій, а амілопектин - у синьо-фіолетовий колір. Причиною забарвлення вважають утворення молекулярних сполук йоду з амілозою і амілопектином. В амілозі залишки глюкози розміщені в просторі у вигляді спіралі, а молекули йоду розміщуються в середині циліндра, який утворює ця спіраль, у співвідношенні: одна молекула йоду на один залишок глюкози. Утворюється сполука включення "клатрат" загального складу  $C_6H_{10}O_5 \cdot I_2$ . Одночасно амілопектин адсорбує йод. За допомогою реакції з йодом можна робити висновок про відносні розміри частинок декстринів: при зменшенні їх розмірів, тобто при поглибленні процесу гідролізу крохмалю, забарвлення декстринів з йодом змінюється від червоно-фіолетового до оранжево-жовтого:

**Продукти гідролізу крохмалю**

амілоза  
амілопектин  
олігосахариди  
дисахариди  
монсахариди

**Забарвлення з йодом**

синьо-фіолетове  
червоно-фіолетове  
буре, оранжеве  
оранжево-жовте  
жовте (забарвлення йоду)

Практичні результати гідролізу занотовують у таблицю 5.10. Порівнюють швидкість кислотного і ферментного гідролізу.

Таблиця 6.10 – Результати гідролізу

№ проби	Кислотний гідроліз крохмалю		Ферментний гідроліз крохмалю	
	Час, хв.	Забарвлення з йодом	Час, хв.	Забарвлення з йодом
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				

Після того як реакційні суміші перестануть давати забарвлення з йодом, їх продовжують кип'ятити кілька хвилин, а потім охолоджують і

нейтралізують 10%-м розчином гідроксиду натрію, додаючи його краплями до сильнолужного середовища за індикаторним папірцем.

У дві пробірки вносять по 2 мл одержаних лужних розчинів прогідролізованого крохмалю з кожної колби, 2 мл реактиву Фелінга і кожен одержану реакційну суміш нагрівають. Спостерігають за цегляним забарвленням осад гідроксиду міді, яке потім змінюється на бурій осад оксиду міді. Отже, у процесі гідролізу крохмаль утворює моносахариди, які відновлюють реактив Фелінга.

### Контрольні запитання

1. Якими реакціями можна розрізнити кетози і альдози?
2. У чому полягає явище мутаротації? Наведіть приклади.
3. Наведіть реакції для відкритої (карбонільної) форми моносахаридів; для циклічної форми моносахаридів.
4. Поясніть, чому у випадку відновлення D-глюкози утворюється шестиатомний спирт сорбіт, а у випадку відновлення D-фруктози утворюються два спирти — сорбіт і маніт.
5. Явище інверсії для дисахаридів.
6. Напишіть схему утворення дисахариду 4-( $\alpha$ -D-ксилопіранозидо)- $\alpha$ -D-ксилопіранози. До якого типу дисахаридів він належить?
7. Напишіть схему утворення дисахариду 6-( $\beta$ -D-фруктопіранозидо)- $\beta$ -D-фруктофуранози. До якого типу дисахаридів він належить?
8. Напишіть схему гідролізу трегалози, застосовуючи циклічні структури Хеуорса.
9. Напишіть реакції гідролізу целюлози, її нітрування та ацилювання.
10. Одержання функціональних похідних целюлози, їх промислове значення.

### 6.5. Алкалоїди

Алкалоїди – це група нітрогеновмісних органічних сполук, переважно рослинного походження, що виявляють основні властивості та високу біологічну активність.

За хімічною будовою більшість алкалоїдів відносяться до гетероциклічних сполук.

Алкалоїди широко розповсюджені у рослинному світі. Особливо багаті на алкалоїди родини макових, лютикових, бобових та ін. Як правило, в рослині міститься декілька алкалоїдів, що мають подібну структуру. Багато алкалоїдів мають сильну біологічну дію: у великих дозах вони часто є ядами, в малих дозах вони широко використовуються як лікарські засоби. В рослинах міститься переважно у вигляді солей органічних кислот.

Алкалоїди переважно кристалічні речовини з гірким смаком, без кольору, практично нерозчинні у воді, добре розчинні в хлороформі, бензені, ефірі.

Солі алкалоїдів, навпаки, добре розчиняються у воді та нерозчинні в органічних розчинниках.

Існує два основних методів виділення алкалоїдів з рослин – екстракція у вигляді солей та екстракція у вигляді основ.

Для визначення алкалоїдів використовують загальні, так звані групові реакції, що характерні для всіх алкалоїдів, та специфічні реакції, що характерні для певних груп алкалоїдів.

Групові реакції засновані на здатності алкалоїдів утворювати з декількома реагентами важкорозчинні у воді осадки простих чи комплексних солей. Найчастіше для осадження алкалоїдів використовують розчин йоду у калій йодиді (реактив Вагнера), розчин вісмут йодиду у калій йодиді (реактив Драгендорфа), розчин таніну, пікринової кислоти та ін.

Специфічні реакції – це переважно реакції утворення забарвлення, що базуються на перебігу процесів дегідратації, окиснення, конденсації та ін.. Так, під дією нітруючої суміші (реактив Ердмана), суміші сірчаної кислоти та формальдегіду (реактив Маркі), багато алкалоїдів утворюють забарвлені розчини.

Для алкалоїдів загальноприйнята хімічна класифікація, в основі якої покладена природа гетероциклу, що міститься в структурі алкалоїду.

#### **Дослід 6.28. Розчинність алкалоїдів та їх солей**

У пробірку наливають розчин солі алкалоїду та 5-6 крапель води, спостерігають за розчинністю, спостереження викладають у висновку. Дві краплі отриманого розчину переносять у другу пробірку та доливають 1 краплю розчину їдкового натру. Випадає білий осадок алкалоїду, нерозчинного у воді, який залишають для проведення дослідів. Ще дві краплі розчину алкалоїду змішують у пробірці з 2 краплями сульфатної кислоти, спостерігають і роблять висновки про розчинність у воді сульфатнокислого алкалоїду. До білого осадку алкалоїду, що залишився у пробірці додають 5 крапель хлороформу, зміст пробірки перемішують та дають відстоятись.

**Зверність увагу!** Деякі запропоновані алкалоїди представлені у вигляді солей, тому спочатку їх необхідно нейтралізувати.

Деякі сульфатнокислі алкалоїди здатні до флуоресценції. Для спостереження цього явища до пробірки з сульфатнокислим алкалоїдом доверху доливають воду.

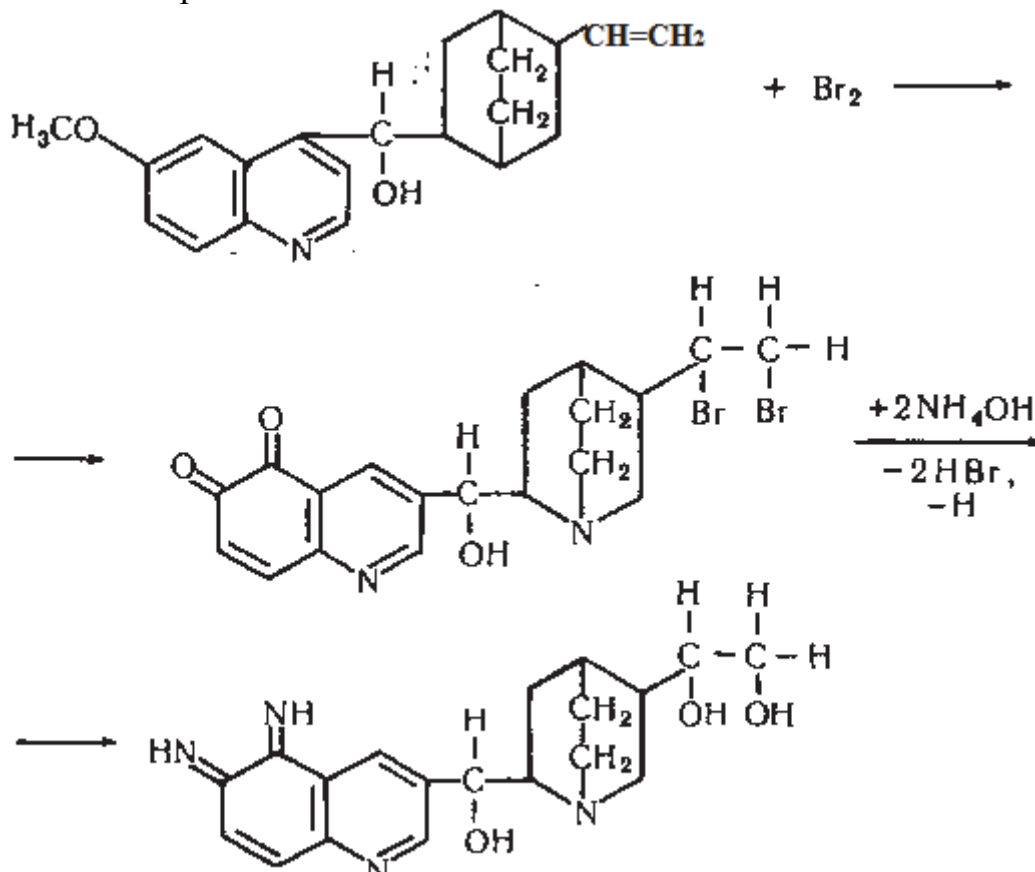
#### **Дослід 6.29. Якісна реакція на алкалоїди групи хіноліну**

1 краплю вихідного розчину алкалоїду підкислюють 1 краплею розведеної сульфатної кислоти, розбавляють 2 краплями води. Краплю приготовленого розчину наносять на предметне скло та поруч з нею - 1 краплю спиртового розчину йоду. На межі зіткнення крапель спостерігають утворення зелених кристалів гексагідрату:  $((\text{алкалоїд})_4 \cdot (\text{H}_2\text{SO}_4)_2 \cdot (\text{HI})_2 \cdot \text{I}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ .



### Дослід 6.30. Галейохінна проба на алкалоїди групи хіноліну та ізохіноліну

У пробірку поміщують 5 крапель води, 1 краплю розчину алкалоїду, 1 краплю аміаку та 2 краплі бромної води. Вміст пробірки енергійно струшують - з'являється зелене забарвлення.



Реакція представлена на прикладі хініну

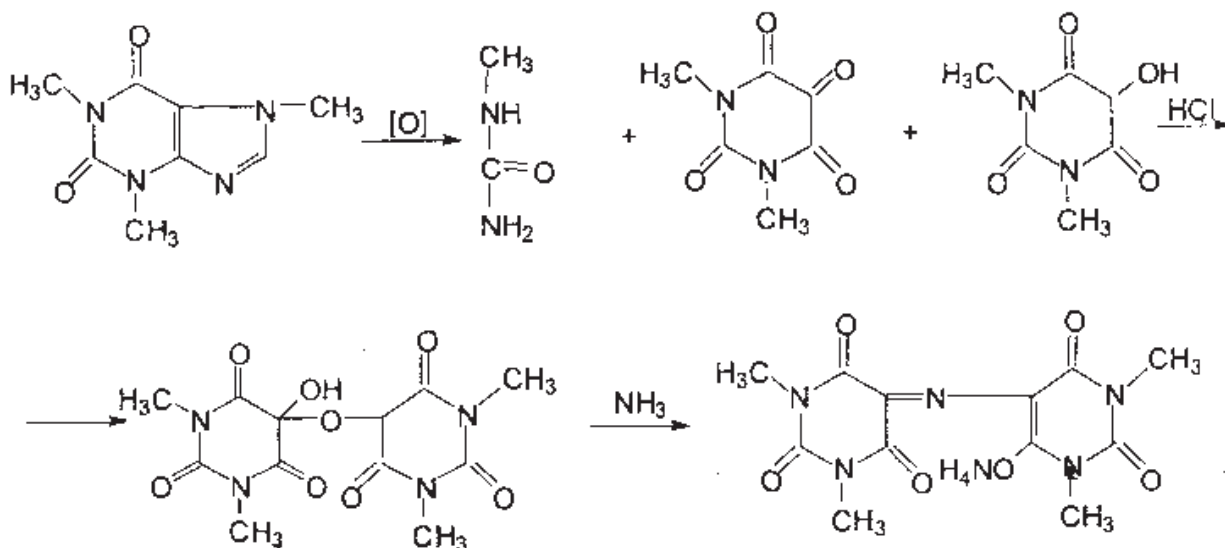
### Дослід 6.31. Утворення шавлевокислих солей

До розчину алкалоїду додають фенолфталеїн. Забарвлення нейтралізують водним розчином шавлевої кислоти. Утворений розчин виливають у фарфорову чашку і випаровують до густої маси, з неї при охолодженні виділяються кристали.

Ця реакція відноситься до групових, характеризує основні властивості алкалоїдів.

### Дослід 6.32. Мурексидна проба

Субстанцію у фарфоровій чашці обробляють окисником ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Br}_2$ , конц.  $\text{HNO}_3$  або інш.) і випарюють на водяному нагрівнику досуха. При змочуванні залишка 1-2 краплями розчину аміаку з'являється пурпурово-червоне забарвлення:



Реакція представлена на прикладі кофеїну

Мурексидна проба - це групова реакція на ксантини (або реакція на алкалоїди пуринового ряду).

### Дослід 6.33. Реакція алкалоїдів з таніном

У пробірку насипають кілька кристалів кофеїну, додають 4 краплі розчину таніну. Утворений білий осад розчиняється при надлишку розчину таніну.

