О. І. Упатова, Н. В. Мурликіна,

Т. О. Кузнецова, О. Г. Уклеіна

ОСНОВИ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський державний університет харчування та торгівлі

О С Н О В И О Р Г А Н І Ч Н О Ї Х І М І Ї

Т Е О Р І Я І П Р А К Т И К У М

Н а в ч а л ь н и й п о с і б н и к

для організації самостійної роботи
студентів заочної форми навчання напряму підготовки
6.030510 «Товарознавство і торговельне підприємництво»

Харків
ХДУХТ
2015

УДК 547(076.5)
ББК 24.2
У 66

Автори: О. І. Упатова, Н. В. Мурликіна, Т. О. Кузнецова, О. Г. Уклеіна

Рецензенти:

проф. кафедри прикладної хімії Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, д-р фіз.-мат. наук, проф. В. О. Черановський,
доц. кафедри прикладної хімії Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, канд. хім. наук, доц. С. О. Комихов

Рекомендовано до друку вченою радою Харківського державного університету харчування та торгівлі як навчальний посібник (протокол №2 від 24.09.2015 р.).

У 66 **Основи** органічної хімії. Теорія і практикум [Електронний ресурс] : навч. посібник / О. І. Упатова, Н. В. Мурликіна, Т. О. Кузнецова, О. Г. Уклеіна ; Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. – Електроні дані. – Х. : ХДУХТ, 2015. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.
ISBN 978-966-405-384-3

Органічна хімія є основою фундаментальної, загальнопрофесійної, спеціальної підготовки студентів напряму 6.030510 «Товарознавство і торговельне підприємництво». З метою організації ефективної самостійної роботи студентів з органічної хімії кожен розділ посібника містить теоретичну частину, завдання для індивідуальної роботи. Засвоєння теоретичних і практичних основ органічної хімії дозволить сформувати у студентів комплекс хімічних знань і навиків, спрямованих на активне формування професійних компетенцій, необхідних для виконання виробничих функцій майбутніх фахівців.

УДК 547(076.5)
ББК 24.2

© Упатова О. І., Мурликіна Н. В.,
Кузнецова Т. О., Уклеіна О. Г., 2015
© Харківський державний університет харчування та торгівлі, 2015

ISBN 978-966-405-384-3

ПЕРЕДМОВА

Хімія є основою фундаментальної, загальнопрофесійної та спеціальної підготовки студентів, що навчаються за напрямом 6.030510 «Товарознавство і торговельне підприємництво». Вона являє собою інтегрований курс, що складається з трьох розділів: «Загальні основи аналітичної хімії», «Органічна хімія», «Фізична та колоїдна хімія харчових систем». Кожна з вищезазначених хімічних дисциплін має свою дидактичну основу, методики і технології навчання, організаційно-управлінські та контрольні функції.

Органічна хімія є фундаментальною дисципліною в хімічній освіті, яка сприяє активному формуванню професійних компетенцій, спрямованих на виконання виробничих функцій спеціалістів товарознавчого профілю. Засвоєння теоретичних і практичних основ органічної хімії дозволить сформувати у студентів комплекс хімічних знань і навиків щодо структури речовин, їх перетворень і можливих сфер застосування; оволодіти навичками системного аналізу якості сировини та продуктів з метою прогнозування зміни комплексу властивостей у процесі переробки, зберігання та виробництва продуктів; застосовувати досягнення сучасної хімічної науки в майбутній професійній діяльності.

Навчальний посібник складено згідно з робочою програмою дисципліни «Хімія. Органічна хімія», розробленою на підставі галузевого стандарту вищої освіти України відповідно до вимог освітньо-професійної програми підготовки фахівців за напрямом 6.030510 «Товарознавство і торговельне підприємництво» за рівнем «Бакалавр». Головним призначенням його є допомога студентам заочної форми навчання у самостійному вивченні дисципліни. Основний обсяг навантаження студентів заочної форми навчання припадає саме на самостійну роботу, керування й організація якої є засобами інтенсифікації процесу навчання і підвищення якості підготовки студентів.

Посібник включає теоретичні і довідкові матеріали, лабораторний практикум, завдання для індивідуальної роботи з 8 тем дисципліни. У вступі навчального посібника викладено правила техніки безпеки під час роботи в лабораторії органічної хімії, інформацію щодо організації самостійної роботи студентів з підготовки до лабораторних робіт, їх протоколювання. У наступних розділах наведено теоретичні відомості щодо загальної характеристики класів органічних сполук, їх будови, властивостей, а також практичне значення їх окремих представників. Увагу студентів спрямовано на ознайомлення з номенклатурою, ізомерією, хімічними властивостями, індивідуальними особливостями представників основних класів органічних сполук. Значна увага приділяється саме тим розділам курсу органічної хімії, які, з одного боку, є найбільш важливими для майбутніх спеціалістів товарознавчого профілю, а з іншого боку, дозволяють найбільш повно розкрити зміст курсу. До цих розділів відносяться «Вуглеводи», «Амінокислоти. Білки», «Ліпіди».

Паралельно з викладенням теоретичного курсу органічної хімії проводяться лабораторні роботи, що створює сприятливі умови для глибшого і ґрунтовнішого засвоєння теоретичного матеріалу, збагнення суті хімічних процесів і засвоєння хімічних законів. Як результат багаторічного науково-педагогічного досвіду викладання органічної хімії у вищих навчальних закладах, де вона виступає профілюючою дисципліною, а також з погляду традиційних і сучасних науково-методичних аспектів щодо організації і проведення лабораторного експерименту лабораторний практикум включає лише безпечні, ретельно підібрані досліди, які пропонуються для виконання у відповідній логічній послідовності.

Посібник із органічної хімії доступно, у зрозумілій формі наводить студентам техніку і методику проведення різноманітних видів навчального експерименту, призначеного характеризувати будову основних класів органічних речовин, їх властивості, ілюструвати способи їх промислового добування і основи їх практичного застосування. Більшість лабораторних робіт є пробірковими і не потребують складного лабораторного обладнання, унікальних реактивів, значних матеріальних витрат, проте вимагають бездоганної техніки їх виконання, яку слід удосконалювати впродовж вивчення дисципліни. У кожній лабораторній роботі подано докладний опис методики експерименту та пояснення щодо його виконання, акцентується увага на правилах техніки безпеки під час проведення окремих робіт, а також ретельно розглянуто хімізм реакцій, що складають основу кожного досліду.

З метою організації ефективної самостійної роботи студентів з органічної хімії кожний розділ посібника містить завдання для індивідуальної роботи з відповідних тем теоретичного або практичного характерів. Виконання індивідуальної роботи передбачає глибоке опрацювання теоретичного матеріалу як розглянутого в межах лекційного часу, так і самостійно.

Автори щиро сподіваються, що запропонований навчальний посібник допоможе студентам заочної форми навчання успішно вивчити і засвоїти органічну хімію, а також стати в нагоді під час вивчення дисциплін циклу професійної та практичної підготовки.

ПРАВИЛА РОБОТИ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ В ЛАБОРАТОРІЇ ОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

До лабораторних занять у хімічній лабораторії студенти допускаються лише після докладного інструктажу з техніки безпеки (ТБ).

Недотримання елементарних правил роботи і вимог ТБ, недбалість, невміле поводження з лабораторною технікою і незнання властивостей речовин, з якими доведеться працювати, неминуче може призвести до нещасних випадків.

Слід пам'ятати найтиповіші приклади небезпеки у роботі в лабораторії органічної хімії: отруєння кислотами, лугами, фенолом, газами; опіки термічні, їдкими речовинами, розчинами кислот чи лугів, непогашеним вапном, йодом, рідким бромом; порізи, удари; потрапляння в очі сторонніх тіл, їдких рідин; ураження електричним струмом тощо.

Студенти повинні дотримуватися таких вимог, а саме:

до початку роботи:

– розпочинати виконання дослідів лише після ретельного ознайомлення з умовами та технікою їх виконання, властивостями і призначенням усіх використовуваних реагентів і розчинників;

– знаходитися й працювати в навчальній лабораторії лише в спеціальному одязі (білих халатах);

під час роботи:

– не виходити з лабораторії без дозволу викладача, не вживати їжу в лабораторії;

– перед використанням будь-яких речовин для дослідів уважно розглянути етикетку на склянці, у якій зберігаються реактиви, для запобігання помилок, що можуть призвести до нещасних випадків;

– досліди проводити з тими кількостями й концентраціями речовин у посуді за тих умов і послідовності, які зазначені методикою;

– насипати або наливати реактиви слід на столі;

– забороняється брати реактиви незахищеними руками, для цього використовувати фарфорові ложки, шпателі або совочки;

– не дозволяється просипаний або пролитий випадково реактив зсипати або зливати назад у тару до основної кількості реактивів;

– усі операції з легкозаймистими речовинами, концентрованими кислотами та лугами і роботу з металічним натрієм проводити лише у витяжній шафі;

– забороняється залишати без нагляду запалені спиртівки, а також увімкнені електронагрівальні прилади;

– під час нагрівання рідин не зазирати в посудину (навіть у пробірку) згори, бо в разі можливого викидання нагрітої речовини можуть бути нещасні випадки;

– для уникнення викиду киплячої рідини з реакційної посудини нагрівання її проводити рівномірно, часто перемішуючи, заздалегідь помістивши на дно посудини 2–3 кип’ятильних камінці (дрібні шматочки пористого неорганічного матеріалу, наприклад неглазурованої облицювальної плитки);

– нагрівання пробірок з речовинами проводити поступово і рівномірно, тримати пробірку за допомогою спеціального затискувача похило, періодично струшуючи, спрямовуючи отвір пробірки від себе та від інших людей, які працюють у лабораторії;

– не визначати речовину за запахом, нахиляючись над отвором посудини і сильно вдихаючи пару чи газ, що виділяються, і визначати лише наступним чином – легким рухом долоні над отвором посудини спрямувати пару або газ до носа і вдихати обережно;

– закріплювати посуд у тримачах штатива, обережно обертаючи посуд навколо осі, доки не з’явиться незначне ускладнення в обертанні;

після закінчення роботи:

– залишки кислот, лугів, сірчистих сполук, вогненебезпечних рідин, а також розчини, одержані в результаті дослідів, зливати в призначені для цієї мети склянки (не виливати в раковини);

– вимити лабораторний посуд, розставити штанглази і склянки з робочими розчинами на їх місця, витерти робочу поверхню столу, закрутити водопровідні крани, вимкнути електроприлади, витяжну вентиляцію і погасити світло в лабораторії;

– ретельно вимити руки з милом.

Порядок підготовки та оформлення лабораторної роботи. До виконання лабораторної роботи допускаються студенти, які пройшли інструктаж з техніки безпеки та правил роботи в лабораторії органічної хімії, а також підготувались до виконання відповідної роботи. Порядок підготовки складається з таких етапів:

– опрацювання теоретичного матеріалу за темою лабораторної роботи;

– виконання тренувальних вправ, тестів за відповідною темою;

– виконання індивідуального завдання;

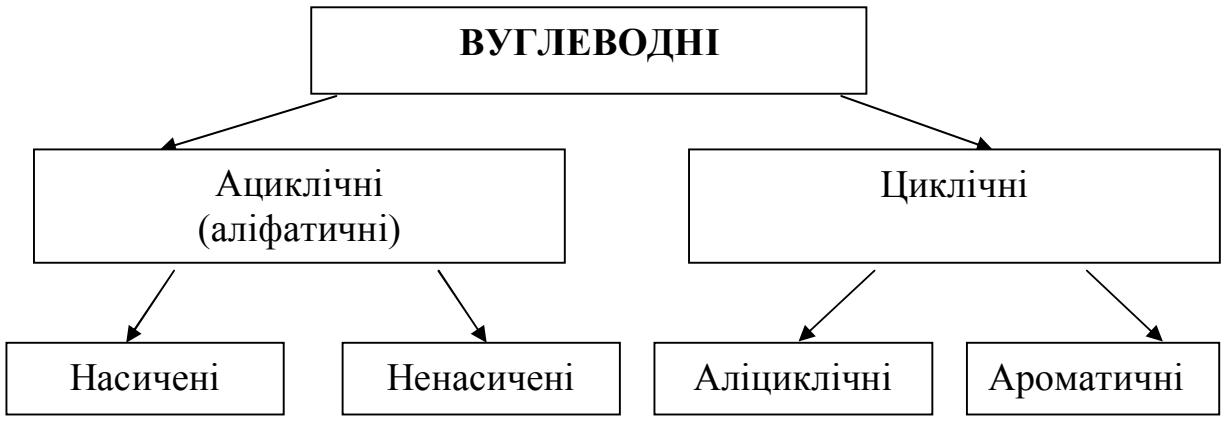
– письмове оформлення в лабораторному журналі методики виконання дослідів, схем реакцій.

Після виконання кожного досліду студент самостійно повинен записати спостереження та висновки, відповідно до мети досліду.

1. ВУГЛЕВОДНІ

Вуглеводні – органічні сполуки, молекули яких складаються з атомів двох елементів: Карбону і Гідрогену.

Класифікація вуглеводнів залежно від будови ланцюга атомів Карбону в молекулі, а також характеру зв'язків між атомами:



1.1. Насичені вуглеводні – алкани

Загальна характеристика гомологічного ряду алканів. Алкани – насичені вуглеводні з відкритим (нециклічним) ланцюгом, у молекулах яких атоми Карбону сполучені між собою σ-зв'язком.

Алкани утворюють гомологічний ряд – ряд сполук, подібних за своєю будовою та властивостями, які відповідають загальній формулі C_nH_{2n+2}. Першим членом цього ряду є метан CH_4. Кожен наступний член ряду відрізняється від попереднього на групу $–CH_2$, яка називається гомологічною різницею.

Для алканів, як і для інших органічних сполук, застосовують такі види номенклатури: тривіальну, раціональну, систематичну або міжнародну (IUPAC).

Тривіальні або емпіричні назви органічних сполук були найпершими й давалися речовинам згідно з природними джерелами одержання або способами добування, ім'ям першовідкривача тощо. За раціональною номенклатурою алкани розглядаються як похідні метану, у якому атом або декілька атомів Гідрогену заміщені на радикали. Назву складають із назв радикалів, які з'єднані з цим атомом Карбону, а в кінці додають слово «метан». Відповідну кількість однакових радикалів позначають грецькими числівниками.