Реакція характерна для алкалоїдів групи піридину і піперидину.

## Лабораторна робота №21

### Одержання алкалоїдів та дослідження їх властивостей

**Завдання 1.** Здійснити дослід 27-32 для запропонованих сполук. Записати спостереження та відповідні рівняння реакції.

Таблиця 6.11. – Речовини для проведення дослідів

Варіант	Алкалоїд	Варіант	Алкалоїд
1	Хініну гідрохлорид	5	Дипрофілін
2	Нікотин	6	Хінін
3	Кофеїн	7	Папаверину гідрохлорид
4	Хініну сульфат	8	Еуфілін, 12% розчин

**Завдання 2.** Здійснити синтез кофеїну з чайного листа.

У невеличкий тигель вносять 2-3 г попередньо зваженого чайного листа та накривають годинниковим склом. Помішають на плитку із закритою спіраллю та обережно нагрівають. Через кілька хвилин виділяється вода, після чого сублимується кофеїн.

Декілька кристалів поміщають у пробірку і проводять якісну реакцію. Для цього до кофеїну додають 2 краплі соляної кислоти, і 4 краплі розчину калій йодиду. Утворений осад розчиняють при нейтралізації розчином натрій гідроксиду розведеним. При цьому жовтий осад стає коричневим. Записати рівняння реакції.

Зважують сублімовані кристали кофеїну, визначають вихід продукту (%) з природної сировини.

### **Контрольні запитання**

1. *Піридинові основи, їх характеристика і біологічне значення. Алкалоїди групи піридину.*
2. *Кисневі та безкисневі алкалоїди. Наведіть приклади алкалоїдів кожної групи.*
3. *Наведіть приклади алкалоїдів, що використовують у побуті та сільському господарстві як інсектициди.*
4. *Методи одержання алкалоїдів. Синтез алкалоїдів із рослинної сировини.*
5. *Дайте характеристику загальних властивостей алкалоїдів груп хіноліну та ізохіноліну.*
6. *Наведіть приклади застосування алкалоїдів у медичній та ветеринарній практиці.*
7. *Якісні реакції на алкалоїди. Групові та специфічні реакції.*

## ОДЕРЖАННЯ БІООРГАНІЧНИХ СПОЛУК З ПРИРОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА СИНТЕТИЧНИХ АНАЛОГІВ

### 7.1. Одержання білків та білкових модифікатів

Методи одержання білків власне синтетичним хімічним шляхом в промисловості використовують обмежено; це переважно науково-дослідницькі розробки. На сьогодні це досить складне завдання, оскільки синтез балку передбачає поступове приєднання амінокислот певної структури та конфігурації в заданій послідовності. Синтез білку значно полегшується, якщо амінокислоти ковалентно пов'язані з водорозчинним полімером. необхідні амінокислоти для синтезу білку одержують з природної сировини.

Більш поширене промислове виробництво штучних білків, тобто певне модифікування природної білковмісної сировини. Залежно від очікуваної структури та практичного застосування, білкові модифікати одержують з природної сировини двома способами:

1. Шляхом видалення з білкової структури окремих структурних елементів.
2. Шляхом приєднання до поліпептиду, або білка додаткових структур.

Перший спосіб передбачає спрощення просторової структури білка, вивільнення окремих елементів у вигляді низькомолекулярних сполук, гідроліз поперечних зв'язків видалення амінокислотних залишків на початку, або ж всередині первинної структури та ін..

За другим способом поліпептидний ланцюжок піддається різноманітним хімічним модифікаціям. Ці модифікації здатні значно розширити різноманітність можливих білків, надаючи їм нові властивості. Прикладами посттрансляційних модифікацій служать:

- приєднання різних функціональних груп (ацетил-, метил- і фосфатних груп);
- приєднання ліпідів і вуглеводнів;
- зміна стандартних амінокислот на нестандартні (наприклад, утворення цитруліну);
- утворення структурних змін (утворення дисульфідних містків між цистеїнами);
- додавання невеликих білків, які впливають на деградацію білків.

При цьому тип модифікації може бути як універсальним, так і специфічним, притаманним лише для даного білка. Водночас один і той же білок може піддаватися численним модифікаціям.

## Лабораторна робота №22

### Виплавлення желатину

#### Реактиви:

Голина	5г
Кальцію гідроксид	0,2г

*Методика синтезу.* Попередньо готують препарат голини. Для цього сирі висушені шкурки кролика (10 г) звільняють від шерсті, нарізають на шматочки з розміром сторін 3-5 см. Потім такі шматочки замочують в рочині гідроксиду кальцію (РК=2-3), на добу. Якщо наявні залишки волосу, у цей розчин також досують натрію сульфід, в кількості 1.5-2% від маси сировини. Одержану голину через 24 години виймають з розчину, просушують фільтрувальним папером, за необхідності механічно очищують від залишків кератину і подрібнюють. Взважують необхідну кількість голини. Залишені шматочки (до 1г) вміщують в бюкс і проводять ваговий аналіз для визначення вологості голини.

Наважки голини вміщують в бюкс або стакан з притертою кришкою та заливають 50мл дистильованої води, нагрітої до температури 55°C. Стакани поміщають в термостат на 2 год при температурі 55°C.

Потім рідину, що містить виплавлений желатин фільтрують через паперовий фільтр в колбу об'ємом 100мл. Шматочки голини обробляють невеликими порціями дистильованої води при температурі 55°C на фільтрі. Об'єм фільтрату доводять до мітки.

*Виділення продукту.* Отриманий фільтрат ділять на 2 частини. Першу порцію (50мл) переносять у колбу на 100мл, додають 10 мл 30%-ого розчину нарії гідроксиду, перемішують і додають 1 мл насиченого розчину купрум(II) сульфату, доводять розчин до мітки.

Оптичну густину розчину визначають та фотоелектроколориметрі при довжині хвилі 520нм (зелений світлофільтр). По попередньо побудованому калібрувальному графіку на основі розчинів харчового желатину, визначають вміст желатину в експериментальній пробі та розраховують кількість виплавленого желатину, %, за формулою:

$$X = \frac{m_1 \cdot 2 \cdot 100}{m} \cdot \frac{100}{100 - W}, \quad (7.1)$$

де  $m_1$ - маса желатину за калібрувальним графіком, г;

$m$  – маса голини, г;

$W$  – масова доля вологи у голині, %.

Іншу частину фільтрату випарюють на водяній бані. Отримують сухий желатин, взважують та знаходять практичний вихід сухого продукту,% від маси голини (половина наважки голини) і сировини [54]. Результати заносять у таблицю 7.1.

Таблиця 7.1 – Вихід продукту синтезу

Маса сировини, г	Маса голини (m), г	Масова частка вологи в голині, (W),%	Маса желатину за калібрувальним графіком (m <sub>1</sub> ), г	Кількість виплавленого желатину (X),%	Вихід сухого желатину, %	
					Від маси голини	Від маси сировини

## 7.2. Фітогормони та регулятори росту рослин

**Фітогормони** - хімічні речовини, що виробляються в рослинах і регулюють їх ріст та розвиток. Утворюються головним чином в тканинах, що активно ростуть, на верхівках коренів і стебел. До фітогормонів звичайно відносять ауксини, гібереліни і цитокініни, а іноді і інгібітори росту, наприклад абсцизову кислоту. Фітогормони - органічні речовини невеликої молекулярної маси, утворюються в малих кількостях в одних частинах багатоклітинних рослин і діють на інші їх частини як регулятори і координатори росту і розвитку.

Багато синтетичних речовин володіють такою ж дією, як природні фітогормони. За хімічною структурою такі речовини переважно ідентичні, або схожі до природних гормонів (наприклад гібереліни подібні до монокарбонових кислот і гідроксикилот).

Синтетичні регулятори росту росли поділяють на стимулятори та інгібітори. До стимуляторів росту відносяться: нафтил-2-оцтова кислота, індоліл-3-оцтова кислота, феноксиоцтова кислота та ін. Естери бензойної кислоти використовують як стимулятори дозрівання плодів. Інгібіторами росту росли є сукцинамова кислота та гідрозид малеїнової кислоти.

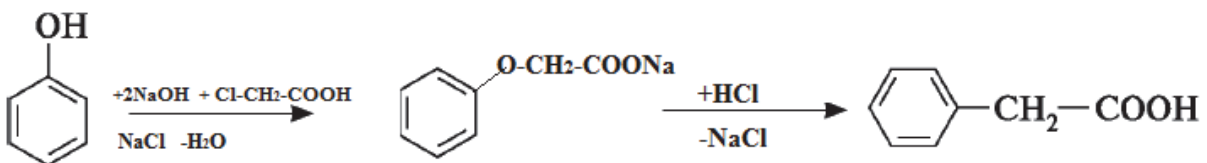
Найпростішим регулятором росту рослин є етилен, що справляє на них різний вплив: пригнічує ріст, прискорює опадання листя, квіток, стимулює цвітіння і дозрівання плодів. В садівництві етилен використовують у формі препарату етрелу (2-хлоретилфосфінової кислоти). В рослинах етрол розкладається із виділенням етилену [12].

Як регулятори кущування використовують також жирні спирти з прямим ланцюгом, головним чином октиловий і дециловий.

### Лабораторна робота №23

#### Синтез феноксиоцтової кислоти

Схема синтезу



*Реактиви:*

Фенол	1 г
хлоретанова кислота	1,25г
натрій гідроксид (10н)	4 мл

*Методика синтезу.* У колбу вміщують 4 мл 10н NaOH, додають 1 г фенолу і 1,25г хлороцтової кислоти. До колби приєднують зворотній холодильник у нагрівають 1 годину на водяній бані. Охолоджують суміш, підкислюють її розведеною хлоридною кислотою і екстрагують етилацетатом тричі по 5 мл.

*Виділення продукту.* Об'єднані витяжки промивають 2-3 рази водою для видалення кислоти, потім струшують з 20мл 2н розчину соди. При підкисленні содової витяжки феноксицтова кислота випадає в осад. Якщо кислота не випадає, розчин насичують NaCl. Отриману кислоту перекристалізують при температурі плавлення 99°C.

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

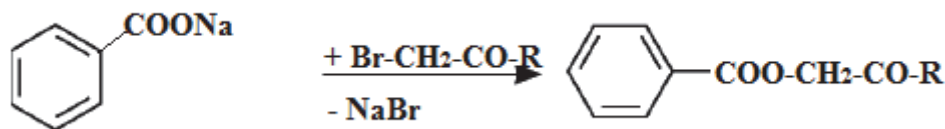
Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
Формула	Назва	М, г/моль	T <sub>кип</sub> , °C	T <sub>пл</sub> , °C	ρ, г/мл	n, моль	m, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* Феноксицтова кислота – біла кристалічна речовина, температура плавлення кристалів 99°C. Погано розчиняється у воді (1,2 г у 100 мл при 10°C), розчиняється в етиловому спирті, діетиловому ефірі, бензолі, оцтовій кислоті.

### Лабораторна робота №24

#### Одержання естерів бензойної кислоти за реакцією Вільямсона

*Схема синтезу*



*Реактиви:*

натрій бензоат	0,005 моль/г
Бромкетон	0,005 моль/г

*Методика синтезу.* У колбі з шліфом розчиняють 0,72г натрій бензоату у 15 мл етанолу при нагріванні. Потім додають бромкетон, наприклад 1г  $\alpha$ -бромацетофенон, приєднують до колби зворотній холодильник і нагрівають 1 годину. Після охолодження осад викристалізовується.

*Виділення продукту.* Осад відфільтровують та промивають 2-3мл чистого етанолу.

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до табл.7.3.

Таблиця 7.3 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
формула	Назва	М, г/моль	T <sub>кип</sub> , °C	T <sub>пл</sub> , °C	$\rho$ , г/мл	n, моль	m, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* Фенацилбензоати – кристалічні речовини, безбарвні, білого чи жовтуватого кольору, їх температури плавлення знаходяться у межах 110÷140°C.

### 7.3. Перетворення вуглеводів

Вуглеводи становлять значну сировинну базу для харчової, фармацевтичної, текстильної, деревооброблювальної і паперової промисловості.

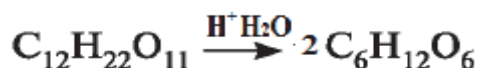
Гідроліз ди-та полісахаридів є важливим способом одержання моносахаридів. Додатково, для збільшення і зменшення кількості карбонів в молекулі моносахариди використовують розпад за Руфом та ціангідриновий синтез.

В медицині, аналітичній та ветеринарній практиці широко використовують як моносахариди (переважно гексози та пентози), так і їх похідні (дезоксирукри, аміноцукри, мети пентози та ін.). Для синтезу похідних використовують різні перетворення, характерні для відкритих і циклічних форм моносахаридів за участю окисників, амінуючих, алкілюючих і ацилюючих агентів, лугів [11].

### Лабораторна робота №25

#### Синтез D-глюкози

*Схема синтезу*



*Реактиви:*

Сахароза	25г
хлоридна кислота, концентрована	3мл
спирт етиловий	75мл



*Методика синтезу.* У плоскодонну колбу із зворотнім холодильником вносять суміш із 75мл етилового спирту, 3 мл дистильованої води та 3 мл концентрованої хлоридної кислоти та нагрівають на водяній бані до 45–50°C. Потім у реакційну суміш вносять невеликими порціями, часто струшуючи колбу 25г розтертої у ступці сахарози. Перемішування та нагрівання у межах 45–50°C здійснюють до повного розчинення осаду. Якщо рідина містить багато сторонніх домішок, то її фільтрують без охолодження на воронці Бюхнера.

*Виділення продукту.* В охолоджену до кімнатної температури масу вносять декілька кристаликів глюкози для затравки, енергійно струшують та залишають на декілька днів для кристалізації. Для прискорення процесу кристалізації рекомендовано періодично струшувати суміш то потирати скляною паличкою о стінки колби.

D–глюкозу у вигляді кристалічного порошку фільтрують на воронці Бюхнера та добре промивають на фільтрі залишками етилового спирту.

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

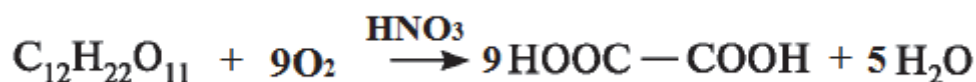
Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
Формула	Назва	М, г/моль	T <sub>кип</sub> , °C	T <sub>пл</sub> , °C	ρ, г/мл	n, моль	m, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* D–глюкоза – тверда кристалічна речовина, добре розчинна у воді і погано в етиловому спирті, солодка на смак. Температура плавлення. – 146°C.

### Лабораторна робота №26

#### Синтез щавлевої кислоти

*Схема синтезу*



*Реактиви:*

тростинний або буряковий цукор	5г
нітратна кислота (ρ=1,38 г/см <sup>3</sup> )	40 г (29 мл)

*Методика синтезу.* У конічній колбі нагрівають 5 г розтертого в порошок цукру з 29 мл концентрованої нітратної кислоти. Як тільки почнеться виділення бурої пари оксидів азоту, нагрівання припиняють. Реакція окислення мимоволі протікає ще якийсь час. Потім, коли виділення бурої пари

закінчується, рідину виливають у фарфорову чашку і, випаровують на водяній бані до об'єму 35–40 мл. При охолодженні з розчину викристалізується щавлева кислота.

*Виділення продукту.* Кристали щавлевої кислоти відфільтрують на воронці Бюхнера та перекристалізують із води.

Довідкові, розрахункові та експериментальні дані заносять до таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 – Властивості вихідних речовин і продуктів реакції

Сполука		Довідкові дані				Завантажено або добуто		
Формула	Назва	М, г/моль	T <sub>кип</sub> , °C	T <sub>пл</sub> , °C	ρ, г/мл	n, моль	m, г	V, мл
Вихідні речовини								
Продукт реакції								
Практичний вихід, %								

*Характеристика кінцевого продукту.* Щавлева (етандіонова) кислота – безбарвна речовина, яка кристалізується з двома молекулами води, температура плавлення кристалогідрату 101,5°C. Безводна щавлева кислота плавиться при 189,5°C з розкладанням. Розчиняється в етиловому спирті, у воді (9,5 г в 100 мл при 15°C; 120 г в 100 мл при 100°C).

### Контрольні запитання

1. Які методи руйнування білкової молекули використовуються для визначення послідовності амінокислотних залишків у білку?
2. Антибіотики на основі поліпептидів. Основні методи їх синтезу.
3. Твердофазний синтез пептидів і білків. Чому він вважається найбільш перспективним?
4. Наведіть приклади використання продуктів природного походження в нанохімії і нанотехнологіях.
5. Фізико-хімічні властивості природного лігніну, можливості використання лігніну у промисловості.
6. Наведіть приклади естерів, що використовують у сільському господарстві.
7. Адсцисова кислота, як рослинний гормон та її синтетичні замінники.
8. Яке промислове значення мають окисно-відновні реакції моносахаридів?
9. Які перетворення глюкози є в основі промислового синтезу аскорбінової кислоти?
10. Застосовуючи формули Хеурса, напишіть схему утворення віскози.
11. Напишіть схему утворення амілоїду і поясніть відмінності його будови від будови целюлози.
12. Наведіть приклади застосування полісахаридів у медичній практиці.

## ЛІТЕРАТУРА

### І ХІМІЧНА ЛІТЕРАТУРА З ТЕОРЕТИЧНОГО КУРСУ ПО ОРГАНІЧНІЙ І БІООРГАНІЧНІЙ ХІМІЇ

1. Ластухін Ю. О. Органічна хімія / Ю. О. Ластухін, С. А. Воронов. – Львів : Центр Європи, 2001. – 864 с. – ISBN 966-7022-19-6.
2. Штеменко Н. І. Органічна хімія та основи статичної біохімії / Н. І. Штеменко, З. П. Соломко, В. І. Авраменко. – Дніпропетровськ : В-цтво ДНУ, 2003. – 665 с. – ISBN 966-551-117-3.
3. Шабаров Ю. С. Органическая химия : учеб. для вузов / Ю. С. Шабаров. – М. : Химия, 1996. – ISBN 5-7245-1059-6. – Ч. 1 : Нециклические соединения. – 1996. – 493 с. – ISBN 5-7245-1057-X; Ч. 2 : Циклические соединения. – 1996. – 846 с. – ISBN 5-7245-1059-8.
4. Петров А. А. Органическая химия / А. А. Петров, Х. В. Бальян, А. Т. Трощенко. – М. : Высшая школа, 1981. – 591 с.
5. Черных В. П. Лекции по органической химии / В. П. Черных. – Харьков : Золотые страницы, 2005. – 479 с. – ISBN 966-615-155-3.
6. Гауптман З. Органическая химия / З. Гауптман, Ю. Грефе, Х. Ремане – М. : Химия, 1979. – 831 с.
7. Ранський А. П. Органічна хімія і екологія. Теоретичні основи органічної хімії. Аліфатичні вуглеводні / А. П. Ранський. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – Ч.І. – 119 с.
8. Ранський А. П. Органічна хімія і екологія. Ароматичні вуглеводні. Функціональні похідні / А. П. Ранський. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – Ч.І. – 248 с.
9. Ингольд К. Теоретические основы органической химии / К. Ингольд. – М. : Мир, 1973. – 1056 с.
10. Зіменковський Б.С. Біологічна і біоорганічна хімія / Зіменковський Б.С., Музиченко В.А., Ніженковська І.В., Сирова Г.О. – Київ: Медицина, 2014. – Кн. 1. Біоорганічна хімія. – 271с.
11. Ластухін Ю.О. Хімія природних органічних сполук / Ластухін Ю.О. – Львів: «Інтелект - Захід», 2005. – 560с.
12. Безуглий П.О. Фармацевтична хімія: Навчальний посібник/ За ред.. Безуглого П.О.- Вінниця: Нова книга, 2006. – 552с.

### ІІ ХІМІЧНА ЛІТЕРАТУРА ДО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З ОРГАНІЧНОЇ ТА БІООРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

13. Глубіш П. А. Органічний синтез / П. А. Глубіш. – К. : ІЗМН, 1997. – ISBN 5-7763-9590-9; Ч. 1. – 1997. – 318 с. – ISBN 5-7763-9590-9; Ч. 2. – 1997. – 220 с. – ISBN 5-7763-9590-9.
14. Общий практикум по органической химии / В. П. Черных, И. С. Гриценко, М. О. Лозинский, З. И. Коваленко. – Харьков : Изд-во НФау; Золотые страницы, 2002. – 592 с. – ISBN 966-615-084-0, ISBN 966-9581-0-9.

15. Артёменко А. И. Практикум по органической химии / А. И. Артёменко, И. В. Тикунова, Е. К. Ануфриев. – М. : Высшая школа, 1991. – 174 с. – ISBN: 5-06-003987-0.
16. Аверина А. В. Лабораторный практикум по органической химии / А. В. Аверина, А. Я. Снегирёва. – М. : Высшая школа, 1980. – 183 с.
17. Рево А. Я. Малый практикум по органической химии / А. Я. Рево, В. В. Зеленцова. – М. : Высшая школа, 1980. – 175 с.
18. Берлин А. Я. Техника лабораторной работы в органической химии / А. Я. Берлин. – М. : Химия, 1973. – 368 с.
19. Юрьев Ю. К. Практические работы по органической химии / Ю. К. Юрьев. – М. : Изд-во МГУ, 1964. – Вып. I и II. – 1964. – 420 с.; Вып. III. – 1964. – 258 с.
20. Юрьев Ю. К. Практические работы по органической химии / Ю. К. Юрьев, Р. Я. Левина, Ю. С. Шабаров. – М. : Изд-во МГУ, 1969. – Вып. IV. – 1969. – 252 с.
21. Левина Р. Я. Практические работы по органической химии / Р. Я. Левина, В. Р. Скварченко, Ю. С. Шабаров. – М. : Изд-во МГУ, 1978. – Вып. V. – 1978. – 245 с.
22. Вацуро К. В. Именные реакции в органической химии / К. В. Вацуро, Г. Л. Мищенко. – М. : Химия, 1976. – 258 с.
23. Реакции и методы исследования органических соединений / под ред. Б. А. Казанского, И. Л. Кнунянца, М. М. Шемякина, Н. Н. Мельникова. – М. : Химия, 1969. – Т. 20. – 1969. – С. 132.
24. Органические реакции / под ред. Р. Адамса, В. Бахмана, Дж. Джонсона, Г. Снайдера. – М. : Издательство, 1948 – 1967. – Т. 2. – 1950. – С. 27; Т. 3. – 1951. – С. 6, 356; Т. 5. – 1951. – С. 32, 347; Т. 7. – 1965. – С. 148; Т. 8. – 1965. – С. 139.
25. Бюлер К. Органические синтезы / К. Бюлер, Д. Пирсон. – М. : Мир, 1973. – Т. 1. – 1973. – 620 с.; Т. 2. – 1973. – 590 с.
26. Органические реакции / под ред. Р. Адамса, В. Бахмана, Дж. Джонсона, Г. Снайдера. – М. : Издательство, 1948 – 1967. – Т. 1. – 1948. – С. 375; Т. 2. – 1950. – С. 50; Т. 8. – 1956. – С. 90.
27. Вацуро К. В. Именные реакции в органической химии / К. В. Вацуро, Г. Л. Мищенко. – М. : Химия, 1976. – С. 443.
28. Вацуро К. В. Именные реакции в органической химии / К. В. Вацуро, Г. Л. Мищенко. – М. : Химия, 1976. – С. 261 – 264.
29. Вейганд-Хильгетаг. Методы эксперимента в органической химии / Вейганд-Хильгетаг. – М. : Химия, 1968. – 994 с.
30. Физер Л. Реагенты для органического синтеза / Л. Физер, М. Физер. – М. : Мир. – Т. 1. – 1970. – С. 19, С. 88; Т. 2. – 1970. – С. 16; Т. 5. – 1971. – С. 206; Т. 7. – 1978. – С. 12.
31. Новиков С. С. Химия алифатических и алициклических нитросоединений / С. С. Новиков. – М. : Химия, 1974. – 416 с.

32. Фьюзон Р. Реакции органических соединений / Р. Фьюзон. – М. : Мир, 1966. – С. 44, 89, 537.
33. Вейганд-Хильгетаг. Методы эксперимента в органической химии / Вейганд-Хильгетаг. – М. : Химия, 1976. – С. 559.
34. Реакции и методы исследования органических соединений / под ред. В. М. Родионова, Б. А. Казанского, И. Л. Кнунянца, М. М. Шемякина. – М. : Химия, 1954. – Т.2. – 1954. – С. 245.
35. Успехи органической химии / под ред. И. Л. Кнунянца. – М. : Мир, 1966. – Т.4. – 1966 – 346 с.
36. Органические реакции / под ред. Р. Адамса, В. Бахмана, Дж. Джонсона, Г. Снайдера. – М. : Издательство, 1948 – 1967. – Т. 3. – 1951. – С. 78.
37. Воронцов Н. Н. Основы синтеза промежуточных продуктов и красителей / Н. Н. Воронцов. – М. : Госхимиздат, 1955. – С. 60, 582.
38. Джильберт Э. Е. Сульфирование органических соединений / Э. Е. Джильберт. – М. : Химия, 1969. – 414 с.
39. Сульфирование солями сернистой кислоты. Реакция Богданова. – М. : Химия, 1965. – 119 с.
40. Фьюзон Р. Реакции органических соединений / Р. Фьюзон. – М. : Мир, 1966. – 645 с.
41. Воронцов Н. Н. Основы синтеза промежуточных продуктов и красителей / Н. Н. Воронцов. – М. : Госхимиздат, 1955. – С. 419.
42. Физер Л. Реагенты для органического синтеза / Л. Физер, М. Физер. – М. : Мир. – Т. 2 – 1970. – С. 17; Т. 7. – 1978. – С. 231.
43. Матье Ж. Курс теоретических основ органической химии / Ж. Матье, Р. Панико. – М. : Мир, 1975. – С. 506.
44. Реакции и методы исследования органических соединений / под ред. В. М. Родионова, Б. А. Казанского, И. Л. Кнунянца, М. М. Шемякина. – М. : Химия, 1961. – Т. 10. – 1961. – С. 12.
45. Органические реакции / под ред. Р. Адамса, В. Бахмана, Дж. Джонсона, Г. Снайдера. – М. : Издательство, 1948 – 1967. – Т. 2. – 1950. – С. 362.
46. Воронцов Н. Н. Основы синтеза промежуточных продуктов и красителей / Н. Н. Воронцов. – М. : Госхимиздат, 1955. – С. 431.
47. Венкатараман К. Химия синтетических красителей. / К. Венкатара-ман. – Л. : Госхимиздат, 1956. – Т. 1. – 1956. – С. 460 – 493.
48. Рево А. Я. Качественные микрохимические реакции по органической химии / А. Я. Рево. – М. : Высшая школа, 1965. – 251 с.
49. Климова В. А. Основные микрометоды анализа органических соединений / В. А. Климова. – М. : Химия, 1975. – 224 с.
50. Кларк Г. Т. Руководство по качественному и количественному органическому анализу / Г. Т. Кларк. – Х. : Гос. науч.-техн. изд-во Украины, 1934. – 368 с.