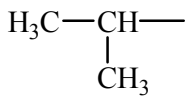
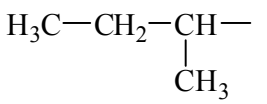
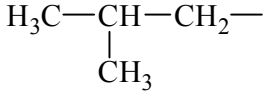
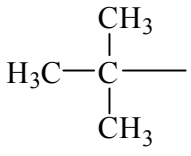
Номенклатура IUPAC включає певні положення і правила, згідно з якими утворюють назви алканів. В основу номенклатури покладені назви насичених вуглеводнів. Клас сполук позначається функціональним закінченням. Так, назви ациклічних насичених вуглеводнів мають закінчення -*ан* (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – **Номенклатура нерозгалужених алканів**

Формула	**Систематична IUPAC**
CH_4	Метан
$CH_3–CH_3$	Етан
$CH_3–CH_2–CH_3$	Пропан
$CH_3–(CH_2)_2–CH_3$	Бутан
$CH_3–(CH_2)_3–CH_3$	Пентан
$CH_3–(CH_2)_4–CH_3$	Гексан
$CH_3–(CH_2)_5–CH_3$	Гептан
$CH_3–(CH_2)_6–CH_3$	Октан
$CH_3–(CH_2)_7–CH_3$	Нонан
$CH_3–(CH_2)_8–CH_3$	Декан

Проте будову ізомерів подібні назви не відображають. Щоб назвати ізомери з розгалуженим ланцюгом, необхідно знати назви найпростіших одновалентних органічних радикалів (залишки, які утворюються внаслідок відриву атома Гідрогену від насичених вуглеводнів). Одновалентні радикали називають, замінюючи закінчення *-ан* насичених вуглеводнів на *-іл* і часто позначають як –R або –Alk.(табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – **Номенклатура поширених радикалів алканів**

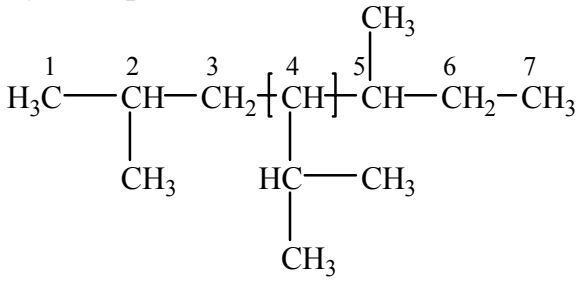
Формула	**Систематична IUPAC**
$–CH_3$	Метил
$–C_2H_5$	Етил
$H_3C–CH_2–CH_2—$	Пропіл
	Ізопропіл
$H_3C–CH_2–CH_2–CH_2—$	Нормальний бутил або *н*-бутил
	Вторинний бутил або *втор*-бутил
	Первинний ізобутил
	Третинний ізобутил або *трет*-бутил

Номенклатура розгалужених алканів підпорядкована таким правилам:

1. Для побудови назви вибирають найдовший ланцюг атомів Карбону (головний ланцюг) і нумерують його арабськими цифрами (локантами), починаючи з того кінця, до якого ближче розміщений замісник.

2. Положення замісників у головному ланцюгу позначають номером карбонового атома, біля якого знаходиться замісник. Указують номер карбонового атома (цифру), потім через дефіс назву радикалу, розташованого біля цього атома. Якщо одна й та сама алкільна група (радикал) повторюється, то в назві перед нею ставлять помножуючі префікси ди-, три-, тетра- тощо і позначають цифрою кожний алкіл окремо.

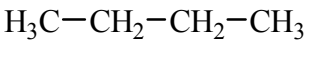
3. У кінці називають вуглеводень головного ланцюга з нормальною будовою атомів Карбону. Наприклад:



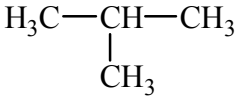
2,5-Диметил-4-ізопропілгептан

ізопропіл-*втор*-бутил-ізобутил-метан (за раціональною номенклатурою)

Ізомерія алканів. Для алканів характерна структурна ізомерія, а саме ізомерія карбонового ланцюга, що зумовлена різним порядком сполучення атомів Карбону. Тільки перші три сполуки гомологічного ряду насичених вуглеводнів не мають ізомерів – для них можливим є тільки один єдиний порядок зв'язку між атомами. Бутан C_4H_{10} існує у вигляді двох ізомерів:



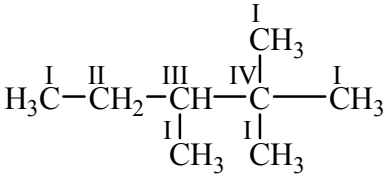
н-Бутан



2-Метилпропан

Зі збільшенням числа атомів Карбону в молекулах алканів число можливих структурних ізомерів збільшується. Так, для пентану C_5H_{12} відомо три ізомери, для октану C_8H_{18} – 18, а для декану $C_{10}H_{22}$ – 75. Звичайно, не всі вони знайдені у природних джерелах або синтезовані.

Атом Карбону в алканах залежно від числа інших атомів Карбону, з якими він сполучений, може бути первинним, вторинним, третинним і четвертинним, наприклад:



2,2,2-Триметилпентан

Первинний атом Карбону сполучений тільки з одним суміжним атомом Карбону, вторинний – з двома, третинний – з трьома і четвертинний – з чотирма.

Якщо в карбоновому ланцюгу є тільки первинні і вторинні атоми Карбону, то такий ланцюг називається нормальним або нерозгалуженим. Якщо в ланцюгу є третинні і четвертинні атоми Карбону, то ланцюг – розгалужений, і до назви алкану приєднують префікс *ізо*-, наприклад ізобутан.

Хімічні властивості. Атоми в молекулах алканів з'єднані *σ*-зв'язками, які є міцними внаслідок малорухомості *σ*-електронів. Тому насичені вуглеводні за звичайних умов інертні відносно кислот, основ, лужних металів, окисників. Але за певних умов алкани вступають у реакції:

– заміщення: галогенування, нітрування, сульфування, що відбуваються за вільно-радикальним механізмом;

– окиснення (за високих температур і надлишку кисню відбувається горіння, за більш м'яких умов і наявності каталізаторів утворюються різноманітні оксигеновмісні сполуки – кислоти, спирти та ін.);

– термічного розкладу (без доступу повітря): крекінг (470–540°С), піроліз (700–1000°С).

Практичне значення та окремі представники. *Метан* є складовою частиною природних і супутніх газів і широко використовується як промисловий і побутовий газ, а також як хімічна сировина для одержання ацетилену, синильної кислоти, метанолу, метаналю, метанової кислоти, пластмас.

Етан також входить до складу природних і супутніх газів, є сировиною для одержання багатьох органічних сполук, наприклад етилену, етанолу, етерів, естерів тощо.

Суміш *пропану* і *бутану* використовується як побутове паливо. Значна кількість бутану останнім часом переробляється на оцтову кислоту.

Широке використання знаходять суміші насичених вуглеводнів. *Вазелінове масло* (у молекулах вуглеводнів міститься до 15 атомів Карбону) – прозора рідина без запаху і смаку, яку застосовують у медицині, парфумерії, косметиці.

Вазелін (суміш рідких і твердих насичених вуглеводнів із кількістю атомів Карбону до 25) застосовують як основу для виготовлення лікувальних мазей.

Парафін (суміш твердих вуглеводнів C_{17}–C_{40}) – біла тверда маса без запаху і смаку ($T_{пл.}$=50–54°С). Його застосовують для теплових процедур при лікуванні нефритів, артритів та інших хвороб. Із парафіну виготовляють свічки, ним просочують папір, який використовують для пакування продуктів тощо.

Озокерит, або гірський віск (суміш твердих вуглеводнів), після очищення і відбілювання має білий колір, як і парафін, але відрізняється від нього вищою температурою плавлення (66–80°С). Застосовується для лікувальних теплових процедур.

Лабораторна робота №1

Насичені вуглеводні – алкани

Прилади та реактиви:

штативи з пробірками, пробірки з газовідвідними трубками, спиртівка, скляні палички.

Суміш для одержання метану	$KMnO_4$, 0,5% розчин
Br_2 (розчин у тетрахлорметані CCl_4)	NH_3, 25% розчин
Насичені вуглеводні (пентан, гексан, октан)	Br_2 в H_2O (бромна вода)

ДОСЛІД 1. Одержання метану та вивчення його властивостей

Суху пробірку на 1/5 об'єму заповнити сумішшю для одержання метану, що складається з однієї частини натрій етаноату і двох частин натронного вапна (насичений розчин натрій гідроксиду з кальцій оксидом за співвідношення 1:1), закрити пробкою з газовідвідною трубкою, закріпити в штативі та нагрівати. Газ, що виділяється, пропустити у дві, заздалегідь підготовлені пробірки, в одній з яких знаходиться 2 мл розчину калій перманганату, в іншій – 2 мл бромної води. Потім, не припиняючи нагрівання, підпалити газ, що виділяється на кінці газовідвідної трубки.

Схема одержання метану:

$$CH_3\text{–}COONa + NaOH \rightarrow CH_4 + Na_2CO_3$$

Горіння метану відбувається за схемою:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

Занотувати спостереження.

ДОСЛІД 2. Хімічні властивості насичених вуглеводнів

А. У дві пробірки внести по 10 крапель насиченого вуглеводню і додати в першу пробірку 1 мл бромної води, в другу – 1 мл розчину калій перманганату.

Занотувати спостереження.

Б. У дві сухі пробірки налити по 1 мл насиченого вуглеводню і додати по 1 мл розчину брому в тетрахлорметані. Одну пробірку виставити на світло або опромінити кварцовою лампою, другу помістити в темне місце. Коли колір брому в пробірці, яка опромінюється, зникне, порівняти її з пробіркою, яка була в темноті. Скляну паличку змочити концентрованим амоніаком та піднести до отвору пробірки, що опромінювалася.

Занотувати спостереження. Пояснити вплив опромінення світлом на реакцію бромування.

1.2. Ненасичені вуглеводні – алкени

Загальна характеристика гомологічного ряду алкенів. Алкени, олефіни або етиленові вуглеводні, – ненасичені вуглеводні, у молекулах яких атоми Карбону сполучені подвійним зв'язком C=C.

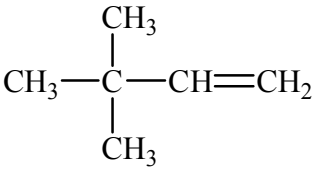
Алкени містять на два атоми Гідрогену менше, ніж алкани, і тому називаються ненасиченими вуглеводнями. Алкени утворюють гомологічний ряд, загальна формула якого C_nH_{2n}. Найпростішим представником цього ряду є етилен – C_2H_4 або $H_2C{=}CH_2$. Наступними виступають пропілен – C_3H_6 або $H_2C{=}CH{-}CH_3$, бутилен – C_4H_8 та ін. (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – **Номенклатура нерозгалужених алкенів**

Формула	**Систематична IUPAC**
$H_2C{=}CH_2$	Етен
$H_2C{=}CH{-}CH_3$	1-Пропен
$H_2C{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$	1-Бутен
$H_3C{-}CH{=}CH{-}CH_3$	2-Бутен
$H_2C{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$	1-Пентен
$H_3C{-}CH{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$	2-Пентен
$H_2C{=}CH{-}(CH_2)_3{-}CH_3$	1-Гексен
$H_2C{=}CH{-}(CH_2)_4{-}CH_3$	1-Гептен
$H_2C{=}CH{-}(CH_2)_5{-}CH_3$	1-Октен
$H_2C{=}CH{-}(CH_2)_6{-}CH_3$	1-Нонен
$H_2C{=}CH{-}(CH_2)_7{-}CH_3$	1-Децен

Для найпростіших алкенів використовують тривіальні назви – етилен, пропілен, бутилен або раціональні назви (як похідні етилену).

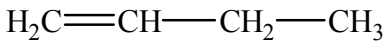
За номенклатурою IUPAC назви алкенів утворюють від назв відповідних алканів заміною закінчення *-ан* на *-ен*. Головний ланцюг повинен обов'язково включати подвійний зв'язок, і його нумерацію починають з того кінця, ближче до якого розташований подвійний зв'язок. Положення його в ланцюгу молекули позначають цифрою. Цифру прийнято ставити перед назвою головного ланцюга, але дозволяється й після закінчення *-ен*. Якщо є замісники, називають номер карбонового атома, далі – назву радикала біля нього. Радикали називають за ступенем їх ускладнення. Наприклад:



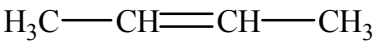
3,3-Диметил-1-бутен
трет-бутилетилен (за раціональною номенклатурою)

Назви залишків алкенів (радикалів) утворюють приєднанням до назви алкену закінчення *-іл*. Допускається використання тривіальних назв деяких залишків алкенів. Наприклад, етен має один радикал $–CH=CH_2$, який називається етеніл або вініл; пропен утворює два радикали: $–CH=CH–CH_3$ – пропеніл і $–H_2C–CH=CH_2$ – аліл.

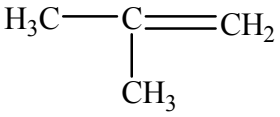
Ізомерія алкенів. Для алкенів є характерною структурна ізомерія, а саме ізомерія карбонового ланцюга та ізомерія положення подвійного зв'язку. Так, для бутену C_4H_8 відомо три ізомери:



1-Бутен

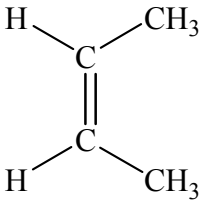


2-Бутен

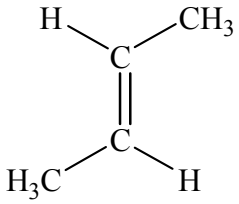


Ізобутилен або 2-метилпропен

Крім структурної ізомерії, для алкенів характерна стереоізомерія (просторова), а саме геометрична *цис-транс*-ізомерія, яка зумовлена неможливістю вільного обертання атомів Карбону відносно подвійного зв'язку. Так, 2-бутен існує у вигляді *цис-* і *транс*-ізомерів, які відрізняються взаємним розташуванням замісників відносно площини подвійного зв'язку:



Цис-2-бутен



Транс-2-бутен

У *цис*-ізомера замісники (наприклад, $–CH_3$) розташовані з одного боку від подвійного зв'язку, у *транс*-ізомера – із різних боків. Геометричні ізомери відрізняються за своїми фізичними та хімічними властивостями. Цей вид ізомерії характерний для аренів та аліциклічних сполук.

Хімічні властивості. Хімічні властивості алкенів насамперед обумовлені наявністю подвійного зв'язку, який складається з σ- і π-зв'язків. Електрони π-зв'язку розташовані далі від атомних ядер, ніж електрони σ-зв'язку, вони більш рухливі, внаслідок чого й енергія π-зв'язку менша, ніж енергія σ-зв'язку. Таким чином, алкени виявляють високу реакційну здатність, зумовлену наявністю саме π-зв'язку, який під дією реагентів, у першу чергу електрофільних, руйнується з утворенням нових σ-зв'язків, які беруть участь у реакціях приєднання.

Найбільш характерними для алкенів є наступні види реакцій:

– електофільне приєднання галогенів (галогенування), гідрогенгалогенідів (гідрогеногалогенування), води (гідратація);

– приєднання водню (каталітичне гідрування);

– полімеризація з утворенням полімерів (високомолекулярні сполуки);

– окиснення за «м'яких умов» (дія водного розчину $KMnO_4$) з утворенням діолів (двоатомних спиртів), під дією сильних окисників в умовах нагрівання з утворенням кетонів і карбонових кислот, під дією озону (озонування) з утворенням озонідів.

Практичне значення та окремі представники. *Етен* (етилен) є вихідною сировиною для добування етанолу, поліетилену, цінних розчинників, важливих напівпродуктів, на основі яких виробляють цінні синтетичні матеріали – стирол, вінілхлорид тощо. Етилен є гормоном росту, який контролює дозрівання фруктів та появу їх забарвлення. Для прискорення дозрівання фруктів застосовують метод обприскування садів етиленом. Етилен забезпечує дозрівання недозрілих плодів (наприклад, зелених томатів). Для цього достатньо навіть мінімальної кількості етилену в повітрі.

Пропен (пропілен) є напівпродуктом для синтезу ізопропілового спирту, гліцерину, ацетону, поліпропілену (застосовується для виготовлення пакувального матеріалу харчових продуктів).

Лабораторна робота №2

Ненасичені вуглеводні – алкени

Прилади та реактиви:

штативи універсальні з лапками для пробірок, пробірки з газовідвідною трубкою, сухі пробірки, спиртівка.