51. Грандберг И. И. Практические и семинарские занятия по органической химии : пособие для студ. вузов / И. И. Грандберг. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Дрофа, 2001. – 352 с.
52. О.І. Кононський Органічна хімія: Практикум/ Кононський О.І. –Київ: Вища школа», 2002. –247с.
53. Мурликіна Н.В.Органічна хімія. Лабораторний практикум. Вправи і завдання : навч. посібник / Н. В. Мурликіна, О. І. Упатова, О. Г. Уклеїна. Харк. держ. ун-т. харч. та торгівлі. – Харків : ХДУХТ, 2014. – 211 с.
54. Головтеева А.А. Лабораторный практикум по химии и технологии кожи и меха / А.А. Головтеева, Д.А. Куциди, Л.Б. Санкин и др. – Москва: Легпромбытизиздат, 1987. –312с.
55. Сакалова Г.В. Лабораторний практикум для самопідготовки і проведення лабораторних занять з біоорганічної хімії / Сакалова Г.В., Сковрунська Т.П. –Вінниця: ВДПУ, 2014. – 60с.

### III ДОВІДКОВА ЛІТЕРАТУРА

56. Койне Г. Химия. Справочное руководство / Г. Койне, М. Августин, Д. Демус [и др.]. – Л. : Химия, 1975. – 573 с.
57. Гордон А. Спутник химика / А. Гордон, Р. Форд. – М. : Мир, 1976. – 571 с.
58. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия, 1979. – 480 с.
59. Химические добавки к полимерам. Справочник / под ред. И. Т. Масловой. – М. : Химия, 1981. – 262 с.
60. Гороновский И. Т. Краткий справочник по химии / И. Т. Гороновский, Ю. П. Назаренко, Е. Ф. Некряч. – К. : Наукова думка, 1974. – 991 с.
61. Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей / под ред. Н. В. Лазарева и Э. Н. Левиной. – Л. : Химия, 1976. – Том I : Органические вещества. – 1976. – 590 с.
62. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник / под ред. Г. П. Беспямятнова, Ю. А. Кратова.– Л. : Химия, 1985. – 528 с.
63. Шефтель В. О. Вредные вещества в пластмассах. Справочник / В. О. Шефтель. – М. : Химия, 1991. – 544 с. – ISBN 5-7245-0590-8.
64. Мельников Н. Н. Химические средства защиты растений. Справочник / Н. Н. Мельников, К. В. Новожилов, Т. Н. Пылова. – М. : Химия, 1980. – 288 с.
65. Машковский М. Д. Лекарственные средства: пособие для врачей / М. Д. Машковский. – М. : Медицина, 1967. – Ч. I. – 1967. – 706 с.; Ч. II. – 1967 – 462 с.
66. Справочник биохимика / Р. Досон, Д. Эллиот, У. Эллиот, К. Джонс. – М. : Мир, 1991. – 543 с. – ISBN 5-03-001032-7.

## Додаток А

### Фізичні константи органічних сполук

#### Позначення:

Мол. маса –	молекулярна маса;	вз. –	хімічно взаємодіє з водою;
$T_{пл}$ , °С –	температура плавлення в °С при 760 мм рт. ст. або при тиску, зазначеному в дужках;	∞ –	змішується у будь-яких співвідношеннях;
$T_{пл}$ , °С –	температура кипіння в °С при 760 мм рт. ст. або при тиску, зазначеному в дужках;	ац –	ацетон;
$d_4^{20}$ –	відносна густина твердих і рідких речовин (відносно води при температурі 4 °С) при 20 °С або при температурі, зазначеній в дужках, а також газів у зрідженому стані при 0 °С і 760 мм рт. ст., густина газів наведена в г/л;	бз –	бензол;
$n_D^{20}$ –	показник заломлення при температурі 20 °С або при температурі, зазначеній в дужках;	гл –	гліцерин;
розкл. –	розкладається (цифра після означає, що за даної температури речовина розкладається, цифра перед означає, що речовина плавиться або кипить і одночасно розкладається);	е –	дітиловий етер;
субл. –	сублімується (цифра перед означає, що за даної температури речовина сублімується);	оцт. к –	оцтова кислота;
виб. –	вибухає;	мет –	метиловий спирт;
гар. –	гарячий;	сп –	етиловий спирт;
хол. –	холодний;	тол –	толуол;
		хл –	хлороформ;
		в різн. –	розчиняється в багатьох органічних розчинниках;
		тв. –	твердий стан речовини;
		н –	нерозчинна речовина;
		в. р. –	важкорозчинна речовина;
		д. р. –	добре розчинна речовина;
		р –	розчинна речовина;
			розчинність твердих речовин наведена в грамах на 100 г води при 20 °С або при температурі, зазначеній в дужках; розчинність газів наведена в мілілітрах на 100 г води.

Таблиця А.1 – Фізичні константи органічних сполук

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кип}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних роз- чинниках
1	Адипінова кислота	$HO_2C(CH_2)_4CO_2H$	146,14	1,366	153	265 (100)	—	1,5 (15 °C)	сп, е
2	Азобензол	$C_6H_5N = NC_6H_5$	182,23	1,203	68	297	—	н	сп, бз
3	Азоксибензол	$C_6H_5(NON)C_6H_5$	198,23	1,246	36	розкл.	1,6644 (26 °C)	н	сп, е
4	Акрилова кислота	$CH_2 = CHCO_2H$	72,06	1,062 (16 °C)	13	141	1,4224	$\infty$	сп, е
5	Акрилонітрил	$CH_2 = CHCN$	53,06	0,797	-82	78 – 79	1,393	р	сп, е
6	$\alpha$ -Аланін	$CH_3CH(NH_2)CO_2H$	89,10	—	295 розкл.	> 200 субл.	—	р	—
7	Алізарин (1,2-діоксантрахінон)	$C_6H_4(CO)_2C_6H_2(OH)_2$	240,22	—	290	430	—	в. р.	сп, е, бз, опт. к
8	Аліловий спирт	$CH_2 = CHCH_2OH$	58,08	0,8551 (15 °C)	-129	97	1,4127	$\infty$	сп, е, бз
9	н-Аміл бромистий	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2Br$	151,05	1,2237 (15 °C)	-95,3	129,7	1,4444	н	сп, е
10	ізо-Аміл бромистий	$(CH_3)_2CHCH_2CH_2Br$	151,05	1,2095 (15 °C)	-112	121	1,4433	н	сп, е
11	ізо-Аміл йодистий	$(CH_3)_2CHCH_2CH_2I$	198,05	1,515 (18 °C)	—	147,7	—	н	сп, е
12	н-Аміл хлористий	$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2Cl$	106,60	0,8866 (15 °C)	-99	108,4	1,4119 (18 °C)	н	сп, е
13	ізо-Аміл хлористий	$(CH_3)_2CHCH_2CH_2Cl$	106,60	0,893	—	99,4	1,4112 (18 °C)	н	сп, е
14	Аміл хлористий вто- ринний	$(CH_3)_2CHCH_2CH_2Cl$	106,6	0,870	—	96,7 (746)	1,4060	н	сп, е



Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кпл}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних роз- чинниках
15	ізо-Аміловий спирт	$(CH_3)_2CH(CH_2)_2OH$	88,15	0,812	-117,2	132	1,4058	2,6	сп, е, бз
16	н-Аміловий спирт	$CH_3(CH_2)_3CH_2OH$	88,15	0,8144	-79	137,8	1,4101	2,7	сп, е
17	трет-Аміловий спирт	$(CH_3)_2(C_2H_5)COH$	88,15	0,8135 (15 °C)	< -8	102	1,4058	12,5	сп, е, бз, хл, гл
18	п-Аміноазобензол	$C_6H_5N=NC_6H_4NH_2$	197,24	—	126	> 360	—	н	е, бз, хл, гар. сп
19	п-Амінобензойна кис- лота	$H_2NC_6H_4CO_2H$	137,14	—	187	субл.	—	р	сп, е
20	п-Аміносаліцилова ки- слота	$H_2NC_6H_3(OH)CO_2H$	153,14	—	220 розкл.	—	—	р	сп, в. р. е
21	о-Амінофенол	$NH_2C_6H_4OH$	109,13	—	174	субл.	—	1,70 (0 °C)	сп, е
22	м-Амінофенол		109,13	—	123	—	—	2,6	сп, е
23	п-Амінофенол		109,13	—	186 розкл.	субл.	—	—	1,1 (0 °C)
24	о-Анізидин	$CH_3OC_6H_4NH_2$	123,16	1,0923	5	225	1,5754	в. р.	сп, е
25	п-Анізидин			1,061 (57 °C)	57,2	243	1,5559 (67 °C)	в. р.	сп, е
26	Анізол	$C_6H_5OCH_3$	108,14	0,9940	-37,3	154	1,5170	н	сп, е
27	Анілін	$C_6H_5NH_2$	93,13	1,022	-6	184,4	1,5855	3,4	сп, е, бз
28	Анілін солянокислий	$C_6H_5NH_2HCl$	129,59	1,222 (4 °C)	198	245	—	р	сп
29	Анісовий альдегід	$CH_3OC_6H_4CHO$	136,15	1,123	0	248	1,5764 (13 °C)	в. р.	сп, е
30	Антрахілова кислота	$H_2NC_6H_4CO_2H$	137,14	—	145	субл.	—	0,4	сп, е
31	Антрахінон	$(C_6H_4)_2(CO)_2$	208,22	1,438	286 субл.	379 – 381	—	н	в. р. сп, е, бз, гар. тол

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кпл}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних роз- чинниках
32	Антрацен	$C_{14}(CH)_2C_6H_4$	178,24	1,25 (27 °C)	216,1 субл.	340	—	н	е, CS <sub>2</sub> , хл, бз
33	Ацеталь	$CH_3CH(OC_2H_5)_2$	118,18	0,8254	—	104	1,3805	4,58 (25 °C)	сп, е
34	Ацетальдегід	$CH_3CHO$	44,05	0,7780	-123,5	21	1,3313	∞	сп, е, бз
35	Ацетамід	$CH_3CONH_2$	59,07	1,159	82 – 83	222	—	97,5	сп, гл, хл
36	Ацетанлід	$C_6H_5NHCOSCH_3$	135,17	1,21 (4 °C)	114	305	—	0,56 (25 °C)	сп, мет, хл, е
37	Ацетангідрид	$(CH_3CO)_2O$	102,09	1,82	-73,1	140 розкл.	1,3904	13,6	е, бз, хл
38	Ацетил хлористий	$CH_3COCl$	78,50	1,1051	-112	51 – 52	1,3898	вз.	е, бз, хл
39	Ацетилен	$CH\equiv CH$	26,05	1,173 г/л	-80,8 (962)	-84,1 субл.	—	100 мл	ац, сп, бз, хл, оцт. к
40	Ацетилцеллоза	$[C_6H_7O_2(OOCCN_3)_3]_n$	(288,3) <sub>n</sub>	1,3 – 1,4	—	—	—	н	хл, оцт. к
41	Ацетон	$(CH_3)_2CO$	58,08	0,792	-95	56	1,3589	∞	сп, е, хл
42	Ацетонітрил	$CH_3CN$	41,05	0,7828	-44,9	81,6	1,3442	∞	сп, е
43	Ацетоцтовий естер	$CH_3COCN_2CO_2C_2H_5$	130,14	1,025	< -45	180 розкл.	1,4209 (16 °C)	14,3	в різн.
44	Ацетофенон	$CH_3COC_6H_5$	120,15	1,0281	19,7	202,3	1,5342	н	сп, е, хл, бз
45	Бензальдегід (бензойний альдегід)	$C_6H_5CHO$	106,13	1,0447	-26	179,5	1,5455	0,33	сп, е
46	Бензантрон	$C_{17}H_{10}O$	230,27	—	171,4 – 172,4	—	—	н	сп, ксилол
47	Бензидин	$H_2NC_6H_4C_6H_4NH_2$	184,24	1,250	128	401,7	—	0,04 (12 °C)	сп, е
48	Бензил хлористий	$C_6H_5CH_2Cl$	126,59	1,1026 (18 °C)	-39	179	1,5415 (15 °C)	н, вз. гар.	сп, е

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кип}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних роз- чинниках
49	Бензил ціаністий	$C_6H_5CH_2CN$	117,15	1,015 (18 °C)	-23,8	234	1,5211 (25 °C)	н	сп, е
50	Бензиламін	$C_6H_5CH_2NH_2$	107,16	0,9826	—	185	1,5401	∞	сп, е
51	Бензилацетат	$CH_3COOCH_2C_6H_5$	150,18	1,0587 (18,5 °C)	-51,5	214,9	1,5032	в. р.	сп, е
52	Бензиліден хлористий	$C_6H_5CHCl_2$	161,03	1,2557 (14 °C)	-16	207	1,5502	н	сп, е
53	Бензиловий спирт	$C_6H_5CH_2OH$	108,14	1,045	-15,5	205	1,5403	4	сп, е, ац
54	Бензоїл хлористий	$C_6H_5COCl$	140,57	1,219 (15 °C)	-0,6	198	1,5537	вз.	е, бз, $CS_2$
55	Бензоїлу перекис	$(C_6H_5CO)_2O_2$	242,23	—	103,5	розкл.	—	в. р.	сп, е, бз, $CS_2$
56	Бензойна кислота	$C_6H_5CO_2H$	122,13	1,266 (15 °C)	122,3	250	1,5397 (15 °C)	0,3	сп, е, мет, ац, $CS_2$
57	Бензойний ангідрид	$(C_6H_5CO)_2O$	226,23	1,1989 (15 °C)	42	360	1,5767 (15 °C)	н	сп, е
58	Бензол	$C_6H_6$	78,11	0,8790	5,5	80,1	1,5011	0,08	сп, е, ац, $CS_2$
59	Бензолеульфокислота	$C_6H_5SO_3H$	158,18	—	65 – 66	розкл.	—	р	сп
60	Бензонітрил	$C_6H_5CN$	103,13	1,0051	-13	191	1,5289	в. р.	сп, е
61	Бензотрихлорид	$C_6H_5CCl_3$	195,48	1,3723	-22	214	1,5584	вз.	сп, е, бз
62	Бензофенон	$C_6H_5COC_6H_5$	182,22	1,1128	49	306 субл.	1,6014	н	сп, е, хл
63	Бромобензол	$C_6H_5Br$	157,02	1,5017 (15 °C)	-30,6	156	1,5598	0,045 (30 °C)	сп, е, бз
64	α-Бромонафталін	$C_{10}H_7Br$	207,08	1,4875	6,2	281	1,6582	р. гар.	сп, е, бз
65	Бурштинова кислота	$HO_2C(CH_2)_2CO_2H$	118,09	1,564 (16 °C)	183	235 розкл.	—	6,8	сп, мет, ац
66	н-Бутил бромистий	$CH_3CH_2CH_2CH_2Br$	137,03	1,2686 (25 °C)	-112,3	101,3	1,4398	р	сп, е

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кип}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних роз- чинниках
67	ізо-Бутил бромистий	$(CH_3)_2CHCH_2Br$	137,03	1,2720 (15 °C)	-118,5	91 (766)	1,4391 (15 °C)	н	сп, е
68	н-Бутил йодистий	$CH_3CH_2CH_2CH_2I$	184,02	1,6166	-103,5	131	1,5001	н	сп, е
69	ізо-Бутил йодистий	$(CH_3)_2CHCH_2I$	184,02	1,606	-90,7	120	1,4960	н	сп, е
70	н-Бутил хлористий	$CH_3CH_2CH_2CH_2Cl$	92,57	0,8920	-123,1	78,5	1,4022	0,1	сп, е
71	ізо-Бутил хлористий	$(CH_3)_2CHCH_2Cl$	92,57	0,8829 (15 °C)	-131,2	68,8	1,4010 (15 °C)	н	сп, е
72	ізо-Бутиловий спирт	$(CH_3)_2CHCH_2OH$	74,12	0,803	-108	108	1,3977 (15 °C)	9,5	сп, е
73	н-Гексильовий спирт	$C_6H_{13}OH$	102,18	0,8186	< -46	157,2	1,4179	0,59	сп, е
74	Гідрохінон (п-діоксифензол)	$C_6H_4(OH)_2$	110,11	1,358	170,5	286,2	—	5,9 (15 °C)	сп, е
75	Глікокол (гліцин)	$NH_2CH_2CO_2H$	75,07	1,61	233 розкл.	—	—	25,3 (25 °C)	—
76	Гліколь (етиленгліколь)	$CH_2OH-CH_2OH$	62,07	1,1088	-12,3	розкл. 197,2	1,4318	$\infty$	сп, мет, ац, оцт. к
77	Гліцерин	$CH_2OH(CH_2OH)_2$	92,10	1,2613	18,6	290 розкл.	1,4740	$\infty$	сп, е
78	Діазамінобензол	$C_6H_5N=NNHC_6H_5$	197,24	—	98 – 99	розкл., виб.	—	н	е, бз, гар. сп
79	Діазооцтовий естер	$N_2CH-COOC_2H_5$	114,1	1,085 (18 °C)	-22	141 (720) розкл.	1,4588 (18 °C)	в. р.	сп, е, бз
80	N,N-Диметиланілін	$C_6H_5N(CH_3)_2$	121,9	0,9557	2,45	194,15	—	в. р.	сп, е, ац, бз, д. р. хл
81	Дифеніламін	$(C_6H_5)_2NH$	169,23	1,159	54	302	1,5882 (70 °C)	0,03	е, мет, сп, бз
82	о-Дихлоробензол	$C_6H_4Cl_2$	147,01	1,3059	-17,5	180,5	1,5515	н	сп, е, бз

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кип}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних роз- чинниках
83	п-Дихлоробензол	$C_6H_4Cl_2$	147,01	1,458	53	174	1,5285 (60 °C)	0,08 (30 °C)	е, хл, бз, гар, сп
84	Діетилгліколь	$HOCH_2CH_2OCH_2CH_2OH$	106,12	1,1177	—	130 (14)	1,4472	р	сп, е, ац
85	Діетилловий етер	$(C_2H_5)_2O$	74,12	0,7135	-116,3	34,5	1,3527	7,5	сп, хл, бз
86	Етан	$CH_3CH_3$	30,07	1,357 г/л	-182,8	-88,7	—	4,7 мл	сп
87	Етил бромистий	$CH_3CH_2Br$	108,97	1,4555	-119	38,4	1,4248	0,9	сп, е
88	Етил йодистий	$CH_3CH_2I$	155,97	1,9358	-108,5	72,3	1,5137	0,4	сп, е, бз, хл
89	Етиламін	$CH_3CH_2NH_2$	45,09	0,7057 (0 °C)	-81	16,6	—	∞	сп, е
90	Етиламілін	$C_6H_5NHC_2H_5$	121,18	0,963	-63,5	205	1,5556	н	сп, е
91	Етилбензол	$C_6H_5CH_2CH_3$	106,17	0,8669	-94	136,2	1,4959	0,21 (25 °C)	сп, е
92	Етилен	$CH_2=CH_2$	28,05	1,260 г/л	-169,4	-104	1,363 (-100 °C)	25,6 мл (0 °C)	сп, е
93	Етилен бромистий (1,2-диброметан)	$BrCH_2CH_2Br$	187,87	2,1785	10	131,7	1,5379	0,43 (30 °C)	сп, е, хл
94	Етилен хлористий (1,2-дихлоретан)	$ClCH_2CH_2Cl$	98,96	1,2521	-35,3	83,7	1,4443	0,87	сп, е, хл
95	Етиловий спирт	$C_2H_5OH$	46,07	0,7893	-117	78,3	1,3614	∞	в різн.
96	Кумол (ізопропілбен- зол)	$C_6H_5CH(CH_3)_2$	120,19	0,8618	96,028	152,39	1,4915	н	сп, е, бз, ∞ ац, CCl <sub>4</sub>
97	м-Ксилол	$C_6H_4(CH_3)_2$	106,17	0,8642	—	139,1	1,4972	н	д. р. сп, е, ∞ ац, бз
98	п-Ксилол		106,17	0,8611	13,26	138,35	1,4958	н	д. р. сп, е, ац, бз
99	Масляна кислота	$CH_3CH_2CH_2COOH$	88,11	0,9577	-5,5	164	1,3980	д. р.	сп, е
100	Малеїнова кислота	$HOOCCH=CHCOOH$	116,07	1,590	130,5 розкл.	—	—	д. р.	сп, е

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кпл}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних роз- чинниках
101	Малеїновий ангідрид	$C_4H_2O_3$	98,06	1,48 тв.	60	199,9	—	в. р.	в. р. е, розкл. гар. сп, д. р. ац, хл, бз, в. р. ССІ4
102	ізо-Масляна кислота	$(CH_3)_2CHCO_2H$	88,11	0,9504	-47,0	154,7	1,393	20	сп, е, хл
103	н-Масляний альдегід	$CH_3CH_2CH_2CHO$	72,11	0,8016	-97	75	1,3791	3,7	сп, е
104	Метакрилова кислота	$CH_2 = C(CH_3)COOH$	86,09	1,0153	16	160,5	1,4314	р	сп, е
105	Метанілова кислота	$NH_2C_6H_4SO_3H \cdot 1,5 H_2O$	200,23	—	розкл.	—	—	0,67	в. р. сп, е
106	Метил бромистий	$CH_3Br$	94,94	1,732 (0 °C)	-93,7	3,6	—	в. р.	сп, е, хл, бз
107	Метил йодистий	$CH_3I$	141,94	2,279	-64	42,5	1,5315	1,4	сп, е
108	Метил хлористий	$CH_3Cl$	50,48	2,31 г/л	-97,6	-23,7	—	400 мл	сп, оцт. к
109	Метилакрилат	$CH_2 = CHCOOCH_3$	86,09	0,953	—	80,5	1,3984	н	сп, е
110	Метиламін	$CH_3NH_2$	31,06	0,699 (-10,8 °C)	-92,5	-7,55	—	д. р.	сп, е
111	Метиланлін	$C_6H_5NHCH_3$	107,16	0,9891	-57	196	1,5702	н	сп, е, хл
112	Метилметакрилат	$CH_2 = C(CH_3)COOCH_3$	100,12	0,936	-50	100	1,413	н	сп, е
113	$\alpha$ - Метилнафталін	$C_{10}H_7CH_3$	142,2	1,025 (14 °C)	-22	241	—	н	сп, е
114	Метилловий спирт	$CH_3OH$	32,04	0,791	-97,8	64,7	1,3286	$\infty$	в різн.
115	Метилловий естер	$CH_3OCH_3$	46,07	1,617 г/л	-138,5	-23,6	—	3700 мл (18 °C)	сп, е
116	Монохлороцтова кислота	$CH_2ClCO_2H$	94,50	1,58	61 – 62	189	1,4297 (65 °C)	д. р.	сп, хл, бз
117	Сечовина (карбамід)	$H_2NCONH_2$	60,06	1,335	132,7	розкл.	—	108	сп, мет
118	Нафталін	$C_{10}H_8$	128,18	1,145	80,1	218	1,5898 (85 °C)	0,003	е, бз, тол, хл, гар. сп

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кип}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних ро- зчинниках
119	$\alpha$ -Нафталінсульфо- кислота	$C_{10}H_7SO_3H$	208,23	—	90	—	—	д. р.	сп, в. р. е
120	$\beta$ -Нафталінсульфо- кислота		208,23	1,441 (25 °C)	102	розкл.	—	—	д. р.
121	$\alpha$ -Нафтиламін	$C_{10}H_7NH_2$	143,19	1,12	50	301	1,6703 (51 °C)	0,17	сп, е
122	$\beta$ -Нафтиламін		143,19	1,06 (98 °C)	113	306,1	1,6493 (98 °C)	гар.	сп, е
123	Нафтіонова кислота	$H_2NC_{10}H_6SO_3H$	223,25	—	розкл.	—	—	в. р.	—
124	$\alpha$ -Нафтол	$C_{10}H_7OH$	144,17	1,224 (4 °C)	96	280	1,6206 (99 °C)	н. хол., р. гар.	сп, е, хл, бз
125	$\beta$ -Нафтол		144,17	1,217 (4 °C)	122	286	—	0,074 (25 °C)	сп, е, хл, бз
126	м-Нітроанілін	$O_2NC_6H_4NH_2$	138,13	1,43	114	285 розкл.	—	0,1	сп, мет, е
127	п-Нітроанілін	$O_2NC_6H_4NH_2$	138,13	1,437 (14 °C)	148	> 260 розкл.	—	0,08	сп, мет, е
128	м-Нітробензойна кислота	$C_6H_4(NO_2)COOH$	167,12	1,494 (4 °C)	141,4	—	—	0,31	сп, е
129	п-Нітробензойна кислота		167,12	1,550 (32 °C)	субл.	—	—	—	0,02
130	Нітробензол	$C_6H_5NO_2$	123,11	1,1986 (25 °C)	5,7	210,9	1,5526	0,19	в різн.
131	Нітрогліцерин	$C_3H_5(ONO_2)_3$	227,09	1,6009 (15 °C)	13,2	виб. 260	1,482	0,18	сп, мет, е
132	Нітрозобензол	$C_6H_5NO$	107,11	—	68	57 – 59	—	н	сп, е, хл
133	$\alpha$ -Нітронафталін	$C_{10}H_7NO_2$	173,17	1,331 (4 °C)	61,5	304	—	н	CS <sub>2</sub> , е, хл, сп