Етанол	H_2SO_4, 2 моль/л розчин
Бромна вода	$KMnO_4$, 0,5% розчин

ДОСЛІД 1. Одержання та властивості етилену

Зібрати прилад для одержання етилену, який показано на рис. 1.1, у витяжній шафі. У суху пробірку налити 1 мл етанолу й обережно по стінці

пробірки долити 2 мл концентрованої сульфатної кислоти, кинути в пробірку одну кипілку. Пробірку закрити пробкою з газовідвідною трубкою, закріпити в лапці штативу й обережно нагріти до кипіння. Газ, що виділяється, пропустити у дві пробірки, які містять: перша – 1 мл бромної води, друга – 1 мл розчину калій перманганату. Потім газ на кінці газовідвідної трубки підпалити. Не слід запалювати перші порції утвореного етилену, оскільки вони досить концентровані та вибухонебезпечні.

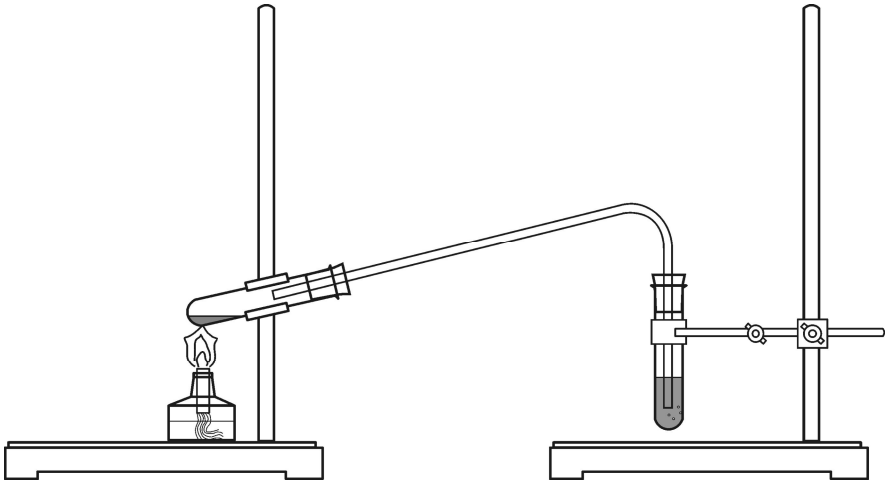
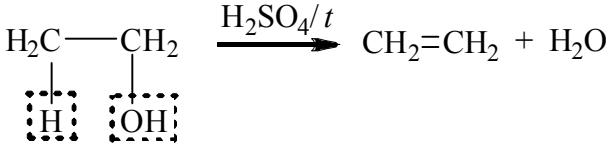


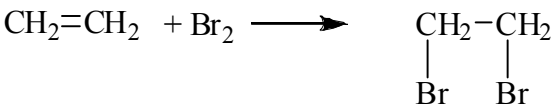
Рисунок 1.1 − Прилад для одержання етилену

Схема одержання етилену гідратацією етилового спирту:



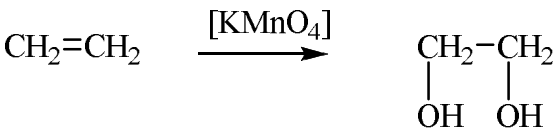
Етанол Етилен

Схема якісної реакції на кратний зв’язок (подвійний) з бромною водою:



Етилен 1,2-диброметан

Схема якісної реакції на кратний зв’язок (подвійний) з калій перманганатом:



Етилен 1,2-етандіол (етиленгліколь)

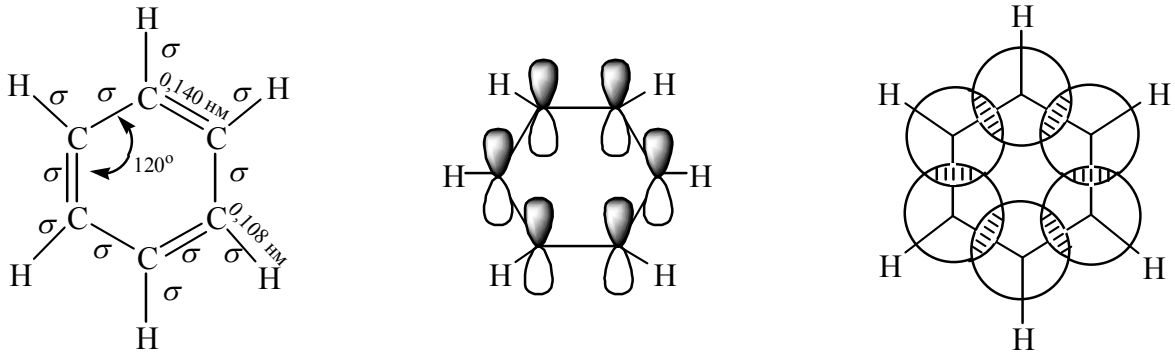
Занотувати спостереження.

1.3. Ароматичні вуглеводні – арени

Загальна характеристика гомологічного ряду аренів. Арени – вуглеводні, молекули яких містять стійке циклічне угруповання – бензенове кільце (ядро), атоми Карбону якого сполучені між собою ароматичним зв'язком.

Залежно від числа бензенових ядер у молекулі, арени поділяються на моноядерні і багатоядерні.

Найпростішою моноядерною ароматичною сполукою є бензен, молекулярна формула якого C_6H_6. Молекула бензену має будову плоского шестикутника (рис. 1.2), у якому всі зв'язки між атомами Карбону однакові за довжиною $l = 0{,}140$ нм. У той час, як $l_{C–C}$ для алканів становить 0,154 нм, а для алкенів – 0,134 нм. Атоми Карбону бензенового ядра знаходяться у стані sp^2-гібридизації, кути між зв'язками дорівнюють 120°, і всі шість атомів Карбону знаходяться в одній площині. У кожного атома Карбону залишається по одному негібридизованому *p*-електрону. Ці шість *p*-електронів розміщені перпендикулярно площині кільця з паралельними вісями і, перекриваючись своїми бічними поверхнями, утворюють суцільну електронну хмару – π-хмару:



а ***б*** ***в***

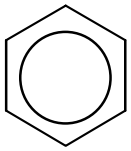
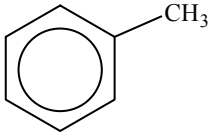
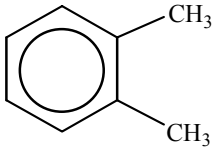
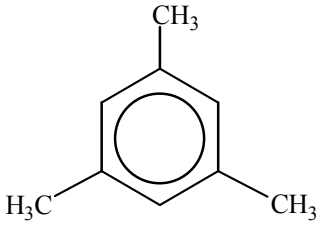
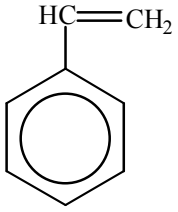
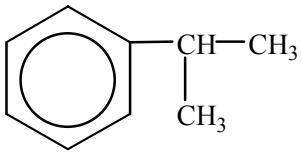
Рисунок 1.2 – Будова бензену:

***а* – структурна формула; *б* – вигляд моделі збоку; *в* – вигляд моделі зверху**

Внаслідок такого перекривання *p*-електронів утворюються дві суцільні електронні хмари, одна з яких лежить вище, а друга нижче площини молекули, утворюючи шестиелектронний π-зв'язок, спільний для всіх атомів Карбону.

Гомологами бензену вважають його похідні, у молекулах яких атоми Гідрогену заміщені на радикали. Загальна формула цих вуглеводнів C_nH_{2n-6}. Назва аренів складається з назви замісника і слова «*бензен*». Правилами IUPAC дозволяється застосовувати для деяких аренів їх тривіальні назви (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – **Номенклатура поширених аренів**

Формула	Систематична IUPAC	Тривіальна
	Бензен	Бензол
	Метилбензен	Толуол
	1,2-Диметилбензен	*о*-Ксилол
	1,3,5-Триметилбензен	Мезитилен
	Етенілбензен	Стирол
	Ізопропілбензен	Кумол

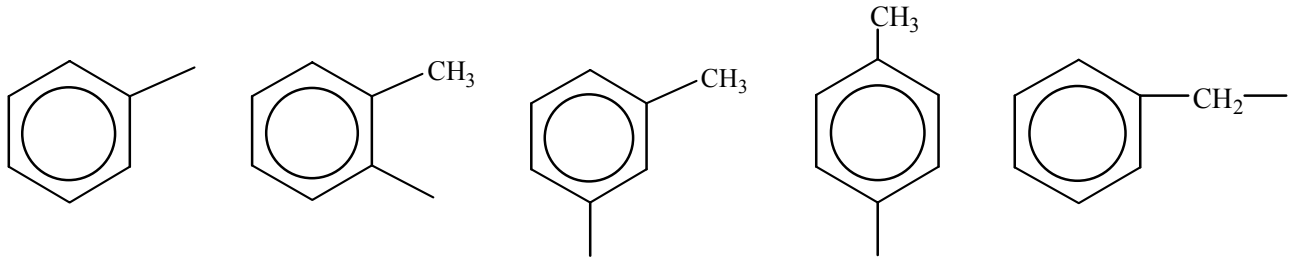
За наявності в бензеновому кільці двох і більше замісників їх положення позначають цифрами. Нумерацію атомів Карбону бензенового кільця здійснюють таким чином, щоб замісники мали якомога менші номери. У дизаміщених аренах поряд із цифровим позначенням положення замісників застосовують також префікси: *орто*- (*о*-) положення – 1,2; *мета*- (*м*) положення – 1,3; *пара*- (*п*) положення – 1,4. Вуглеводневі залишки в назвах ароматичних сполук розміщуються як префікси за алфавітним порядком або за їх старшинством. Старшинство замісників визначається в ряду:

$$CH_3 > C_2H_5 > C_3H_7 > SO_3H > R–C=O > OH > NH_2 > NO_2 > F > Cl > Br > I$$

«Старший» замісник у переліку вказується останнім. Якщо назва однієї з груп у сполученні зі словом «*бензен*» відповідає тривіальній назві, то сполуку називають як похідну цієї тривіальної сполуки.

Вищі гомологи бензену найчастіше розглядають як похідні аліфатичних вуглеводнів, що містять як замісник бензенове ядро.

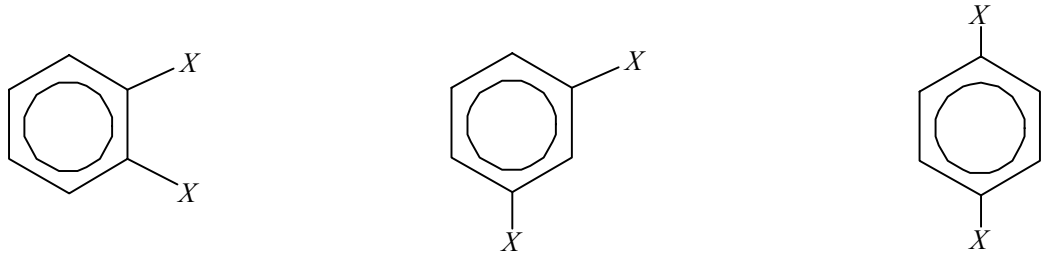
Арили – одновалентні ароматичні залишки, які можуть мати вільну валентність як у бензеновому ядрі, так і в бічному ланцюгу:



Феніл *о*-Толіл *м*-Толіл *п*-Толіл Бензил

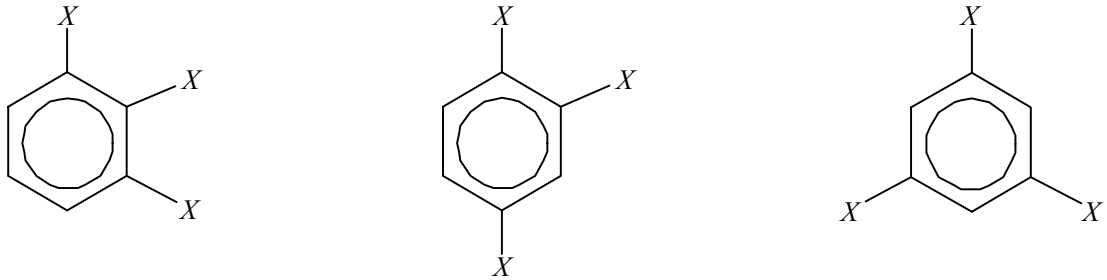
Ізомерія аренів. Для аренів характерна структурна ізомерія вуглеводневих замісників, які сполучені з бензеновим кільцем, а також ізомерія їх взаємного розташування.

Для двозаміщених аренів існує три типи ізомерів: *орто*-, *мета*-, *пара*-.



Орто-ізомер (*о*-, або 1,2-) *Мета*-ізомер (*м*-, або 1,3-) *Пара*-ізомер (*п*-, або 1,4-)

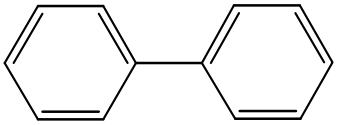
Три замісники в бензеновому кільці зумовлюють існування трьох ізомерів:



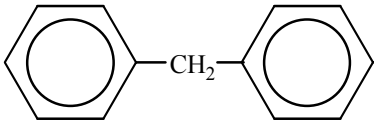
1,2,3-рядовий або віцинальний 1,2,4- або несиметричний 1,3,5- або симетричний

Загальна характеристика багатоядерних аренів. Багатоядерними ароматичними сполуками називають речовини, які мають у молекулі два або декілька бензенових ядра, які з'єднані між собою карбоновим зв'язком. Розрізняють сполуки з ізольованими бензеновими ядрами, у молекулах яких бензенові ядра з'єднані або безпосередньо, або аліфатичним ланцюгом.

Наприклад:

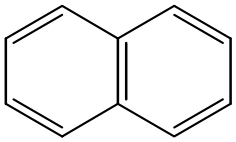


Біфеніл

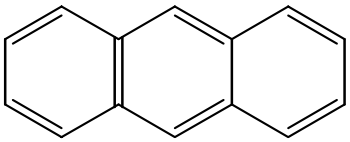


Дифенілметан

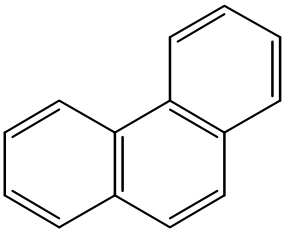
Сполуки з конденсованими бензеновими ядрами, у молекулах яких бензенові цикли мають спільні *орто*-карбонові атоми, наприклад:



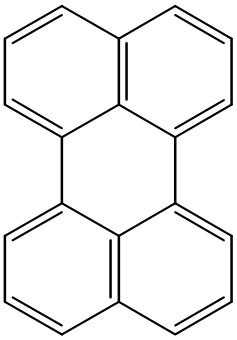
Нафтален



Антрацен



Фенантрен



Перилен

Хімічні властивості. За хімічними властивостями бензен й інші арени відрізняються від алканів і алкенів. Найбільш характерними для них є реакції заміщення, а також окиснення і меншою мірою – приєднання.

Реакції електрофільного заміщення включають:

– галогенування у присутності каталізатора (Fe, $FeCl_3$, $AlCl_3$);

– нітрування під дією нітруючої суміші (концентровані $HNO_3 + H_2SO_4$);

– сульфування в умовах нагрівання;

– алкілювання (реакція Фріделя-Крафтса) у присутності каталізатора (Fe, $FeCl_3$, $AlCl_3$);

– ацилювання (реакція Фріделя-Крафтса) у присутності каталізатора (Fe, $FeCl_3$, $AlCl_3$).

Реакції приєднання – це:

– гідрування за температур ~200°С, тиску і наявності нікелю або платини;

– галогенування під дією УФ-опромінення.

Реакції окиснення включають:

– окиснення бензену молекулярним киснем у присутності каталізатора V_2O_5 за температури 400°С з утворенням малеїнового ангідриду;

– окиснення гомологів бензену до ароматичних кислот.