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кпл}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних ро- зчинниках
134	о-Нітротолуол	$C_6H_4(CH_3)NO_2$	137,14	1,163	< -4	222,3	1,5474	0,07 (30 °C)	сп, е, бз, хл
135	п-Нітротолуол		137,14	1,226 (15 °C)	54,5	237,7	—	—	е, ац, хл, бз, CS <sub>2</sub>
136	м-Нітрофенол	$O_2NC_6H_4OH$	139,11	1,479	97	194 (70)	—	1,35 (25 °C)	сп, е, бз
137	о-Нітрофенол		139,11	1,657	45	216	—	0,21	сп, е, CS <sub>2</sub> , бз
138	п-Нітрофенол	$C_6H_4NO_2$	139,11	1,479	114	279 розкл.	—	1,6 (25 °C)	сп, е, хл
139	о-Нітрохлорбензол		157,56	1,368	33	245	—	н	е, сп, бз
140	п-Нітрохлорбензол	$ClC_6H_4NO_2$	157,56	1,52	83	212	—	н	е, CS <sub>2</sub> , гар. сп
141	Олеїнова кислота	$C_{17}H_{33}COOH$	282,47	0,8906	16	268 (100)	1,4582	н	сп, е, хл, бз
142	Оцтова кислота	$CH_3COOH$	60,05	1,0492	16,6	118,1	1,3718	∞	сп, е
143	Оцтовий ангідрид	$(CH_3CO)_2O$	102,09	1,0820	73,1	140	1,3901	вз.	е, бз
144	Пентаеритрит	$C(CH_2OH)_4$	136,15	—	260	—	—	5,56 (15 °C)	—
145	Піридин	$C_5H_5N$	79,10	0,982	-42	115,4	1,51	∞	сп, е, бз
146	Піровиноградна кислота	$CH_3COCOON$	88,06	1,2668 (15 °C)	13,6	165 розкл.	1,4303 (15 °C)	∞	сп, е
147	Піролідин	$CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-NH$	71,12	0,8520 (22 °C)	—	86,6	1,4426	∞	сп, е
148	Пірослизова кислота (2-фуранкарбонова)	$C_4H_3O_3COON$	112,09	—	133	230 субл.	—	3,57 (20 °C)	сп, д. р. е
149	ізо-Пропіл бромистий	$CH_3CHBrCH_3$	123,00	1,31	-89	59,4	1,4285 (15 °C)	0,32	сп, е
150	н-Пропіл бромистий	$CH_3CH_2CH_2Br$	123,00	1,3529	-109,9	70,8	1,4341	0,25	сп, е



Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кип}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних ро-
151	ізо-Пропіл йодистий	$CH_3CH_2ICH_3$	169,99	1,7025	-90	89,5	1,4992	0,14	сп, е, бз, хл
152	н-Пропіл йодистий	$CH_3CH_2CH_2I$	169,99	1,7471	-98,8	102,5	1,5055	0,11	сп, е
153	ізо-Пропіл хлористий	$CH_3CHClCH_3$	78,54	0,859	-117	34,8	1,3811 (15 °C)	0,31	сп, е
154	н-Пропіл хлористий	$CH_3CH_2CH_2Cl$	78,54	0,8910	-122,8	46,6	1,3884	0,27	сп, е
155	ізо-Пропілбензол	$C_6H_5CH(CH_3)_2$	120,20	0,8618	-96,9	152,4	1,4912	н	сп, е, бз
156	н-Пропілбензол	$C_6H_5CH_2CH_2CH_3$	120,2	0,8620	-99,2	159,5	1,492	0,006	—
157	Пропілен	$CH_3CH=CH_2$	42,08	1,915 г/л	-185,2	-47,7	—	45 мл	сп, оцт. к
158	Пропіленгліколь	$CH_3CH(OH)CH_2OH$	76,10	1,0364	-188	—	1,4328	д. р.	сп, е
159	ізо-Пропіловий спирт	$(CH_3)_2CHOH$	60,10	0,7851	-89,5	82,2	1,3776	$\infty$	сп, е, бз
160	Пропіонова кислота	$CH_3CH_2COOH$	74,08	0,9934	-22	141,4	1,3865	$\infty$	сп, е, хл
161	Резорцин	$C_6H_4(OH)_2$	110,11	1,285 (15 °C)	110	276	—	229 (30 °C)	сп, е, гл, бз
162	Сірковуглець	$CS_2$	76,14	1,263	-108,6	46,3	1,6276	0,22	сп, е, бз
163	Синільна кислота	$HCN$	27,03	0,690	-14	26	1,254 (19 °C)	$\infty$	сп, е
164	Стеаринова кислота	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	284,49	0,9408	70	291 (100)	1,4335 (70 °C)	0,034 (25 °C)	гар. сп, хл, е
165	Стирол	$C_6H_5CH=CH_2$	104,15	0,906	-33	144,2	1,5469	0,03	сп, е, мет, ац
166	Сульфанілова кислота	$H_2NC_6H_4SO_3H$	173,19	—	288 розкл.	—	—	1,08	—
167	Терефталева кислота (п-фталева)	$C_6H_4(COOH)_2$	166,14	—	—	300 субл.	—	в. р.	гар. сп
168	Тіосечовина	$H_2NCSNH_2$	76,12	1,405	182	розкл.	—	9,18 (13 °C)	сп

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кип}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних ро- зчинниках
169	м-Толуїдин	$CH_3C_6H_4NH_2$	107,16	0,989	-31,5	203,3	1,5681	в. р.	сп, е
170	о-Толуїдин		107,16	0,9984	-16	199,8	1,5725	1,7	сп, е
171	п-Толуїдин		107,16	1,045, 0,9659 (45 °C)	43	200,3	1,5532 (59 °C)	0,74	сп, е, мет, ац, CS <sub>2</sub>
172	м-Толуїлендіамін	$CH_3C_6H_3(NH_2)_2$	122,17	—	99	292	—	гар.	сп, е
173	п-Толуїлендіамін	$CH_3C_6H_3(NH_2)_2$	122,17	—	64	273 – 274	—	р	сп, е, гар. бз
174	Толуол	$C_6H_5CH_3$	92,14	0,8669	-95	110,6	1,4969	0,047 (16 °C)	сп, е, бз, хл
175	п-Толуолсульфо- метиловий естер	$CH_3C_6H_4SO_2OCH_3$	186,23	—	28	—	—	н	сп, е, бз
176	п-Толуолсульфо- етиловий естер	$CH_3C_6H_4SO_2OC_2H_5$	200,26	1,166 (48 °C)	33 – 34	173 (15)	—	—	—
177	п-Толуолсульфонамід	$CH_3C_6H_4SO_2NH_2$	171,22	—	137,5	—	—	0,2 (9 °C)	сп
178	п-Толуолсульфохлорид	$CH_3C_6H_4SO_3Cl$	190,65	—	71	145 – 146 (15)	—	н	е, сп, бз
179	2,4,6-Трибромофенол	$C_6H_2(OH)Br_3$	330,82	2,55	-94	субл.	—	0,07	сп, е, бз, хл
180	1,3,5-Тринітробензол	$C_6H_3(NO_2)_3$	213,11	1,688	122,5	розкл., виб.	—	0,04 (16 °C)	мет, хл, бз
181	2,4,6-Тринітро-м-ксилол	$(CH_3)_2C_6H(NO_2)_3$	241,16	1,604	182	—	—	н	в. р. е, сп
182	2,4,6-Тринітротолуол (ТНТ)	$CH_3C_6H_2(NO_2)_3$	227,14	1,654	80,8	виб. 240	—	0,02 (15 °C)	бз, е, в. р. сп

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кип}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних ро- зчинниках
183	1,2,4-Трихлорбензол	$C_6H_3Cl_3$	181,45	1,446 (26 °C)	17	210	—	н	—
184	Трихлорооцтова кислота	$CCl_3COOH$	163,39	1,6237 (70 °C)	58	196,5	—	д. р.	сп, е
185	Фенетол	$C_6H_5OC_6H_5$	122,17	0,9651	-30	170	1,5074	н	сп, е
186	о-Фенілдіамін	$C_6H_4(NH_2)_2$	108,14	—	102 – 103	256 – 258	—	4,2 (35 °C)	сп, е, хл
187	п-Фенілдіамін		108,14	—	147	267	—	3,8 (24 °C)	сп, е, хл
188	Феніл-β-нафтиламін	$C_6H_5NHNC_{10}H_7$	219,29	—	108	395,5	—	н	гар. сп, е, бз
189	Фенол	$C_6H_5OH$	94,11	1,071 (25 °C)	41	181,2	1,5403 (45 °C)	7,9 $\infty > 66 ^\circ C$	сп, е, хл
190	Фенолфталеїн	$C_{20}H_{14}O_4$	318,33	1,3	254	—	—	0,18	сп, е
191	Формальдегід	$HCHO$	30,03	0,8153 (-20 °C)	-92	-19,5	—	р	е
192	Фталева кислота (о-фталева)	$C_6H_4(COOH)_2$	166,14	1,593	191 розкл.	розкл. > 191	—	0,54 (14 °C)	сп
193	Фталевий ангідрид	$C_6H_4(CO)_2O$	148,12	1,527 (4 °C)	131,6	285 субл.	—	в. р.	сп
194	Хлоробензол	$C_6H_5Cl$	112,56	1,1066	-45	132	1,5248	0,0488 (30 °C)	сп, е, хл, бз, $CS_2$
195	α-Хлоронафталін	$C_{10}H_7Cl$	162,62	1,1938	-2	259	1,6332	н	сп, е, бз, $CS_2$
196	Хлороформ	$CHCl_3$	119,37	1,4892	-63,5	61,2	1,4455	1,0 (15 °C)	сп, е, бз, ац, $CS_2$

Продовження табл. А.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$T_{пл}, ^\circ C$	$T_{кпл}, ^\circ C$	$n_D^{20}$	Розчинність	
								у воді	в органічних ро- зчинниках
197	о-Хлортолуол	$C_6H_4CH_3$	126,59	1,0817	-34	159	1,5238	н	сп, е, бз, хл
198	п-Хлортолуол		126,59	1,0697	7,5	162	1,5199 (19 °C)	н	сп, е, бз, хл
199	о-Хлорфенол	$C_6H_4OH$	128,56	1,241 (18 °C)	8,8	175,6	—	в. р.	сп, е
200	п-Хлорфенол		128,56	1,306	43	217	—	н	сп, е
201	Циклогексан	$CH_2(CH_2)_4CH_2$	84,16	0,7783	6,5	80,7	1,4262	н	сп, е
202	Циклогексен	$CH_2(CH_2)_3CH=CH$	82,15	0,8095	-103,7	83	1,4466	н	сп, е
203	Циклогексанол	$C_6H_{11}OH$	100,16	0,9624	25,15	161,1	1,4650 (22 °C)	4,2 (10 °C)	е, сп, бз
204	Циклогексанон	$C_6H_{10}OH$	98,15	0,9478	-40,2	155,6	1,4507	<sup>7</sup> (20 °C)	сп, е, ац, бз, хл
205	Щавлева кислота	HOOC-COON	90,04	1,653	189	> 150 субл.	—	9,5	сп, е

## Додаток Б

### Фізичні властивості органічних розчинників

#### Позначення:

Мол. маса – молекулярна маса;

$d_4^{20}$  – відносна густина речовин (відносно води при температурі 4 °С) при 20 °С або при температурі, зазначеній в дужках;

$n_D^{20}$  – показник заломлення при температурі 20 °С або при температурі, зазначеній в дужках;

$\dot{O}_{\text{БЕІ}}$  – температура кипіння в °С при 760 мм рт. ст. або при тиску, зазначеному в дужках;

\* – інтервал температур кипіння технічного продукту;

$T_{\text{СПАЛ}}$  – температура спалаху в °С при 760 мм рт. ст., найменша температура за якої пари рідини досягають у повітрі над її поверхнею концентрації, достатньої для спалаху при наближенні до відкритого полум'я;

$P_{\text{ММ}}$  – тиск парів рідини в мм рт. ст. при температурі 20 °С або при температурі, зазначеній в дужках;

$n$  – нерозчинна речовина;

$\infty$  – змішується у будь-яких співвідношеннях;

$v. p.$  – важкорозчинна речовина;

розчинність речовин наведена в грамах на 100 г води при 20 °С або при температурі, зазначеній в дужках;

Таблиця Б.1 – Фізичні властивості органічних розчинників

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$\dot{O}_{\text{БЕІ}}$ , °С	$P_{\text{ММ}}$ , мм рт. ст.	$n_D^{20}$	$T_{\text{СПАЛ}}$ , °С	Розчинність у воді
1	н-Пентан	$C_5H_{12}$	72,15	0,626	36	422	1,3577	< -40	0,036
2	н-Гексан	$C_6H_{14}$	86,18	0,660	68,7	120	1,3751	-22	0,014
3	н-Гептан	$C_7H_{16}$	100,21	0,684	98,4	35,6	1,3878	-17	0,0052
4	н-Октан	$C_8H_{18}$	114,23	0,703	125,6	10,5	1,3977	13	0,0015
5	н-Нонан	$C_9H_{20}$	128,26	0,718	150,7	3,22	1,4055	–	н
6	н-Декан	$C_{10}H_{22}$	142,29	0,730	174	2,68	1,4120	446	н
7	Циклогексан	$C_6H_{12}$	84,16	0,779	81	78,4	1,4290	-18	н
8	Бензол	$C_6H_6$	78,11	0,879	80,2	75	1,5011	-16	0,08
9	Толуол	$C_6H_5CH_3$	92,14	0,866	110	22,3	1,4969	~5	0,05