Практичне значення та окремі представники. *Бензен* є вихідною речовиною для одержання барвників, лікарських препаратів, пластмас, отрутохімікатів, вибухових і ароматутворюючих речовин. Із бензену добувають фенол, нітробензол, анілін тощо.

Толуен використовується як розчинник. Він є вихідною сировиною у синтезі багатьох ароматичних сполук. Головним чином його використовують у виробництві вибухових речовин, а також бензойного альдегіду й деяких інших напівфабрикатів анілінофарбової, парфумерної, харчової та інших галузей.

Із *ксиленів* одержують мономери для синтезу синтетичних смол і полімерів. *о*-Ксилол використовують для одержання фталевого ангідриду з метою добування поліефірів і синтетичних смол; *п*-ксилол – терефталевої кислоти, з якої одержують синтетичне волокно лавсан.

Стирен є вихідною сировиною для синтезу полістирену, іонообмінних смол, які знайшли широке застосування у промисловості.

Лабораторна робота №3

Ароматичні вуглеводні – арени

Прилади та реактиви:

штативи з пробірками.

Бензен
Толуен
Бромна вода
H_2SO_4, 2 моль/л розчин
$KMnO_4$, 0,5% розчин

ДОСЛІД 1. Властивості бензену

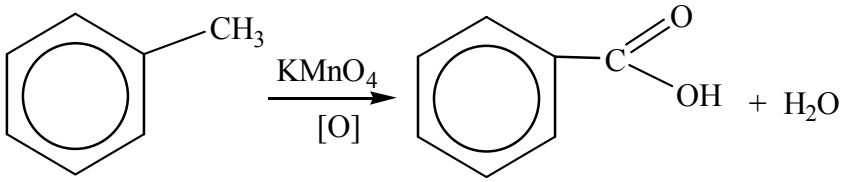
Відношення бензену до бромної води і розчину калій перманганату. У дві пробірки помістити по 5 крапель бензолу. У першу пробірку додати 1 мл бромної води, у другу – 1 мл розчину калій перманганату. Пробірки струсити.

Занотувати спостереження. Пояснити, чому не змінилось забарвлення реагентів і чому після струшування з бромною водою шар бензену забарвився.

ДОСЛІД 2. Окиснення аренів

У дві пробірки налити по 1 мл розчину калій перманганату, додати по 0,5 мл сульфатної кислоти (2 моль/л) і додати у першу пробірку 0,5 мл бензену, у другу – 0,5 мл толуену. Струсити.

Занотувати спостереження. Записати рівняння окиснення толуену.



Толуол Бензойна кислота

Завдання для індивідуальної роботи

1. Нафта – є природним джерелом вуглеводнів. Охарактеризуйте фізичні властивості нафти, наведіть схеми промислового одержання з неї окремих вуглеводнів.

2. Охарактеризуйте фізичні, хімічні властивості та напрями застосування алканів, які за нормальних умов (н.у.) мають властивості газів.

3. Наведіть шляхи застосування каучуку у харчовому виробництві, поясніть, які перетворення дозволяють зробити його більш стійким до хімічної дії.

4. Охарактеризуйте фізичні властивості й області застосування хлороформу. Наведіть можливі шляхи його одержання з різних сполук і зазначте відповідні реакції.

5. Наведіть приклади полімерів, які широко застосовуються у харчовому виробництві, і схеми їх одержання.

6. Охарактеризуйте фізичні і хімічні властивості ізобутилену, який застосовується як антиоксидант харчових продуктів та пакувальних матеріалів.

7. Поясніть, яку загрозу для здоров’я становлять низькомолекулярні ненасичені вуглеводні. Які шляхи їх застосування в медицині. Наведіть приклади.

8. Надайте приклади ароматичних вуглеводнів, що використовуються як харчові ароматизатори, і охарактеризуйте фізичні і хімічні властивості цих вуглеводнів.

9. Охарактеризуйте фізичні і хімічні властивості нафталену, джерела його одержання і напрями застосування.

10. Наведіть приклади сполук, в основі будови яких лежить ядро фенатрену, що частково або повністю гідрогенізовано. Поясніть роль цих сполук у життєдіяльності людини.

2. ГІДРОКСИСПОЛУКИ

2.1. Спирти. Етери

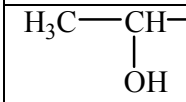
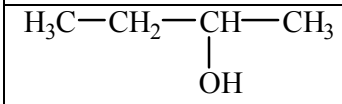
Загальна характеристика спиртів. Похідні вуглеводнів, у молекулах яких один або декілька атомів Гідрогену заміщені гідроксильною групою –ОН, називаються спиртами. Залежно від кількості гідроксильних груп розрізняють одноатомні й багатоатомні спирти, від будови вуглеводневого залишку – насичені, ненасичені, циклічні й ароматичні спирти, від положення гідроксильної групи в молекулі – первинні, вторинні та третинні спирти.

Одноатомні насичені спирти утворюють гомологічний ряд, загальна формула якого $C_nH_{2n+1}OH$.

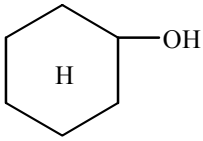
За міжнародною номенклатурою IUPAC назви (табл. 3.1) одноатомних спиртів утворюють від назв відповідних вуглеводнів із додаванням функціонального закінчення *-ол*. Цифрою вказують номер Карбону, біля якого знаходиться гідроксильна група. Атоми Карбону головного найдовшого ланцюга нумерують із того кінця, до якого ближче знаходиться гідроксильна група.

Також для спиртів поширена радикально-функціональна номенклатура, згідно з якою до назви вуглеводневого залишку (радикалу) додають слово «спирт», наприклад метиловий спирт. У назвах спиртів за радикально-функціональною номенклатурою зазначають одночасно й положення гідроксильної групи, наприклад, вторинний бутиловий спирт, третинний бутиловий спирт. За раціональною номенклатурою спирти розглядають як похідні карбінолу (метилового спирту), у молекулі якого атоми Гідрогену заміщені на вуглеводневі радикали.

Таблиця 2.1 – **Номенклатура поширених одноатомних спиртів**

Формула	**Радикально-функціональна**	**Раціональна**	**Систематична IUPAC**
1	2	3	4
CH_3-OH	Метиловий спирт	Карбінол	Метанол
CH_3-CH_2-OH	Етиловий спирт	Метилкарбінол	Етанол
$CH_3-CH_2-CH_2-OH$	Пропіловий спирт	Етилкарбінол	1-Пропанол
	Ізопропіловий спирт	Диметилкарбінол	2-Пропанол
$CH_3-(CH_2)_2-CH_2-OH$	Бутиловий спирт	Пропілкарбінол	1-Бутанол
	Вторинний бутиловий спирт	Метилетилкарбінол	2-Бутанол

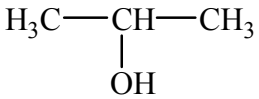
Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
	Циклогексиловий спирт	Циклогексилкарбінол	Циклогексанол
$C_6H_5 - CH_2 - OH$	Фенілметиловий спирт або бензиловий спирт	Фенілкарбінол	Фенілметанол
$C_6H_5 - \overset{\beta}{C}H_2 - \overset{\alpha}{C}H_2 - OH$	β-Фенілетиловий спирт	Бензилкарбінол	2-Фенілетанол

Ізомерія одноатомних спиртів. Для одноатомних спиртів характерна структурна ізомерія, а саме ізомерія карбонового ланцюга та ізомерія положення гідроксильної групи. Наприклад, пропанол існує у вигляді двох ізомерів:

$CH_3 - CH_2 - CH_2 - OH$

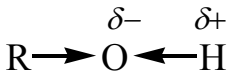
1-Пропанол



2-Пропанол

Хімічні властивості. Хімічні властивості спиртів визначаються як функціональною гідроксильною групою, так і будовою вуглеводневого залишку.

Оскільки атом Оксигену гідроксильної групи більш електронегативний, ніж атоми Гідрогену та Карбону, відбувається зміщення електронної густини, внаслідок чого зв'язки О–Н і С–О поляризуються:



І тому для спиртів характерні реакції, що відбуваються з розривом цих зв'язків. Поляризація зв'язку О–Н зумовлює рухливість атома Гідрогену і здатність до відщеплення у вигляді протона, що надає спиртам кислотних властивостей. За рахунок вільної електронної пари атома Оксигену спирти здатні приєднувати протон, тобто згідно з теорією Бренстеда–Лоурі виявляти основні властивості. Таким чином, спирти є амфотерними сполуками. Але ці властивості у спиртів виявляються слабко. Вони є практично нейтральними речовинами: не змінюють забарвлення індикаторів, не взаємодіють з водними розчинами лугів і розведеними кислотами.

Найбільш характерними реакціями спиртів є:

– взаємодія з активними металами (лужними, лужно-земельними, Al) з утворенням алкоголятів;

– взаємодія з сильними мінеральними кислотами з утворенням солей алкілгідроксонію;

– заміщення гідроксильної групи на галоген з утворенням галогеналканів;

– дегідратація за жорстких умов – внутрішньомолекулярне відщеплення води з утворенням алкенів, за м'яких умов – міжмолекулярне відщеплення води з утворенням етерів;

– взаємодія з органічними або оксигеновмісними мінеральними кислотами з утворенням естерів – реакція естерифікації;

– окиснення: первинні спирти окиснюються до альдегідів, вторинні – до кетонів, третинні спирти окиснюються тільки сильними окисниками, в результаті чого відбувається розрив Карбонового ланцюга у *β*-положенні до гідроксильної групи з утворенням суміші відповідних кислот і кетонів.

Практичне значення та окремі представники. *Метанол* CH_3OH (метиловий спирт) уперше був добутий сухою перегонкою деревини (нагрівання деревини без доступу кисню повітря), тому одержав назву деревний спирт. Метанол – безбарвна легкорухлива рідина відноситься до сильних отрут і тому є досить небезпечним. Отруйні властивості метанолу викликані його здатністю окиснюватися в організмі людини до формальдегіду й мурашиної кислоти, які руйнують білкові клітини (10 г метанолу викликають сліпоту, 30 г – летальна доза для людини). Метанол використовується як розчинник, а також для синтезу формальдегіду, мономерів, барвників, ліків.

Етанол C_2H_5OH (етиловий або винний спирт) – безбарвна легкорухлива рідина, має характерний алкогольний запах, різкий смак. Ця речовина змішується з водою за будь-яких співвідношень. У промисловості етанол одержують в основному гідратацією етилену і ферментативним бродінням. Тому за способами добування розрізняють етанол синтетичний, гідролізний, винний.

Етанол багатопланово застосовується. Він один із найкращих розчинників для органічних сполук. Значна частка етилового спирту, який одержується, використовується для синтезу каучуку, харчової оцтової кислоти, діетилового етеру, барвників тощо. У харчовій промисловості етиловий спирт використовують у виробництві спиртово-горілчаних виробів, медицині – як дезинфікуючий засіб, для виготовлення ліків; парфумерії – у виробництві духів, одеколонів.

Етанол специфічно діє на організм людини – невеликі дози викликають сп'яніння, зловживання призводить до звикання і формує залежність як наркотик.

Широкого використання набувають *вищі спирти* (починаючи з C_{10} і більше) – *цетиловий* $C_{16}H_{33}OH$, *цериловий* $C_{26}H_{53}OH$, *мірициловий* $C_{31}H_{63}OH$ та ін. На їх основі виготовляють поверхнево-активні речовини, миючі засоби, парфуми, прискорювачі вулканізації, пластифікатори, штучний віск тощо, що застосовують у різних галузях промисловості.

Лабораторна робота №4

Спирти. Етери

Прилади та реактиви:

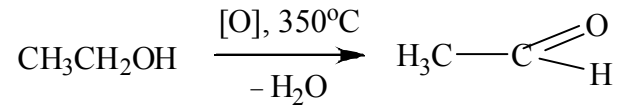
штативи з пробірками, спіраль з мідного дроту, закріплена у гумовій пробці, спиртівка.

Етанол	NaOH, 10% розчин
Гліцерин, 50% розчин	$CuSO_4$, 10% розчин

ДОСЛІД 1. Окиснення етанолу купрум(II) оксидом

У суху пробірку помістити 10 крапель етанолу. Спіраль із мідного дроту нагріти над полум'ям горілки до червоного кольору і ще гарячою занурити до пробірки зі спиртом. Відзначити запах, який з'явився в пробірці.

Занотувати спостереження. Зазначити, чи присутній «яблучний запах» оцтового альдегіду. Написати схему реакції окиснення етанолу до етаналю.

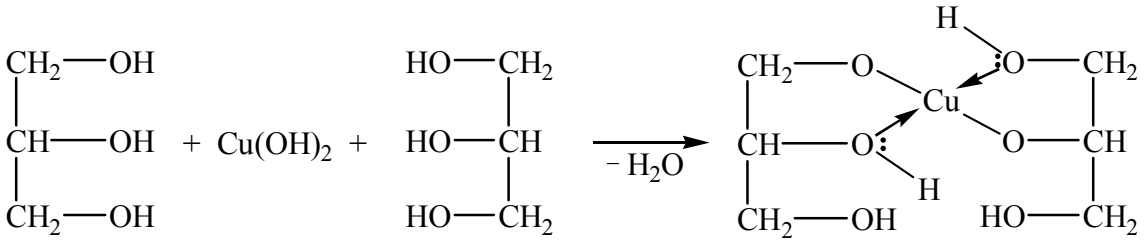


Етанол Етаналь (оцтовий альдегід)

ДОСЛІД 2. Утворення купрум гліцерату

У пробірці змішати 1 мл розведеного розчину натрій гідроксиду з 0,5 мл розчину купрум(II) сульфату. До одержаного осаду додати 1 мл водного розчину гліцерину.

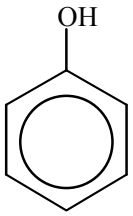
Занотувати спостереження. Написати схему реакції утворення купрум(II) гідроксиду і схему його взаємодії з гліцерином. Відзначити яскраво-синій колір розчину купрум гліцерату. Утворення купрум(II) гліцерату є характерною реакцією на гліцерин:



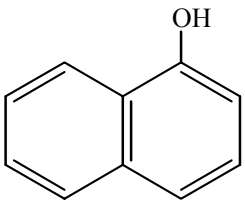
Гліцерин Купрум(II) гліцерат

2.2. Феноли

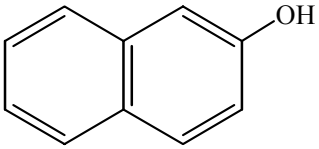
Загальна характеристика фенолів. Феноли – гідроксипохідні ароматичних вуглеводнів, у молекулах яких один або декілька атомів Гідрогену ароматичного ядра заміщені на гідроксильні групи. Залежно від природи ароматичної сполуки розрізняють феноли – похідні бензену, нафтоли – похідні нафталену, антроли – похідні антрацену тощо.



Фенол
(гідроксибензен)



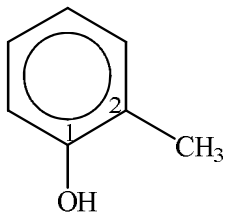
α-Нафтол
(1-гідроксинафтален)



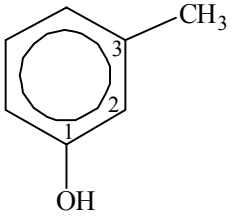
β-Нафтол
(2-гідроксинафтален)

Залежно від кількості гідроксильних груп розрізняють одно-, дво-, триатомні і більшої атомності феноли.

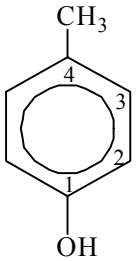
За систематичною номенклатурою IUPAC феноли розглядають як заміщені бензени, починаючи нумерацію від атома Карбону, з яким сполучена гідроксильна група, і у такому напрямку, щоб сума локантів була мінімальною. Однак здебільшого для фенолів застосовуються тривіальні назви. Наприклад:



о-Крезол
(2-метил-1-гідроксибензен)

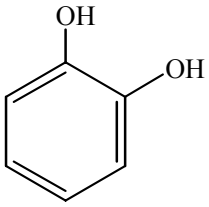


м-Крезол
(3-метил-1-гідроксибензен)

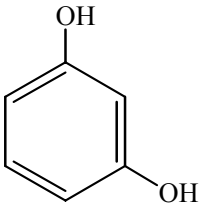


п-Крезол
(4-метил-1-гідроксибензен)

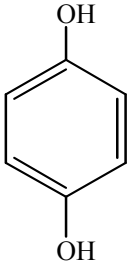
Ізомерія фенолів. Ізомерія одноатомних фенолів зумовлена будовою і положенням замісників в ароматичній сполуці. Ізомерія дво- і триатомних фенолів також залежить від взаємного розташування гідроксигруп в ароматичному кільці.



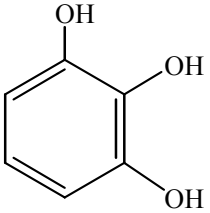
Пірокатехін
(1,2-дигідроксибензен)



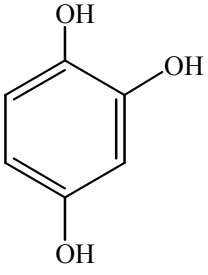
Резорцин
(1,3-дигідроксибензен)



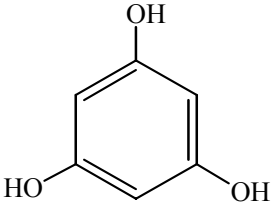
Гідрохінон
(1,4-дигідроксибензен)



Пірогалол
(1,2,3-тригідроксибензен)



Гідроксигідрохінон
(1,2,4- тригідроксибензен)



Флороглюцин
(1,3,5-тригідроксибензен)

Хімічні властивості. Хімічні властивості фенолів зумовлені наявністю в їх молекулах гідроксильної групи та ароматичного ядра. У фенолів спостерігається порівняно зі спиртами посилення кислотних властивостей, що обумовлено взаємодією вільних *p*-електронів атома Оксигену з π-електронами бензенового ядра. У результаті атом Гідрогену гідроксильної групи стає більш рухливим, а зв'язок С–О – більш міцним. Разом з тим, гідроксигрупа, як орієнтант першого роду, впливає на бензенове ядро, перерозподіляючи його електронну густину, внаслідок чого атоми Гідрогену в положеннях 2, 4, 6 стають більш рухливими. І тому для фенолів порівняно з бензеном значно полегшується перебіг реакцій електрофільного заміщення в ядрі.

Практичне значення та окремі представники. *Фенол* – безбарвна, тверда, кристалічна речовина з різким характерним запахом. У процесі зберігання окиснюється киснем повітря і набуває рожевого або бурого забарвлення. Фенол, потрапляючи на шкіру, викликає опіки. Він має сильні антисептичні властивості. Використовується для одержання барвників, пластмас, лікарських препаратів та ін.

Здатність фенолів легко окиснюватись зумовила їх широке застосування у промисловості як антиоксидантів. *Антиоксиданти фенольної природи* стабілізують бензини, уповільнюють старіння каучуків. У харчовій промисловості антиоксиданти фенольної природи використовують для подовжування строків зберігання жирів та олій, сухого молока, кондитерських виробів, рибних і м'ясних продуктів, харчових концентратів.

Пірокатехін міститься у багатьох рослинах, має характерний запах і застосовується в медицині для лікування захворювань дихальних шляхів і туберкульозу.

Флороглюцин використовується в кількісному аналізі пентоз, фурфуролу, визначенні вмісту лігніну в папері, хлоридної кислоти у шлунковому соку.

Нафтоли і їх похідні, особливо сульфопохідні, широко використовуються для виготовлення азобарвників.

Лабораторна робота №5

Феноли

Прилади та реактиви:

штативи з пробірками.

Водний розчин фенолу

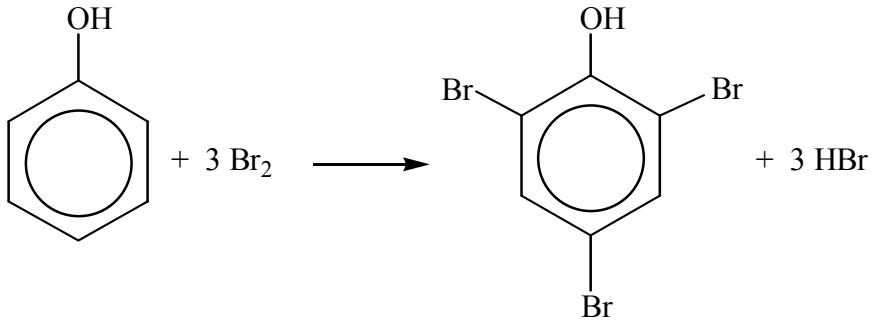
$FeCl_3$, 1% розчин

Бромна вода

ДОСЛІД 1. Бромування фенолу

У пробірку налити 1 мл водного розчину фенолу і долити надлишок бромної води (до верху пробірки) до появи білої каламуті.

Занотувати спостереження. Написати рівняння реакції бромування фенолу до 2,4,6-трибромфенолу. Пояснити, чому ця реакція перебігає відносно легко.

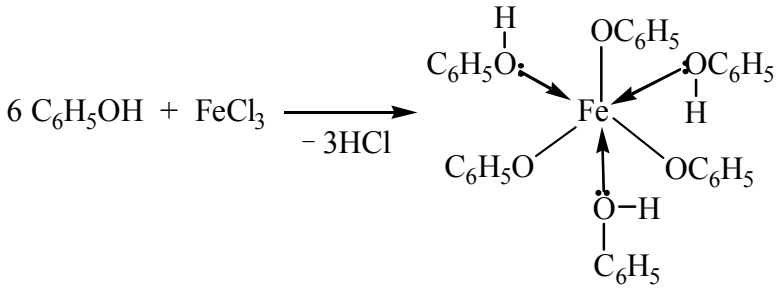


Фенол 2,4,6-трибромфенол

ДОСЛІД 2. Якісна реакція фенолу з ферум(III) хлоридом

У пробірку налити 1 мл водного розчину фенолу і прилити 1–2 краплі розчину ферум(III) хлориду.

Занотувати спостереження. Написати рівняння реакції взаємодії фенолу з ферум(III) хлоридом. Зазначити, якого кольору одержаний розчин.



Ферум(III) фенолят

Завдання для індивідуальної роботи

1. Охарактеризуйте властивості таких високомолекулярних спиртів як цетиловий і мірициловий. До складу яких естерів входять ці спирти? Наведіть реакції одержання і напрями застосування цих естерів.

2. Які продукти утворюються від час нагрівання й окиснення гліцерину? Поясніть, чим шкідливі ці продукти і наведіть відповідні реакції.

3. Охарактеризуйте фізичні властивості низькомолекулярних спиртів. Поясніть фізіологічну дію метилового, етилового, пропілового, ізопропілового, алілового спиртів та етиленгліколю.

4. З яких сполук хімічним синтезом одержують етиловий спирт? Наведіть приклади реакцій. Охарактеризуйте напрями очищення і ректифікації етилового спирту.

5. У чому полягають особливості реакційної здатності первинних, вторинних і третинних спиртів. Відповідь підтвердіть схемами відповідних реакцій.

6. Зазначте основні промислові методи одержання фенолу і зазначте схеми відповідних хімічних реакцій.

7. Наведіть хімічну будову двоатомних фенолів. Охарактеризуйте їх фізичні, хімічні властивості та методи одержання і застосування.

8. Наведіть хімічну будову триатомних фенолів. Охарактеризуйте їх фізичні, хімічні властивості та методи одержання і застосування.

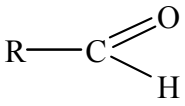
9. Які похідні фенолу застосовуються у виробництві харчової продукції? Наведіть приклади таких сполук та охарактеризуйте їх будову і властивості.

10. Поясніть основні стадії одержання фенол-формальдегідних смол. У чому полягають недоліки цього виробництва? Охарактеризуйте напрями застосування цих смол.

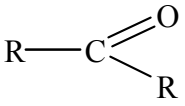
3. ОКСОСПОЛУКИ

Загальна характеристика оксосполук. Оксосполуки – похідні вуглеводнів, молекули яких містять оксогрупу $>C=O$. Угруповання, в якому оксогрупа сполучена з атомом Карбону, називається карбонільною групою $-\overset{|}{C}=O$.

До оксосполук належать два класи органічних сполук – альдегіди і кетони. Альдегідами називаються сполуки, в яких карбонільна група сполучена з вуглеводневим залишком і Гідрогеном, кетонами – якщо вона сполучена з двома вуглеводневими залишками:



Альдегід



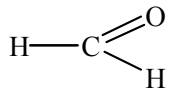
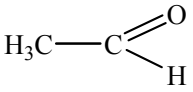
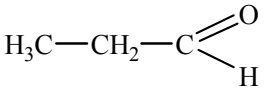
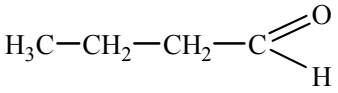
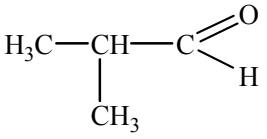
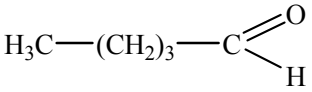
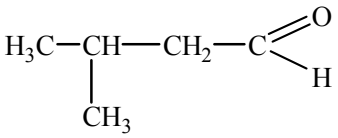
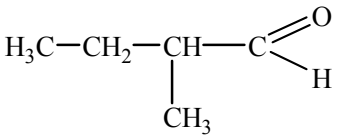
Кетон

Група $-\overset{\overset{|}{H}}{C}=O$, що міститься в альдегідах, називається альдегідною групою і розглядається як функціональна група альдегідів.

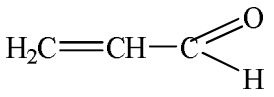
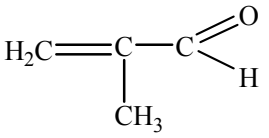
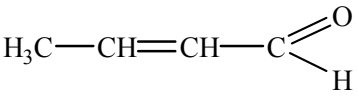
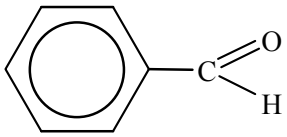
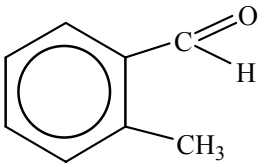
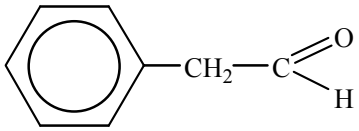
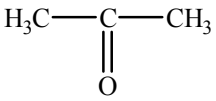
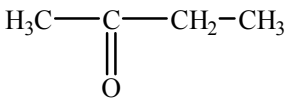
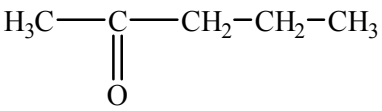
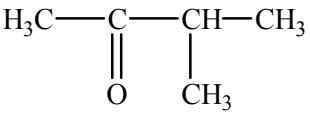
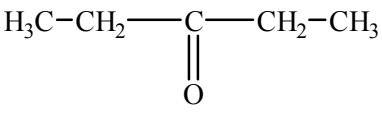
Карбонільна група $-\overset{|}{C}=O$ у молекулі кетонів може називатися кетогрупою і є функціональною групою кетонів. Залежно від характеру вуглеводневих радикалів, які входять до молекул оксосполук, розрізнюють насичені, ненасичені, циклічні, ароматичні й гетероциклічні альдегіди і кетони. Кетони, крім того, бувають змішаного типу: радикали, з якими зв’язана кетогрупа, можуть належати до різних класів вуглеводнів.

За номенклатурою IUPAC назви альдегідів утворюються від назв відповідних вуглеводнів із додаванням функціонального закінчення *-аль*, кетонів – додаючи закінчення *-он*. Нумерація ланцюга альдегідів починається з Карбону карбонільної групи, а кетонів – з кінця ланцюга, ближче до якого розташована карбонільна група. За тривіальною номенклатурою альдегіди називають за відповідними кислотами, на які вони перетворюються під час окиснення, із додаванням у кінці назви слова «альдегід». Для кетонів часто застосовується радикально-функціональна номенклатура, згідно з якою назви кетонів складають (за алфавітом) із назв радикалів, які зв'язані з карбонільною групою, з додаванням слова «кетон» (табл. 3.1).

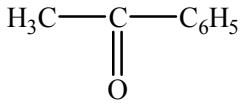
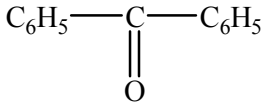
Таблиця 3.1 – **Номенклатура поширених альдегідів і кетонів**

Формула	**Номенклатура**	
	Тривіальна	**Систематична IUPAC**
1	2	3
Альдегіди		
	Мурашиний альдегід (формальдегід)	Метаналь
	Оцтовий альдегід (ацетальдегід, метилформальдегід)	Етаналь
	Пропіоновий альдегід (пропіональдегід)	Пропаналь
	Масляний альдегід (бутиральдегід)	Бутаналь
	Ізомасляний альдегід	2-Метилпропаналь
	Валеріановий альдегід	Пентаналь
	Ізовалеріановий альдегід (β-метилмасляний)	3-Метилбутаналь
	α-Метилмасляний альдегід	2-Метилбутаналь

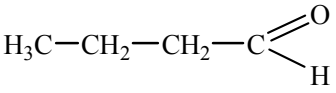
Продовження табл. 3.1

1	2	3
	Акриловий альдегід (акролеїн)	2-Пропеналь
	Метакриловий альдегід (α-метакролеїн)	2-Метилпропеналь
	Кротоновий альдегід (β-метакролеїн)	2-Бутеналь
	Бензойний альдегід (бензальдегід)	Фенілметаналь
	*о*-Толуїловий альдегід	2-Метилбензальдегід
	Фенілоцтовий альдегід	2-Фенілетаналь
Кетони		
	Диметилкетон (ацетон)	Пропанон
	Метилетилкетон	2-Бутанон
	Метилпропілкетон	2-Пентанон
	Метилізопропілкетон	3-Метил-2-бутанон
	Діетилкетон	3-Пентанон

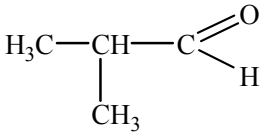
Продовження табл. 3.1

1	2	3
	Ацетофенон (метилфенілкетон)	1-Фенілетанон
	Бензофенон (дифенілкетон, бензоїлбензен дифенілметанон)	Дифенілметанон

Ізомерія оксосполук. Ізомерія альдегідів пов'язана з будовою карбонового ланцюга молекули і характерна для альдегідів, вуглеводневий залишок яких містить три і більше атомів Карбону. Наприклад, бутаналь існує у вигляді двох ізомерів:

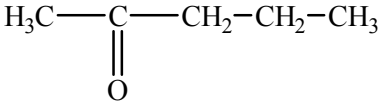


Бутаналь

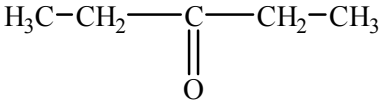


2-Метилпропаналь

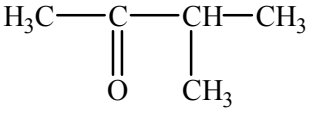
Для кетонів характерна ізомерія карбонового ланцюга та ізомерія положення функціональної групи – оксогрупи, наприклад:



2-Пентанон



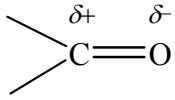
3-Пентанон



3-Метил-2-бутанон

Хімічні властивості. Альдегіди і кетони відносяться до найбільш реакційно здатних органічних сполук, причому альдегіди більш активні за кетони. Висока активність оксосполук пов'язана з наявністю в їх молекулах карбонільної групи й особливостями її будови.