Продовження табл. Б.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$\rho_{4}^{20}$ , °C	$R_{MM}$ , мм рт. ст.	$n_D^{20}$	$T_{спал}$ , °C	Розчинність у воді
10	Ксилол (суміш о-, м-, п-ізомерів)	$C_6H_4(CH_3)_2$	106,17	0,86 – 0,87	136 – 145	10	1,496	~20	н
11	Тетралін (тетрагідрона- фталан)	$C_{10}H_{12}$	132,21	0,970	207,6	0,3	1,5414	~75	н
12	Декалін (декагідрона- фталан) (суміш цис-, транс-ізомерів)	$C_{10}H_{18}$	138,26	0,887–0,890	185 – 195	0,6	1,48	~60	н
13	Скипидар	–	–	0,85 – 0,88	153 – 180	~4	1,46 – 1,47	~30	н
14	Сольвент кам'яновугільний	–	–	0,86 – 0,9	120 – 200	–	–	21 – 38	н
15	Керосин	–	–	0,81 – 0,84	110 – 325	–	–	–	н
<b>Нафтопродукти</b>									
16	Бензини (розчинники і екстракційні)	–	–	0,69 – 0,73	70 – 120	–	1,38 – 1,41	< –25	н
17	Уайт-спірит	–	–	0,77 – 0,795	140 – 200	–	1,42 – 1,44	> 33	н
<b>Хлороподібні вуглеводнів</b>									
18	Дихлорметан	$CH_2Cl_2$	84,93	1,326	40	349	1,4246	не спал.	1,3 (25 °C)
19	Хлороформ	$CHCl_3$	119,37	1,489	61,2 61 – 63*	160	1,4455	не спал.	1,0
20	Тетрахлорметан	$CCl_4$	153,82	1,595	76,7 75 – 78*	90,7	1,4631	не спал.	0,08
21	Дихлоретан	$CH_2Cl - CH_2Cl$	98,96	1,253	83,5	65	1,4443	~12	0,87
22	Тетрахлоретан	$CHCl_2 - CHCl_2$	167,85	1,600	146,3	5	1,4942	не спал.	н
23	Пентахлоретан	$CHCl_2 - CCl_3$	202,30	1,688	162	7	1,5054	не спал.	0,05
24	Дихлоретилен	$CHCl=CHCl$	96,94	1,291	60	205	1,452	< 10	н
25	Трихлоретилен	$CHCl = CCl_2$	131,39	1,465	87	58	1,4777	не спал.	0,1
26	Перхлоретилен (тетрахлоретилен)	$Cl_2C = CCl_2$	165,83	1,619	121,2	14,4	1,5055	не спал.	0,015 (25 °C)
27	Хлорбензол	$C_6H_5Cl$	112,56	1,107	132	8,7	1,5248	~28	0,049 (30 °C)

Продовження табл. Б.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$\rho_{\text{вкл}}, ^\circ\text{C}$	$R_{\text{мм}}, \text{мм рг. ст.}$	$n_D^{20}$	$T_{\text{спал}}, ^\circ\text{C}$	Розчинність у воді
<b>Спирти</b>									
28	Метилловий	$\text{CH}_3\text{OH}$	32,04	0,791	64,7 64 – 67*	95,7	1,3286	~0	$\infty$
29	Етиловий	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46,07	0,789	78,3	44	1,3614	12	$\infty$
30	Етиленгліколь (гліколь)	$\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$	62,07	1,114	197,2	< 0,5	1,4318	117	$\infty$
31	н-Пропіловий	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	60,10	0,804	97,2	14,5	1,3850	15	$\infty$
32	ізо-Пропіловий	$\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$	60,10	0,785	82,4	32,4	1,3776	12	$\infty$
33	Гліцерин	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$	92,10	1,261	290	–	1,4740	–	$\infty$
34	Метилцикло- гексанол	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_{10}\text{OH}$	114,19	0,91 – 0,92	160 – 195	1	1,46	~68	н
<b>Етери</b>									
35	Етиловий (діетилловий)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$	74,12	0,714	34,5	442	1,3542 (17 °C)	–40	7,5
36	Метилгліколь	$\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$	76,10	0,965	124,3 120 – 130*	8	1,4017	36	$\infty$
37	Етилгліколь	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OCH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	90,12	0,9297	235 130 – 138*	4,5	1,4075	40	$\infty$
38	н-Бутилгліколь	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OCH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$	118,18	0,9027	170,6 (743) 164 – 176*	0,9	1,4191	60	$\infty$
39	Діоксан (1,4)	$\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_2$ 	88,11	1,034	101,4 95 – 105*	27	1,4224	~5	$\infty$
40	Ізопропіловий (діізопропіловий)	$(\text{CH}_3)_2\text{CHOSCH}(\text{CH}_3)_2$	102,18	0,7281	68,3	315 (43 °C)	1,3689	7,8	0,9
41	Пропіловий	$(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2)_2\text{O}$	102,18	0,7518	90,1	100 (33 °C)	1,3803	–	25 (25 °C)
42	Бутиловий	$(\text{C}_4\text{H}_9)_2\text{O}$	130,23	0,7689	142,0	12,5 (25 °C)	1,3993	–	в. р.
<b>Естери</b>									
43	Метилформіат	$\text{HCO}_2\text{CH}_3$	60,05	0,9742	31,5 25 – 40*	478	1,3433	–18	30,4

Продовження табл. Б.1

Но- мер	Назва	Формула	Мол. маса	$d_4^{20}$	$\dot{\rho}_{\text{БЕТ}}$ , °C	$R_{\text{ММ}}$ , мм рт. ст.	$n_D^{20}$	$T_{\text{СПАЛ}}$ , °C	Розчинність у воді
44	Етилформіат	$\text{HCO}_2\text{C}_2\text{H}_5$	74,08	0,9168	54,2	193	1,3598	-19,5	11,8 (25 °C)
45	н-Пропілформіат	$\text{HCO}_2\text{C}_3\text{H}_7$	88,11	0,9006	81	64	1,3844	-3,0	2,79
46	н-Бутилформіат	$\text{HCO}_2\text{C}_4\text{H}_9$	102,13	0,8917	106	22,6	1,3891	~ 17,5	в. р.
47	Метилацетат	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}_3$	74,08	0,9390	57,3	170	1,3619	-15	31,9
48	Етилацетат	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5$	88,11	0,9006	77,15 70 – 95*	74	1,3724	-5	8,6
49	н-Пропілацетат	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_3\text{H}_7$	102,13	0,887	101,6 94 – 107*	26	1,3842	14,5	1,89
50	н-Бутилацетат	$\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$	116,16	0,8813	126 121 – 127*	18	1,3941	25	0,7
51	ізо-Амілацетат	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_5\text{H}_{11}$	130,19	0,8719	142,5	6	1,4054	25	0,2
52	Етилпропіонат	$\text{C}_2\text{H}_5\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5$	102,13	0,890	99 95 – 99*	28	1,3839	8	2,4
53	Етилбутират	$\text{C}_3\text{H}_7\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5$	116,16	0,879	120 115 – 125*	15	1,4000	22	0,51
54	Етиллактат	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5$	118,13	1,031	154,5 135 – 155*	1	1,4121 (25 °C)	43	∞
55	Етилбензоат	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5$	150,18	1,047	212,6	3,8 (70 °C)	1,5052	—	0,08
<b>Кетони</b>									
56	Ацетон	$\text{CH}_3\text{COCH}_3$	58,08	0,792	56	185	1,3589	-20	∞
57	Метилетилкетон	$\text{CH}_3\text{COC}_2\text{H}_5$	72,11	0,805	79,6	77,5	1,3814	-14	35,3 (10 °C)
58	Циклогексанон	$\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$	98,15	0,9478	156	8,5	1,4510	44	2,4 (31 °C)
59	Метилізобутилкетон	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{COC}_2\text{H}_5$	100,16	0,8006	115,65	20 (25 °C)	1,3958	15,6	1,7 (25 °C)
<b>Інші сполуки</b>									
60	Мурашина кислота	$\text{HCOOH}$	46,03	1,220	100,7	33,55	1,3714	—	∞
61	Оцтова кислота	$\text{CH}_3\text{COOH}$	60,05	1,049	118,1	11,8	1,3718	40	∞
62	Сірковуглець	$\text{CS}_2$	76,14	1,263	46,3 46 – 47*	298	1,6276	-25,5	0,22
63	Піридин	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	79,10	0,982	115,4	15,4	1,5092	20	∞



## Додаток В

### Бінарні системи: органічна сполука – вода

В таблиці наведена розчинність органічних сполук (колонка 1) у воді при різних температурах. Бінарна суміш вода – органічний компонент, як правило, утворює 2 шари, в яких вміст органічного компонента наведений в % мас. (колонка 3 та 4).

Таблиця В.1 – Бінарні системи: органічна сполука – вода

Органічний компонент	Т, °С	Масова частка органічного компонента в шарі, % мас	
		I шар	II шар
Анілін	20	3,1	95,0
	60	3,8	94,2
	100	7,2	91,6
	140	13,5	83,1
	160	24,9	71,2
	167	48,6	
Бензол	0	0,153	99,972
	20	0,175	99,950
	40	0,206	99,898
	80	0,325	99,633
Вуглець чотирхлористий (тетрахлорметан)	20	—	99,9916
о-Дихлоробензол	20	0,0134	—
	60	0,232	—
м-Дихлоробензол	20	0,0111	—
	60	0,0201	—
п-Дихлоробензол	60	0,0163	—
1,1-Дихлоретан	25	0,504	—
1,2-Дихлоретан	20	0,861	—
	30	0,866	—
Етер діетиловий	0	11,67	98,92
	20	6,89	98,64
	30	5,34	98,41
	80	2,8	97,8
Кислота бензойна	70	3,3	—
	100	7,7	69,1
	115,5	35,2	
Кислота ізомасляна (2-метилпропанова кислота)	20	22,8	55,4
	22	49	25,8
	23,3	34,7	
Кислота масляна (бутанова кислота)	-7,0	—	58,2
	-4,0	35	—
	-3,8	40,0	

Продовження табл. В.1

Органічний компонент	Т, °С	Масова частка органічного компонента в шарі, % мас	
		I шар	II шар
о-Крезол	46,2	2,9	—
	50,5	—	86,2
	134,0	8,7	—
	135,4	—	75,9
	167,3	36,4	—
	167,9	—	50,4
	168,9	41	—
м-Крезол	36,2	—	85,9
	50,8	2,7	—
	120,0	—	73,1
	121,7	10,8	—
	148,8	38	
п-Крезол	21,8	—	85,9
	29,5	2,21	—
	110,8	—	71,3
	118,5	6,9	—
	142,6	36	
Нітробензол	20	0,19	99,76
	40	0,3	99,6
	100	1	98,7
	200	7,2	91
	230	15,8	83
	244,5	50,1	
Спирт аліловий (1-пентанол)	25	2,208	—
Спирт бензиловий	20	3,92	95,14
	50	4,194	92,08
Спирт бутиловий (1-бутанол)	0	9,1	80,6
	20	6,4	80,2
	25	7,45	79,5
	80	6,4	72,7
	100	8,2	66,4
	120	14,7	52,5
	124,8	32,4	
Спирт втор-бутиловий (2-бутанол)	4,0	26,35	—
	23,0	—	64,5
	43,5	14,9	—
	107,7	21,0	—
	112,8	—	46,0
	113,8	36,0	—

Продовження табл. В.1

Органічний компонент	Т, °С	Масова частка органічного компонента в шарі, % мас	
		I шар	II шар
Спирт гексиловий (1-гексанол)	25	0,624	—
Спирт гептиловий (1-гептанол)	25	0,1807	—
Спирт ізоаміловий (3-метил-1-бутанол)	20	2,82	90,40
	30	2,56	89,85
	97,3	—	84,04
	140	4,95	—
	167	8,68	—
	186,5	25,02	44,14
	187,5	36,61	
Спирт ізобутиловий (2-метил-1-пропанол)	20	8,5	83,6
	40	7,0	81,6
	60	6,4	79,0
	80	7,2	75,2
	100	8,1	70,2
	130	21,0	51,5
	132,8	37,0	
Толуол	20	—	99,965
	40	—	99,925
	90	—	99,625
Фенол	20	8,12	71,8
	60	16,1	55,1
	66,4	34,6	
Хлорбензол	30	0,0488	—
Хлороформ	17,4	0,710	99,939
Циклогексан	19	—	99,99
Циклогексанол	7,2	5,00	—
	45,8	3,19	—
	51,55	—	87,9
	121,95	5,14	—
	130,9	—	80,2
	156,9	9,22	—
	174,3	15,00	—
	183,7	—	52,3
	184,7	32,4	—

## Додаток Г

### Густина водних розчинів кислот різної концентрації

ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація		ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація	
		моль/л	г/л			моль/л	г/л
<b>Хлоридна кислота HCl</b>							
1,000	0,360	0,0987	3,599	1,105	21,36	6,472	236,0
005	1,359	0,3745	13,65	110	22,32	6,796	247,8
010	2,363	0,6547	23,87	115	23,29	7,122	259,7
015	3,373	0,9391	34,24	120	24,25	7,449	271,6
020	4,386	1,227	44,74	125	25,22	7,782	283,7
025	5,407	1,520	55,42	130	26,19	8,118	296,0
030	6,432	1,817	66,25	135	27,17	8,459	308,4
035	7,461	2,118	77,22	140	28,17	8,809	321,2
040	8,487	2,421	88,27	145	29,17	9,159	333,9
045	9,508	2,725	99,36	150	30,14	9,505	346,6
050	10,52	3,029	110,4	155	31,14	9,863	359,6
055	11,52	3,333	121,5	160	32,14	10,22	372,8
060	12,51	3,638	132,6	165	33,16	10,59	386,1
065	13,50	3,944	143,8	170	34,18	10,97	399,9
070	14,49	4,253	155,1	175	35,20	11,34	413,6
075	15,48	4,565	166,4	180	36,24	11,73	427,7
080	16,47	4,878	177,9	185	37,27	12,11	441,6
085	17,45	5,192	189,3	190	38,30	12,50	455,6
090	18,43	5,509	200,9	195	39,37	12,90	470,5
095	19,41	5,829	212,5	198	40,00	13,14	479,1
100	20,39	6,150	224,2				