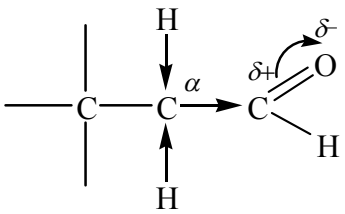
Подвійний зв'язок карбонільної групи складається, як і для алкенів, із σ– та π–зв'язків. Подвійний зв'язок між атомами Оксигену й Карбону карбонільної групи сильно поляризований, оскільки Оксиген більш електронегативний, ніж Карбон, і електронна густина π–зв'язку зміщена до нього:



Внаслідок полярності зв'язків –C=O атом Карбону набуває позитивного ефективного заряду, і його називають електрофільним центром, а Оксиген – негативного заряду, і його називають нуклеофільним центром. Тому в хімічних

реакціях альдегідів і кетонів атом Карбону групи –С=О реагує з нуклеофілами, а Оксиген – з електрофілами.

Карбонільна група підвищує кислотність атомів Гідрогену в α–положенні:



Основними різновидами хімічних реакцій альдегідів і кетонів є такі:

– приєднання за карбонільною групою: відновлення (утворення спиртів), взаємодія з синильною кислотою (утворення оксинітрилів кислот), спиртами (утворення напівацеталей), натрій гідросульфітом (утворення гідросульфітних похідних) тощо;

– заміщення атома Оксигену оксогрупи: взаємодія з гідроксиламіном (утворення оксимів), взаємодія з гідразином (з утворенням гідразонів) тощо;

– заміщення атомів Гідрогену в радикалі;

– окиснення: альдегіди окиснюються до карбонових кислот, кетони окиснюються тільки за жорстких умов, внаслідок чого відбувається розрив карбонового ланцюга з обох боків карбонільної групи з утворенням суміші відповідних кислот або кетонів;

– конденсації: альдольна, кротонова, бензоїнові, естерова;

– полімеризації.

Практичне значення та окремі представники. *Метаналь,* або мурашиний альдегід (формальдегід) – безбарвний газ із різким запахом, добре розчиняється у воді. Його 40% водний розчин називається формаліном. Розчин формальдегіду застосовується для протравлення зерна перед посівом, дублення шкіри, зберігання анатомічних препаратів. Значна кількість формальдегіду використовується для добування полімерних матеріалів (смоли, пластмаси, волокна). Взаємодією формальдегіду з амоніаком одержують уротропін (гексаметилентетрамін), який застосовується у виробництві пластичних мас, вибухівки, ліків.

Етаналь або оцтовий альдегід (ацетальдегід) – летка рідина з різким запахом, змішується з водою і багатьма органічними розчинниками у будь-яких співвідношеннях. Використовується для добування оцтової кислоти, етанолу, дивінілу, етилацетату, оцтового ангідриду та ін.

Бензойний альдегід (бензальдегід) – маслянista рідина, дещо важча за воду і погано в ній розчинна із запахом гіркого мигдалю. У природі зустрічається у складі речовин листя черемухи, лавровишні, гіркого мигдалю у вигляді глікозиду – амігдаліну. Використовується у синтезі барвників, лікарських препаратів, виробництві духмяних речовин, кондитерській промисловості, парфумерії. Відомим похідним бензальдегіду є ванілін (*п*-окси-*м*-метоксибензальдегід). Ванілін застосовують як ароматизатор у виробництві кондитерських виробів, безалкогольних напоїв тощо.

Пропанон, або диметилкетон (ацетон) – безбарвна прозора рідина зі специфічним запахом, яка добре змішується з водою і багатьма органічними розчинниками. Ацетон – один із найважливіших органічних розчинників, який у промисловості застосовується як розчинник лаків, фарб, у виробництві фото- і кіноплівки, ацетатного шовку, органічного скла тощо.

Лабораторна робота №6

Оксосполуки

Прилади та реактиви:

водяна баня, штативи з пробірками, склянки з льодом, кипілки.

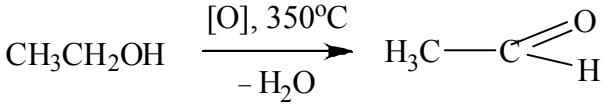
Оцтовий альдегід, 20% розчин
Ацетон, 20% розчин

H_2SO_4, 20% розчин
NaOH, 3, 10, 30% розчини
Амоніак, 10% розчин
$AgNO_3$, 1% розчин (крапельниці)
$CuSO_4$, 5% розчин
$K_2Cr_2O_7$, кристалічний

ДОСЛІД 1. Окиснення спирту

У пробірку помістити близько 0,2 г калій біхромату, 1–2 кипілки і 1 мл розчину сульфатної кислоти. Швидко долити 1 мл етилового спирту.

Занотувати спостереження. Пояснити, чому колір у пробірці змінюється з оранжевого на зелений. Написати схему реакції окиснення спирту. Відзначити запах оцтового альдегіду.

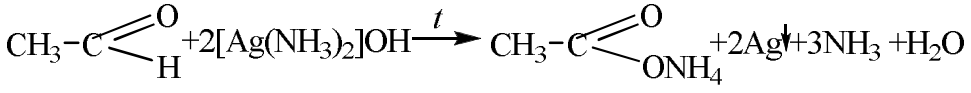


Етанол Етаналь або оцтовий альдегід

ДОСЛІД 2. Окиснення альдегідів амоніачним розчином аргентум(I) оксиду – реакція срібного дзеркала

У дві ретельно вимиті пробірки внести по 5–6 крапель розчину аргентум нітрату і по 10–12 крапель розчину амоніаку. Потім в одну пробірку додати 0,5 мл розчину альдегіду (мурашиного або оцтового), а в іншу – 0,5 мл ацетону. Обидві пробірки, не струшуючи, нагріти на водяній бані.

Занотувати спостереження. Пояснити різницю перебігу реакцій з оцтовим альдегідом і ацетоном. Написати рівняння реакції срібного дзеркала.

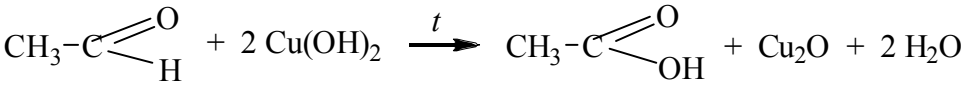


Етаналь Реактив Толленса Амоній етаноат (ацетат)

ДОСЛІД 3. Окиснення альдегіду купрум(II) гідроксидом

У пробірку налити 1 мл розчину альдегіду (мурашиного або оцтового), 10 крапель 10% натрій гідроксиду і по краплям долити 5% розчин купрум(II) сульфату до появи осаду купрум(II) гідроксиду. Нагріти пробірку на водяній бані, спостерігаючи зміну кольору осаду.

Занотувати спостереження. Написати схему реакції. Відзначити, що осади мають наступні кольори: $Cu(OH)_2$ – блакитний, CuOH – жовтий, а Cu_2O і Cu – червоний.



Етаналь Купрум(II) гідроксид Етанова кислота

Завдання для індивідуальної роботи

1. Наведіть структуру оксосполук, які відносяться до ароматутворювальних речовин і входять до складу ефірних олій. Охарактеризуйте їх властивості.

2. Надайте перелік альдегідів, які містяться у фруктах, овочах і можуть синтезуватися рослинами. Охарактеризуйте їх властивості.

3. Які альдегіди застосовують для одержання харчових кислот? Наведіть схеми відповідних реакцій. Опишіть промислові способи одержання цих кислот з альдегідів.

4. Зробіть порівняльну характеристику сполук ряду альдегідів з числом атомів Карбону 1–14 щодо будови, фізичних властивостей, показника аромату, напрямів застосування.

5. Зазначте характеристичні частоти функціональних груп оксосполук і поясніть, як ідентифікувати альдегіди і кетони за допомогою метода інфрачервоної (ІЧ) спектроскопії.

6. Яким чином впливає на фізіологічну дію альдегідів уведення до структури молекул атомів галогенів? Зазначте відповідні схеми реакцій.

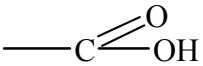
7. Охарактеризуйте властивості альдегідів, виробництво яких набуло найбільших обсягів. Зазначте області їх застосування?

8. Наведіть приклади ароматичних кетонів і порівняйте їх властивості з аліфатичними. За допомогою яких реакцій можна одержати ароматичні кетони?

9. Наведіть приклади ненасичених оксосполук. Порівняйте їх фізичні та хімічні властивості з властивостями насичених сполук з таким же числом атомів Карбону.

10. Охарактеризуйте властивості циклічних карбонільних сполук хінонів. Наведіть приклади та області застосування.

4. КАРБОНОВІ КИСЛОТИ ТА ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОХІДНІ

Карбонові кислоти – похідні вуглеводнів, молекули яких містять одну або декілька карбоксильних груп  . Карбонові кислоти також можуть містити й інші функціональні групи (–OH; –C=O тощо), тоді вони є гетерофункціональними. Карбонові кислоти за природою вуглеводневих залишків поділяють на аліфатичні (насичені й ненасичені), циклічні, ароматичні та гетероциклічні. За кількістю карбоксильних груп, які визначають основність сполук, кислоти поділяють на одноосновні, двоосновні та багатоосновні.

Загальна характеристика одноосновних карбонових кислот. Загальна формула ряду одноосновних (монокарбонових) насичених карбонових кислот $C_nH_{2n+1}COOH$ або R–COOH, де R – одновалентний залишок (радикал) насичених вуглеводнів. Такі кислоти є монофункціональними.

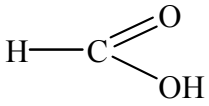
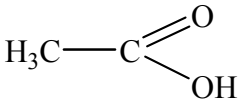
До ненасичених належать кислоти, у вуглеводневому радикалі яких міститься один або декілька подвійних чи потрійних зв'язків. Найбільше значення мають кислоти ряду етилену. Загальну формулу ненасичених одноосновних кислот з одним подвійним зв'язком можна записати як $C_nH_{2n-1}COOH$.

За номенклатурою IUPAC назви кислот утворюють від назви відповідного вуглеводню з тим же числом атомів Карбону, що і в головному ланцюгу кислоти з урахуванням атома Карбону карбоксильної групи, і додаванням до нього функціонального закінчення *-ова* і слова «кислота». Нумерацію атомів Карбону головного ланцюга розпочинають від карбоксильної групи.

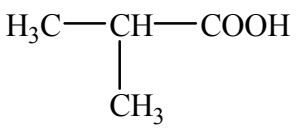
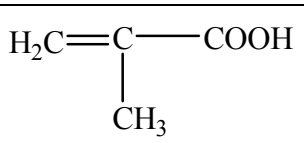
За раціональною номенклатурою одноосновні карбонові кислоти розглядають як похідні оцтової кислоти, у якої атоми Гідрогену вуглеводневого залишку $–CH_3$ заміщені на вуглеводневі радикали.

Для позначення кислот часто застосовуються і тривіальні назви. Походження тривіальних назв кислот часто пов'язано з джерелом їх поширення в природі. Так, мурашина кислота знаходиться в мурашках (лат. formica – мурашка), масляна (бутиратна) – у згірклому маслі (лат. butyrum – олія), капронова входить до складу козячого жиру (лат. caper – коза) тощо.

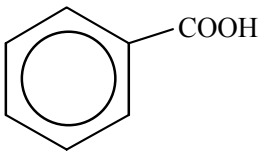
Таблиця 4.1 – **Номенклатура одноосновних насичених карбонових кислот**

Формула	**Номенклатура**		
	Тривіальна	**Раціональна**	**Систематична IUPAC**
1	2	3	4
	Мурашина	–	Метанова
	Оцтова	Оцтова	Етанова
CH_3CH_2COOH	Пропіонова	Метилоцтова	Пропанова

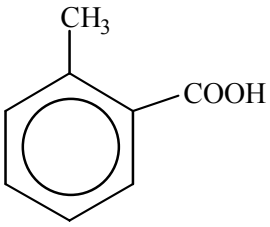
Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
$CH_3CH_2CH_2COOH$	Масляна (бутиратна)	Етилоцтова	Бутанова
	Ізомасляна (ізобутиратна)	Диметилоцтова	2-Метил-пропанова
$CH_3(CH_2)_3COOH$	Валеріанова	Пропілоцтова	Пентанова
$CH_3(CH_2)_4COOH$	Капронова	Бутилоцтова	Гексанова
$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	Пальмітинова	–	Гексадеканова
$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	Стеаринова	–	Октадеканова
$H_2C{=}CH{-}COOH$	Акрилова	–	Пропенова
	Метакрилова	–	2-Метилпропенова
$H_2C{=}CH{-}CH_2{-}COOH$	Вінілоцтова	Вінілоцтова	3-Бутенова

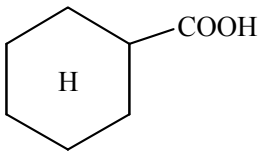
Ароматичні й циклопарафінові кислоти найчастіше називають за тривіальною номенклатурою:



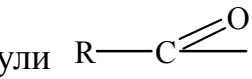
Бензенова або бензенкарбонова кислота



о-Толуенкарбонова кислота

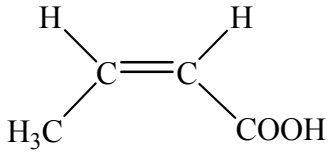


Циклогексанкарбонова кислота

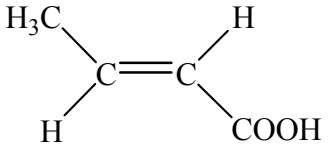
Одновалентні залишки кислот загальної формули  , які утворені вилученням із карбоксильної групи гідроксильної групи –ОН, називають кислотними радикалами або ацилами. За номенклатурою IUPAC назву ацилу складають із назви алкану і закінчення -*оїл*. За тривіальною номенклатурою назви ацилів будують від кореня латинських назв кислот і закінчення -*іл*.

Ізомерія одноосновних карбонових кислот. Ізомерія насичених одноосновних кислот зумовлена будовою карбонового ланцюга і починається з

кислот, вуглеводневий залишок яких містить три і більше атомів Карбону. Для ненасичених кислот ізомерія пов'язана з будовою карбонового ланцюга й положенням кратних зв'язків. Також для ненасичених кислот характерною є просторова ізомерія, зокрема геометрична *цис-транс*-ізомерія, наприклад:



Цис-2-бутенова кислота (ізокротонова)



Транс-2-бутенова кислота (кротонова)

Ізомерія ароматичних кислот визначається будовою і положенням вуглеводневих замісників, які сполучені з бензеновим кільцем.

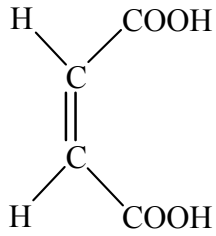
Загальна характеристика двоосновних карбонових кислот. Двоосновні (дикарбонові) кислоти містять у молекулі дві карбоксильні групи і є монофункціональними. Гомологічний ряд насичених двоосновних кислот може бути позначений загальною формулою $C_nH_{2n}(COOH)_2$. Найбільше значення мають кислоти з функціональними групами, які знаходяться наприкінці нормального карбонового ланцюга, тобто кислоти будови $HOOC–(CH_2)_n–COOH$.

За номенклатурою IUPAC назви кислот утворюють від назви відповідного насиченого вуглеводню (з тією ж кількістю атомів Карбону) додаванням закінчення *-діова* і слова «кислота» (або дикарбонова). Проте для двоосновних кислот переважно застосовують тривіальні назви (табл. 4.2).

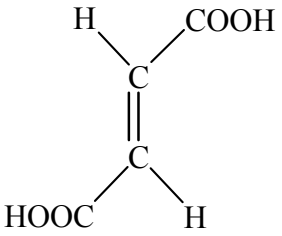
Таблиця 4.2 – **Номенклатура поширених насичених двоосновних кислот**

Формула	**Тривіальна**	**Систематична IUPAC**
$HOOC-COOH$	Щавлева	Етандіова
$HOOC-CH_2-COOH$	Малонова	Пропандіова
$HOOC-(CH_2)_2-COOH$	Бурштинова	Бутандіова
$HOOC-(CH_2)_3-COOH$	Глутарова	Пентандіова
$HOOC-(CH_2)_4-COOH$	Адипінова	Гександіова

Ізомерія двоосновних карбонових кислот. Структурна ізомерія насичених аліфатичних двоосновних карбонових кислот зумовлена будовою карбонового ланцюга, ненасичених – будовою ланцюга і положенням подвійних зв'язків. Для ненасичених кислот має місце геометрична *цис-транс*-ізомерія, наприклад:

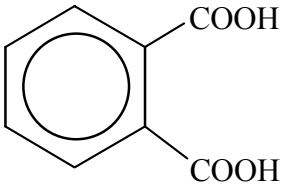


Малеїнова кислота
цис-бутендіова

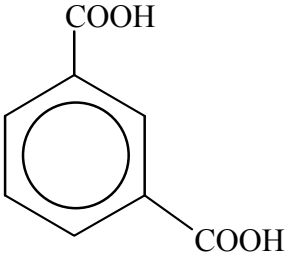


Фумарова кислота
транс-бутендіова

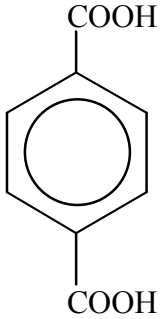
Ізомерія ароматичних двоосновних кислот також пов'язана із взаємним розміщенням карбоксильних груп у бензеновому ядрі (*орто*-, *мета*- і *пара*-ізомери), наприклад:



Фталева кислота
орто-фталева

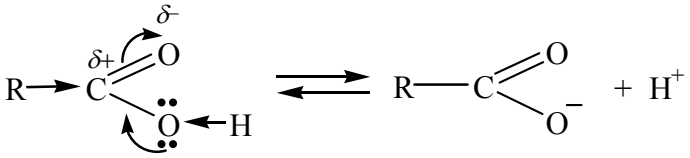


Ізофталева *кислота*
мета-фталева

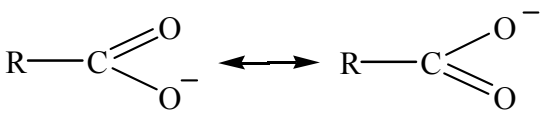


Терефталева кислота
пара-фталева

Хімічні властивості. Хімічні властивості карбонових кислот визначаються будовою карбоксильної групи і вуглеводневого залишку. Кислотні властивості сполук, які містять карбоксильну групу, зумовлені спряженням подвійного зв'язку карбонільної групи з неподіленою парою *p*–електронів атома Оксигена гідроксильної групи (π-*p*–спряження):

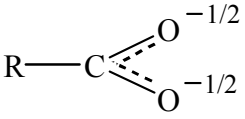


Під час дисоціації в карбоксилат-аніоні відбувається вирівнювання електронної густини на атомах Оксигену (мезомерія). Встановлено, що обидва атоми Оксигену в аніоні знаходяться на однаковій відстані від атома Карбону й електронна густина (заряд аніона) рівномірно розподілена між двома зв'язками С–О. Тому розподілення електронів у аніоні більш точно характеризує не гранична структура, а мезоструктура:



Граничні структури

або



Мезоструктура

Це свідчить про існування вирівняної системи зв'язків, для яких чотири *p*–електрони делокалізовані між трьома ядрами двох атомів Оксигену та одного Карбону.

Таким чином, взаємний вплив двох функціональних груп – гідроксильної та карбонільної, призводить до утворення нової функціональної групи – карбоксильної з притаманними їй відповідними властивостями.

Найбільш характерні реакції карбонових кислот, що відбуваються за карбоксильною групою, це:

– утворення солей під дією активних металів, основ, основних оксидів, амоніаку;

– утворення функціональних похідних карбонових кислот: галогенангідридів, ангідридів, амідів і естерів.

Також для карбонових кислот характерні реакції, обумовлені будовою вуглеводневого залишку. Для ненасичених кислот, крім характерних реакцій за карбоксильною групою, відбуваються реакції за кратним зв'язком: приєднання, окиснення, полімеризації; для ароматичних кислот – реакції, що обумовлені наявністю бензенового кільця: електрофільного заміщення, приєднання та ін.

Двоосновні кислоти вступають у хімічні реакції, які характерні для одноосновних кислот. Проте завдяки наявності у молекулі двох карбоксильних груп у результаті реакцій можуть утворюватися два ряди похідних: кислі або середні солі, моно- або дигалагенангідриди кислот тощо. До того ж, двоосновні кислоти виявляють і специфічні властивості, прикладом яких є їх перетворення під час нагрівання.

Практичне значення та окремі представники. *Мурашина (метанова) кислота* – безбарвна рідина з різким запахом, змішується з водою за будь-яких співвідношень. Вона міститься у речовинах хвої, соку кропиви, виділеннях мурашок та бджіл тощо.

Мурашина кислота застосовується для дублення шкіри і для протравлення тканин під час фарбування, у харчовій промисловості як дезінфікуючий (дезінфекція бродильних чанів і діжок) і консервуючий засіб. Вона застосовується у медицині (під назвою «мурашиний спирт»), у хімічній промисловості для синтезу щавлевої кислоти, як відновник тощо.

Оцтова (етанова) кислота – безбарвна рідина з характерним запахом. Оцтова кислота відома здавен – її одержували у вигляді оцту під час скисання виноградного вина. Вона широко розповсюджена у природі, міститься у вільному стані в рослинних і тваринних організмах (піт, сеча), утворюється в результаті процесів бродіння й окиснення у кислому молоці, сирі, фруктових соках, пиві, під час згіркнення масла тощо.

Оцтова кислота знайшла широке застосування у харчовій промисловості як харчова добавка Е 260 класу консервантів. Також оцтова кислота застосовується у виробництві штучних волокон (ацетатний шовк), барвників, естерів, лікарських препаратів (наприклад, аспірину, фенацетину).

Пальмітинова і стеаринова кислоти – найважливіші вищі насичені кислоти. Пальмітинова $CH_3(CH_2)_{14}COOH$ і стеаринова $CH_3(CH_2)_{16}COOH$ кислоти – тверді речовини білого кольору, нерозчинні у воді. У вигляді естерів вони містяться в жирах, восках. Солі цих кислот називаються милами: натрієві солі утворюють тверде мило, калієві солі – рідке мило.

Бензойна кислота – найважливіший представник ароматичних кислот. Бензойна кислота міститься в деяких природних смолах (бензойна смола), бальзамах, ефірних маслах рослин, особливо гвоздики. Вона запобігає процесам гниття і бродіння продуктів і застосовується в харчовій промисловості як харчова добавка Е 210 класу консервантів.

Олеїнова (9-октадеценова) кислота – світло-жовта маслянista рідина, нерозчинна у воді, добре розчинна в ряді органічних розчинників. Природна олеїнова кислота є *цис*-ізомером і надзвичайно розповсюджена у природі – у вигляді естерів із гліцерином входить до складу триацилгліцеринів карбонових кислот, фосфоліпідів олій і жирів.

Лінолева (9,12-октадекадеценова) і *ліноленова (9,12,15-октадекатриєнова) кислоти* є більш ненасиченими кислотами, ніж олеїнова. Вони входять до складу ацилгліцеринів природних олій. Не синтезуються організмом людини й повинні надходити з харчовими продуктами – це незамінні жирні кислоти.

Щавлева (етандіова) кислота – безбарвна кристалічна речовина існує у вигляді кристалогідрату $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$. Щавлева кислота зустрічається у природі як у вільному стані, так й у вигляді оксалатів (солі кислоти). Її кислі калієві солі у невеликих кількостях містяться у щавлі, кислицях, смородині, малині, апельсинах. Кальцій оксалати присутні в усіх рослинах. Із порушенням обміну речовин вони можуть відкладатисяь в організмі людини у печінці, нирках у вигляді каміння.

Щавлеву кислоту і її солі широко застосовують у промисловості як протраву під час фарбування тканин, для обробки горіхового і червоного дерева в деревообробній промисловості, для відбілювання тканин, соломи тощо.

Лабораторна робота №7

Карбонові кислоти

Прилади та реактиви:

водяна баня, штативи з пробірками, сухі пробірки.

Етанова кислота, концентрована
Етанова кислота, розчин
Олеїнова кислота, концентрована
Фенолфталеїн, спиртовий розчин
Мило, 10% спиртовий розчин
Ізоаміловий спирт
$NaHCO_3$, насичений розчин
$KMnO_4$, 0,5% розчин
H_2SO_4, концентрована
Бромна вода

ДОСЛІД 1. Взаємодія карбонових кислот з натрій гідрогенкарбонатом

У суху пробірку налити 2 мл насиченого розчину натрій гідрогенкарбонату і 1 мл розчину кислоти.

Занотувати спостереження. Пояснити, який газ виділяється в результаті реакції. Написати схеми реакції етанової кислоти з натрій гідрогенкарбонатом.

$$CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$$

ДОСЛІД 2. Гідроліз мила

У суху пробірку налити 1 мл спиртового розчину мила і додати 1–2 краплі розчину фенолфталеїну (звернути увагу на колір розчину). Потім долити в пробірку 8…10 мл дистильованої води.

Занотувати спостереження. Пояснити, чому забарвлення фенолфталеїну не з'являється в спиртовому розчині мила. Написати схеми реакції гідролізу натрій стеарату або пальмітату.

$$C_{17}H_{35}COONa + H_2O \rightarrow CH_3COOH + NaOH$$

ДОСЛІД 3. Визначення ненасиченості олеїнової кислоти

У дві пробірки налити по 0,5 мл олеїнової кислоти і додати в першу пробірку – 0,5 мл бромної води, у другу – 0,5 мл розчину калій перманганату. Пробірки інтенсивно струсити.

Занотувати спостереження. Написати схеми реакцій взаємодії олеїнової кислоти з бромом і калій перманганатом.

$$CH_3(CH_2)_7–CH=CH–(CH_2)_7COOH + Br_2 \rightarrow CH_3(CH_2)_7–CHBr–CHBr–(CH_2)_7COOH$$

$$CH_3(CH_2)_7–CH=CH–(CH_2)_7COOH \xrightarrow{[KMnO_4]} CH_3(CH_2)_7–CHOH–CHOH–(CH_2)_7COOH$$

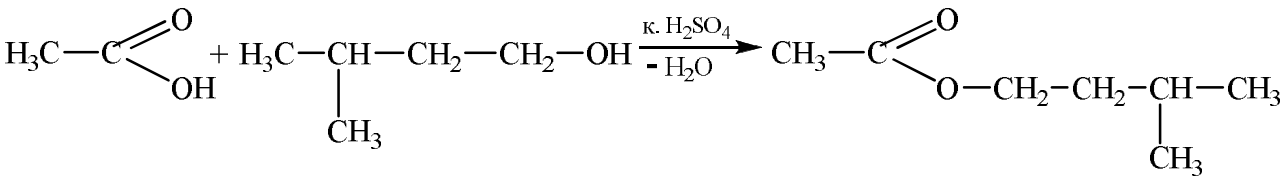
ДОСЛІД 3. Утворення естерів – реакція естерифікації

У сухій пробірці змішати спирт, карбонову кислоту і концентровану сульфатну кислоту (кількісне співвідношення наведено у табл. 4.3). Суміш прогріти на киплячій водяній бані впродовж 5 хв, періодично струшуючи. Після охолодження реакційну суміш вилити у склянку з водою.

Таблиця 4.3 – **Співвідношення реагентів у реакції естерифікації**

Назва естеру	Запах	Об'єм вихідних продуктів, мл		
		Карбонова кислота	Спирт	Сульфатна кислота
Бутилформіат	вишня	2	1	0,5
Етилацетат	фрукти	2	2	1,0
Бутилацетат	фрукти	2	1	0,5
Ізоамілацетат	груша	2	1	0,5
Етилізовалеріат	яблуко	2	2	0,5

Занотувати спостереження. Написати схему реакції утворення відповідного естеру на підставі наведеного нижче прикладу одержання ізоамілацетату:



Оцтова кислота Ізоаміловий спирт Ізоамілацетат

Завдання для індивідуальної роботи

1. Наведіть приклади карбонових кислот, які застосовуються як харчові добавки. Для кожної з них наведіть код і області використання у виробництві харчової продукції.

2. Які карбонові кислоти взаємодією з відповідними спиртами утворюють естери, які застосовуються як ароматизатори? Наведіть відповідні схеми реакцій утворення таких естерів.

3. Наведіть приклади ароматичних кислот, що містяться у фруктах, овочах, рослинах. Охарактеризуйте їх фізичні і хімічні властивості.

4. Які дво- і триосновні карбонові кислоти широко застосовуються у харчовому виробництві? Наведіть можливі шляхи їх одержання з інших сполук.

5. За допомогою яких хімічних реакцій можна відрізнити карбонові кислоти від карбонових кислот, до складу яких також входить гідроксигрупа?

6. Наведіть приклади карбонових кислот, які можна одержувати як з природної сировини, так і за допомогою органічного синтезу. Зазначте відповідні схеми реакцій.

7. Які ненасичені карбонові кислоти відіграють важливу роль у харчуванні людини? За допомогою яких реакцій можна відрізнити ці кислоти від насичених кислот? Відповідь підтвердіть схемами відповідних реакцій.

8. Охарактеризуйте, як змінюються фізичні та хімічні властивості сполук у ряді карбонових кислот з числом атомів Карбону 1–10. Відповідь підтвердіть схемами реакцій.

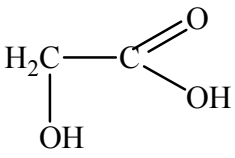
9. Яка з карбонових кислот набула найбільш широкого застосування у виробництві харчових продуктів і для яких цілей? З яких природних джерел можна виділити цю кислоту?

10. Яка з карбонових кислот набула найбільш широкого застосування у виробництві фармакологічних препаратів? З яких природних джерел можна виділити цю кислоту?

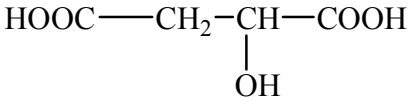
5. ГІДРОКСИКИСЛОТИ

Загальна характеристика гідроксикислот. Гідроксикислоти – похідні вуглеводнів, молекули яких містять одночасно дві функціональні групи: гідроксильну –ОН і карбоксильну –СООН.

Залежно від кількості карбоксильних груп різрізняють одно-, дво- та багатоосновні гідроксикислоти, а від кількості гідроксильних груп, включаючи і гідроксильні групи, які входять до карбоксильних груп – дво-, три- та багатоатомні оксикислоти.