Продовження табл. Г.1

ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація		ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація	
		моль/л	г/л			моль/л	г/л
<b>Нітратна кислота HNO<sub>3</sub></b>							
1,000	0,3296	0,0523	3,296	1,140	23,94	4,330	272,8
005	1,250	0,2001	12,61	145	24,70	4,489	282,9
010	2,164	0,3468	21,85	150	25,47	4,649	292,9
015	3,073	0,4950	31,19	155	26,24	4,810	303,1
020	3,982	0,6445	40,61	160	27,00	4,970	313,2
025	4,883	0,7943	50,05	165	27,76	5,132	323,4
030	5,784	0,9454	59,57	170	28,51	5,293	333,5
035	6,661	1,094	68,94	175	29,25	5,455	343,7
040	7,530	1,243	78,32	180	30,00	5,618	354,0
045	8,398	1,393	87,77	185	30,74	5,780	364,2
050	9,259	1,543	97,22	190	31,47	5,943	374,5
055	10,12	1,694	106,7	195	32,21	6,110	385,0
060	10,97	1,845	116,3	200	32,94	6,273	395,3
065	11,81	1,997	125,8	205	33,68	6,440	405,8
070	12,65	2,148	135,3	210	34,41	6,607	416,3
075	13,48	2,301	145,0	215	35,16	6,778	427,1
080	14,31	2,453	154,6	220	35,93	6,956	438,3
085	15,13	2,605	164,1	225	36,70	7,135	449,6
090	15,95	2,759	173,9	230	37,47	7,315	460,9
095	16,76	2,913	183,6	235	38,25	7,497	472,4
100	17,57	3,068	193,3	240	39,02	7,679	483,8
105	18,38	3,224	203,1	245	39,80	7,864	495,5
110	19,19	3,381	213,0	250	40,58	8,049	507,2
115	20,00	3,539	223,0	255	41,36	8,237	519,0
120	20,79	3,696	232,9	260	42,14	8,426	530,9
125	21,59	3,854	242,9	265	42,92	8,616	542,9
130	22,38	4,012	252,8	270	43,70	8,808	555,0
135	23,16	4,171	262,8	275	44,48	9,001	567,2

Продовження табл. Г.1

ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація		ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація	
		моль/л	г/л			моль/л	г/л
1,280	45,27	9,195	579,4	1,430	74,09	16,81	1059
285	46,06	9,394	591,9	435	75,35	17,16	1081
290	46,84	9,590	604,3	440	76,71	17,53	1105
295	47,63	9,789	616,8	445	78,07	17,90	1128
300	48,42	9,989	629,5	450	79,43	18,28	1152
305	49,21	10,19	642,1	455	80,88	18,68	1177
310	50,00	10,39	654,7	460	82,39	19,09	1203
315	50,85	10,61	668,6	465	83,91	19,51	1229
320	51,70	10,83	682,4	470	85,50	19,95	1257
325	52,55	11,05	696,3	475	87,28	20,43	1287
330	53,41	11,27	710,2	480	89,07	20,92	1318
335	54,27	11,49	724,0	485	91,13	21,48	1353
340	55,13	11,72	738,5	490	93,49	22,11	1393
345	56,03	11,96	753,6	495	95,46	22,65	1427
350	56,95	12,20	768,6	500	96,73	23,02	1451
355	57,86	12,44	783,9	501	96,98	23,10	1456
360	58,77	12,68	799,2	502	97,23	23,18	1461
365	59,69	12,93	814,8	503	97,49	23,25	1465
370	60,67	13,19	831,1	504	97,74	23,33	1470
375	61,68	13,46	848,2	505	97,99	23,40	1475
380	62,70	13,73	865,2	506	98,25	23,48	1480
385	63,74	14,01	882,8	507	98,50	23,56	1485
390	64,78	14,29	900,5	508	98,76	23,63	1489
395	65,82	14,57	918,1	509	99,01	23,71	1494
400	66,97	14,88	937,6	510	99,26	23,79	1499
405	68,10	15,18	956,5	511	99,52	23,86	1503
410	69,23	15,49	976,1	512	99,77	23,94	1508
415	70,40	15,81	996,2	513	100,00	24,01	1513
420	71,63	16,14	1017				
425	72,86	16,47	1038				

Продовження табл. Г.1

ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація		ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація	
		моль/л	г/л			моль/л	г/л
<b>Сульфатна кислота H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>							
1,000	0,261	0,0266	2,608	1,140	20,08	2,334	228,9
005	0,986	0,1010	9,905	145	20,73	2,420	237,4
010	1,731	0,1783	17,49	150	21,38	2,507	245,9
015	2,507	0,2595	25,45	155	22,03	2,594	254,4
020	3,242	0,3372	33,07	160	22,67	2,681	263,0
025	4,000	0,4180	40,99	165	23,31	2,768	271,6
030	4,745	0,4983	48,87	170	23,95	2,857	280,2
035	5,492	0,5796	56,84	175	24,58	2,945	288,8
040	6,236	0,6613	64,86	180	25,21	3,033	297,5
045	6,955	0,7411	72,68	185	25,84	3,122	306,2
050	7,706	0,8250	80,91	190	26,47	3,211	314,9
055	8,417	0,9054	88,80	195	27,10	3,302	323,8
060	9,119	0,9856	96,66	200	27,72	3,391	332,6
065	9,821	1,066	104,6	205	28,33	3,481	341,4
070	10,56	1,152	113,0	210	28,95	3,572	350,3
075	11,26	1,235	121,1	215	29,57	3,663	359,2
080	11,96	1,317	129,2	220	30,18	3,754	368,2
085	12,66	1,401	137,4	225	30,79	3,846	377,2
090	13,36	1,484	145,6	230	31,40	3,938	386,2
095	14,04	1,567	153,7	235	32,01	4,031	395,3
100	14,73	1,652	162,0	240	32,61	4,123	404,4
105	15,41	1,735	170,2	245	33,21	4,216	413,5
110	16,08	1,820	178,5	250	33,82	4,310	422,7
115	16,76	1,905	186,8	255	34,42	4,404	431,9
120	17,43	1,990	195,2	260	35,01	4,498	441,1
125	18,09	2,075	203,5	265	35,60	4,592	450,4
130	18,76	2,161	211,9	270	36,19	4,686	459,6
135	19,42	2,247	220,4	275	36,78	4,781	468,9

Продовження табл. Г.1

ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація		ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація	
		моль/л	г/л			моль/л	г/л
1,280	37,36	4,876	478,2	1,430	53,50	7,801	765,1
285	37,95	4,972	487,6	435	54,00	7,901	774,9
290	38,53	5,068	497,0	440	54,49	8,000	784,6
295	39,10	5,163	506,4	445	54,97	8,099	794,3
300	39,67	5,259	515,8	450	55,45	8,198	804,0
305	40,25	5,356	525,3	455	55,93	8,297	813,7
310	40,82	5,452	534,7	460	56,41	8,397	823,5
315	41,39	5,549	544,2	465	56,88	8,497	833,3
320	41,95	5,646	553,8	470	57,36	8,598	843,2
325	42,51	5,743	563,3	475	57,84	8,699	853,1
330	43,07	5,840	572,8	480	58,31	8,799	862,9
335	43,62	5,938	582,4	485	58,77	8,899	872,8
340	44,17	6,035	591,9	490	59,24	9,000	882,7
345	44,72	6,132	601,4	495	59,70	9,100	892,5
350	45,26	6,229	610,9	500	60,16	9,202	902,5
355	45,80	6,327	620,5	505	60,62	9,303	912,4
360	46,33	6,424	630,0	510	61,08	9,404	922,3
365	46,86	6,522	639,6	515	61,54	9,506	932,3
370	47,39	6,620	649,2	520	61,99	9,608	942,3
375	47,92	6,718	658,9	525	62,45	9,711	952,4
380	48,45	6,817	668,6	530	62,90	9,813	962,4
385	49,97	6,915	678,2	535	63,35	9,916	972,5
390	49,48	7,012	687,7	540	63,81	10,02	982,7
395	49,99	7,110	697,3	545	64,26	10,12	992,5
400	50,49	7,208	706,9	550	64,71	10,23	1003
405	51,00	7,307	716,6	555	65,15	10,33	1013
410	51,51	7,406	726,3	560	65,59	10,43	1023
415	52,02	7,505	736,0	565	66,03	10,54	1034
420	52,51	7,603	745,7	570	66,47	10,64	1044
425	53,01	7,702	755,4	575	66,91	10,74	1054



Продовження табл. Г.1

ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація		ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація	
		моль/л	г/л			моль/л	г/л
1,580	67,35	10,85	1064	1,730	80,25	14,16	1389
585	67,79	10,96	1075	735	80,70	14,28	1400
590	68,23	11,06	1085	740	81,16	14,40	1412
595	68,66	11,16	1095	745	81,62	14,52	1424
600	69,09	11,27	1105	750	82,09	14,65	1437
605	69,53	11,38	1116	755	82,57	14,78	1450
610	69,96	11,48	1126	760	83,06	14,90	1462
615	70,39	11,59	1137	765	83,57	15,03	1474
620	70,82	11,70	1147	770	84,08	15,17	1488
625	71,25	11,80	1157	775	84,61	15,31	1502
630	71,66	11,91	1168	780	85,16	15,46	1516
635	72,09	12,02	1179	785	85,74	15,61	1531
640	72,52	12,13	1190	790	86,35	15,76	1546
645	72,95	12,24	1200	795	86,99	15,92	1561
650	73,37	12,34	1210	800	87,69	16,09	1578
655	73,80	12,45	1221	805	88,43	16,27	1596
660	74,22	12,56	1232	810	89,23	16,47	1615
665	74,64	12,67	1243	815	90,12	16,68	1636
670	75,07	12,78	1253	820	91,11	16,91	1658
675	75,49	12,89	1264	821	91,33	16,96	1663
680	75,92	13,00	1275	822	91,56	17,01	1668
685	76,34	13,12	1287	823	91,78	17,06	1673
690	76,77	13,23	1298	824	92,00	17,11	1678
695	77,20	13,34	1308	825	92,25	17,17	1684
700	77,63	13,46	1320	826	92,51	17,22	1689
705	78,06	13,57	1331	827	92,77	17,28	1695
710	78,49	13,69	1343	828	93,03	17,34	1701
715	78,93	13,80	1354	829	93,33	17,40	1707
720	79,37	13,92	1365	830	93,64	17,47	1713
725	79,81	14,04	1377	831	93,94	17,54	1720

Продовження табл. Г.1

ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація		ρ, г/мл	Масова частка, %	Концентрація	
		моль/л	г/л			моль/л	г/л
1,832	94,32	17,62	1728	1,834	95,12	17,79	1745
833	94,72	17,70	1736	835	95,72	17,91	1756
<b>Оцтова кислота СН<sub>3</sub>СООН</b>							
1,001	2	0,3334	20,02	1,059	52	9,169	550,6
004	4	0,6688	40,16	060	54	9,535	572,6
007	6	1,006	60,41	062	56	9,901	594,6
010	8	1,345	80,78	063	58	10,26	616,5
013	10	1,686	101,3	064	60	10,63	638,5
015	12	2,029	121,8	065	62	10,99	660,4
018	14	2,374	142,5	066	64	11,36	682,4
021	16	2,720	163,3	067	66	11,73	704,3
024	18	3,068	184,2	068	68	12,09	726,1
026	20	3,417	205,2	069	70	12,45	748,0
029	22	3,769	226,3	069	72	12,81	769,7
031	24	4,121	247,5	069	74	13,17	791,4
034	26	4,475	268,7	070	76	13,54	813,1
036	28	4,830	290,1	070	78	13,89	834,6
038	30	5,186	311,4	070	80	14,25	855,9
040	32	5,544	332,9	070	82	14,60	877,0
043	34	5,902	354,4	069	84	14,95	898,0
045	36	6,263	376,1	068	86	15,30	918,8
047	38	6,623	397,7	067	88	15,64	939,3
049	40	6,985	419,5	066	90	15,98	959,4
051	42	7,348	441,3	064	92	16,30	978,9
052	44	7,711	463,1	062	94	16,62	998,1
054	46	8,075	484,9	059	96	16,92	1016
056	48	8,439	506,8	055	98	17,21	1034
057	50	8,804	528,7	049	100	17,47	1049

А. П. Ранський, Г. В. Сакалова

# ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ОРГАНІЧНОЇ ТА БІООРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

Навчальний посібник

Підписано до друку 10.04.19.  
Формат 64х90/16. Папір офсетний.  
Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.  
Умов. друк. арк. 9,68. Обл.-вид. арк. 9,0.  
Наклад за замовленням. Зам. № 2844.

Віддруковано з оригіналів замовника.  
ФОП Корзун Д.Ю.  
21027, а/с 8825, м. Вінниця, вул. 600-річчя, 21.  
Тел.: (0432) 69-67-69, 603-000.  
E-mail: [info@tvoru.com.ua](mailto:info@tvoru.com.ua), <http://www.tvoru.com.ua>

Видавець ТОВ «Твори»  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів  
видавничої продукції серія ДК № 6188 від 18.05.2018 р.  
21027, а/с 8825, м. Вінниця, вул. Келецька, 51а.  
Тел.: (0432) 69-67-69, 603-000.