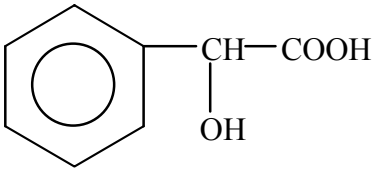


Гліколева — одноосновна, двоатомна кислота

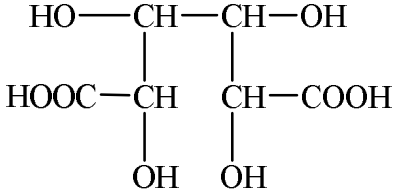


Яблучна — двоосновна, триатомна кислота

За будовою вуглеводневого радикалу гідроксикислоти поділяють на аліфатичні (насичені і ненасичені), циклічні, ароматичні, гетероциклічні.



Мигдальна — одноосновна, двоатомна ароматична кислота

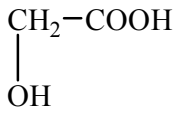
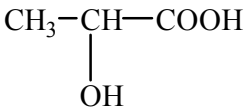
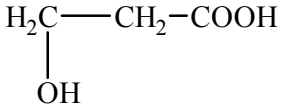
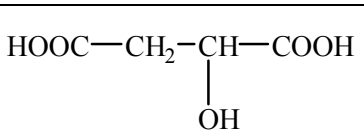
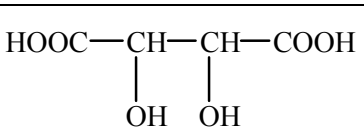
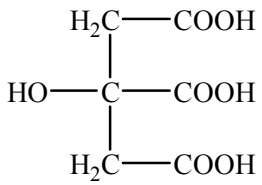
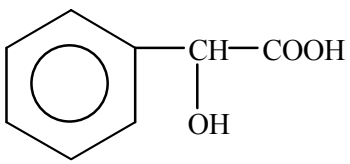


Сахарна (слизова) — двоосновна, шестиатомна аліфатична насичена кислота

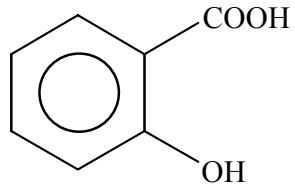
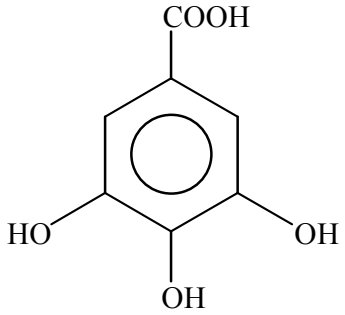
Для назв гідроксикислот широко використовують тривіальну (історичну), раціональну і систематичну номенклатури. За номенклатурою IUPAC назви гідроксикислот утворюють від назви відповідної карбонової кислоти з додаванням префікса *гідрокси-* (*дигідрокси-, тригідрокси-* тощо) і зазначенням номера атома Карбону, з яким сполучена гідроксигрупа. Нумерацію атомів карбонового ланцюга починають з атома Карбону карбоксильної групи.

За раціональною номенклатурою до тривіальної назви відповідної карбонової кислоти додають префікс *гідрокси-*, а положення гідроксильної групи визначають літерами грецького алфавіту. Гідроксикислоти часто називають тривіальними назвами, походження яких, як правило, пов'язано з природним джерелом їх знаходження. Назви для ряду поширених гідроксикислот наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – **Номенклатура поширених гідроксикислот**

Формула	**Тривіальна**	**Раціональна**	**Систематична IUPAC**
1	2	3	4
	Гліколева	Гідроксиоцтова	Гідроксиетанова
	Молочна	α-Гідроксипропіонова	2-Гідроксипропанова
	–	β-Гідроксипропіонова	3-Гідроксипропанова
	Яблучна	α-Гідроксибурштинова	2-Гідроксибутанова
	Винна	α,β-Дигідроксибурштинова	2,3-Дигідроксибутандіова
	Лимонна	–	3-Гідрокси-3-карбоксипентандіова
	Мигдальна	Фенілгідроксиоцтова	Фенілгідроксиетанова

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4
	Саліцилова	*орто*-Гідрокси-бензенова	2-Гідроксибензенкар-бонова
	Галова	3,4,5-Тригідрокси-бензенова	3,4,5-Тригідрокси-бензенкарбонова

Ізомерія гідроксикислот. Для гідроксикислот характерні структурна ізомерія карбонового ланцюга, ізомерія положення гідроксигрупи і стереоізомерія, просторова ізомерія, (від грецького *stereos* – просторовий), а саме – оптична ізомерія.

Оптична ізомерія зумовлена просторовою асиметрією будови молекул. Структурною ознакою асиметричної сполуки є наявність у молекулі одного або декількох асиметричних (хіральних точніше) атомів Карбону, які у стані sp^3-гібридизації сполучені з чотирма різними атомами або групами атомів. Такий атом Карбону називається хіральним. Органічні сполуки, молекули яких містять хіральний атом Карбону є оптично активними. Оптична активність речовин – це їх здатність обертати площину поляризованого світла, тобто відхиляти її на певний кут α (вимірюється за допомогою приладу – поляриметру). Для порівняння оптичної активності різних сполук уведено поняття питомого кута обертання $[\alpha]_D^{20}$, вимірюваного за 20°С відносно D–лінії Натрію (589 нм):

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha}{l \cdot C}, \qquad (5.1)$$

де α – експериментально визначений кут відхилення, град.;

l – довжина трубки (кювети), дм;

C – концентрація оптично активної речовини, г/см^3.

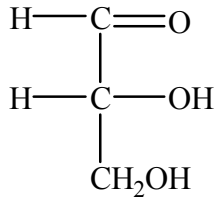
Оптично активні речовини існують у вигляді оптичних ізомерів, які відрізняються між собою розташуванням атомів або груп атомів у просторі навколо хірального атома Карбону. Їх число визначається за формулою 5.2:

$$N = 2^n, \qquad (5.2)$$

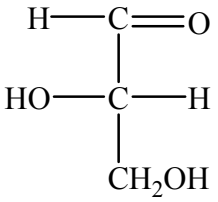
де n – число хіральних атомів Карбону.

Виявляється, що завжди є два ізомери, які відносяться один до одного як предмет до свого дзеркального відображення. Такі сполуки називають оптичними антиподами (дзеркальними ізомерами) або енантіомерами. Хімічні, фізичні властивості енантіомерів однакові, вони обертають площину поляризованого світла на однаковий кут, але за різними напрямками: правообертаючі позначають як (+)-ізомери, а лівообертаючі – (–)-ізомери. Крім цього, енантіомери різняться своєю фізіологічною дією. Система, яка містить еквімолекулярну кількість антиподів оптично неактивна (не здатна обертати площину поляризації), і називається рацемічною або рацематом.

Для визначення конформації молекул оптичних ізомерів існують D- і L-стереохімічні ряди. Приналежність оптичних ізомерів гідроксикарбонільних сполук (гідроксикислот, вуглеводів) до D- або L-ряду визначають шляхом порівняння їх з ізомерами гліцеринового альдегіду, умовно прийнятого за еталон (стандарт):



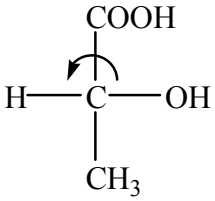
D-(+)-гліцериновий альдегід



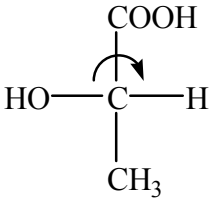
L-(–)-гліцериновий альдегід

Позначення D- і L- використовують для гідроксикислот, амінокислот і вуглеводів. За наявності у цих сполуках декількох хіральних атомів їх відносять за емпіричним правилом до D- або L-ряду за верхнім хіральним атомом Карбону для гідроксикислот, амінокислот і за нижнім – для вуглеводів.

Наприклад, молочна кислота існує у вигляді двох оптичних ізомерів:



D-(−)-молочна кислота



L-(+)-молочна кислота

Хімічні властивості. Хімічні властивості гідроксикислот зумовлені наявністю двох функціональних груп: карбоксильної і гідроксильної. Залежно

від реакційних умов кожна із зазначених функціональних груп здатна реагувати незалежно одна від одної. Кислотні властивості гідроксикислот більш сильні, ніж для відповідних монокарбонових кислот. Це пояснюється тим, що гідроксигрупа виявляє негативний індукційних ефект ($-I$) і тим самим посилює кислотні властивості карбоксильної групи. Вплив гідроксильної групи на кислотні властивості тим менший, чим далі від карбоксильної групи вона знаходиться.

За карбоксильною групою відбуваються реакції утворення солей, амідів, естерів, галогенангідридів, за гідроксильною групою – утворення алкоголятів, етерів та естерів, галогенозаміщених гідроксикислот тощо. Також для гідроксикислот характерні специфічні реакції, що обумовлені взаємним впливом двох функціональних груп. До цих реакцій відносяться реакції нагрівання гідроксикислот, в результаті яких, залежно від взаємного розташування функціональних груп, утворюються циклічні естери – лактиди або лактони та ненасичені карбонові кислоти.

Практичне значення та окремі представники. *Гліколева кислота* (гідроксиоцтова) – є найпростішим представником класу гідроксикислот. У природних умовах вона зустрічається у недозрілих фруктах (виноград).

Молочна кислота (α-гідроксипропіонова або лактатна) була відкрита в 1780 р. шведським вченим-хіміком і фармацевтом К. Шеєле у кислому молоці, звідки і отримала свою назву. Кислота, що міститься у кислому молоці, так звана молочна кислота бродіння, є рацематом, тобто складається з D(−)- та L(+)-молочних кислот. Оптично неактивна молочна кислота зазвичай утворюється у процесі молочнокислого бродіння вуглеводів, зокрема під час квашення овочів і плодів, визрівання сиру тощо. Закисання цих продуктів викликається життєдіяльністю молочнокислих бактерій. Тому, молочна кислота знаходиться у квашеній капусті, засолених огірках, житньому хлібі, молочнокислих продуктах (кисле молоко, кефір, сметана).

У живому організмі молочна кислота утворюється як продукт обміну на основі глюкози внаслідок анаеробного (за відсутності кисню) гліколізу. Раніше вважалося, що м’язи виробляють молочну кислоту у випадку недостатнього одержання кисню із крові. Сучасні дослідження показують, що вона утворюється і у м’язах, що одержують достатню кількість кисню.

Чиста лівообертаюча D-молочна кислота може бути одержана бродінням вуглеводів за участі особливого збудника бродіння (*Bacillus acidi laevolactici*). Правообертаючий ізомер L-молочної кислоти було відкрито Лібіхом (1847 р.) у м’ясному екстракті. Ізомер отримав назву м’ясо-молочної кислоти. Правообертаюча молочна кислота завжди міститься у м’язах тварин. Оптично неактивна молочна кислота може бути розділена на оптично активні ізомери за допомогою пліснявих грибків, а також кристалізацією молочнокислих солей оптично активних алкалоїдів: стрихніну, хініну або морфіну.

Молочна кислота застосовується як добавка Е 270 для підкислення вершкового масла, у виробництві безалкогольних напоїв і деяких сортів пива, її

також використовують для обробки шкіри у шкіряному виробництві, текстильному – як протраву. Естери молочної та жирних кислот і гліцерину використовуються як добавки Е 472b (клас емульгатори) у виробництві хліба, кондитерських виробів, морозива тощо.

У природі зустрічається L(−)-*яблучна кислота*. Вона міститься в яблуках, горобині, винограді, малині та інших ягодах і плодах. Яблучну кислоту (добавка Е 296) застосовують у виробництві кондитерських виробів і безалкогольних напоїв.

Природною *винною кислотою* є правообертаюча D(+)-винна кислота, яка називається виннокам'яною. Застосовують винну кислоту (добавка Е 334) у виробництві кондитерських виробів і безалкогольних напоїв, в аналітичній хімії для визначення іонів Калію.

Лимонна кислота міститься в лимонах та інших цитрусових, журавлині, смородині, вишні, листі махорки. Лимонна кислота (добавка Е 330) найбільш м'яка за смаком порівняно з іншими кислотами, тому вона широко застосовується у виробництві кондитерських виробів, безалкогольних напоїв та деяких видів рибних консервів.

Лабораторна робота №8

Гідроксикислоти

Прилади та реактиви:

штативи з пробірками, спиртівка, скляні палички.

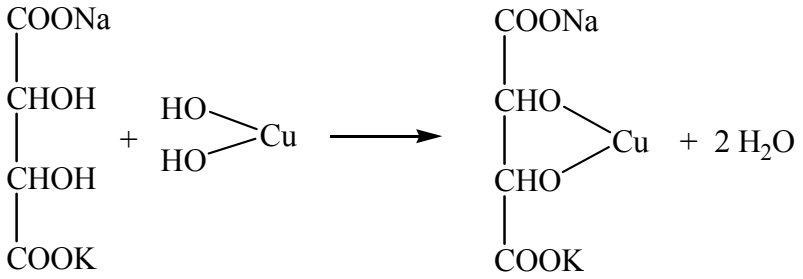
Саліцилова кислота, насичений розчин
Ацетилсаліцилова кислота (аспірин), кристалічна
Сегнетова сіль (калій-натрій виннокислий), 5% розчин
Танін, насичений розчин
$CuSO_4$, 10% розчин
NaOH, 10% розчин
$FeCl_3$, 2% розчин

ДОСЛІД 1. Взаємодія виннокислої солі з купрум(II) гідроксидом – утворення реактиву Фелінга

У пробірці змішати 0,5 мл розчину купрум(II) сульфату з 2 мл розчину натрій гідроксиду. До одержаного блакитного осаду купрум(II) гідроксиду додати 2 мл розчину сегнетової солі (калій-натрій виннокислий) й енергійно струсити.

Занотувати спостереження. Написати схеми реакцій утворення й розчинення осаду купрум(II) гідроксиду. Пояснити, чому сегнетова сіль розчиняє осад купрум(II) гідроксиду.

$$CuSO_4 + 2NaOH \longrightarrow Na_2SO_4 + Cu(OH)_2\downarrow$$



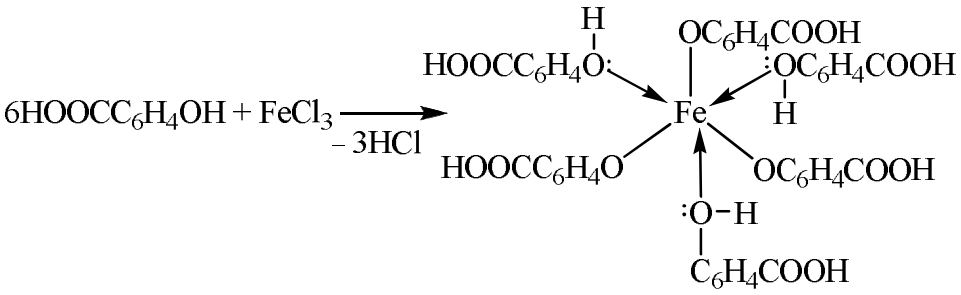
Реактив Фелінга – розчин темно-синього кольору

ДОСЛІД 2. Виявлення фенольного гідроксилу в саліциловій кислоті

У пробірці змішати декілька крапель розчину саліцилової кислоти з 1–2 краплями розчину ферум(III) хлориду.

Занотувати спостереження. Пояснити причину появи фіолетового забарвлення. Написати схеми реакції.

Звернути увагу! Проведена якісна реакція застосовується для виявлення різноманітних фенолокислот у природних сполуках.



Саліцилова кислота Комплексна сіль – ферум саліцилат

ДОСЛІД 3. Доведення відсутності фенольного гідроксилу в ацетилсаліциловій кислоті (аспірині)

У пробірці розчинити декілька кристалів аспірину з 10–15 краплями води. Додати до одержаного розчину 1–2 краплі розчину ферум(III) хлориду.

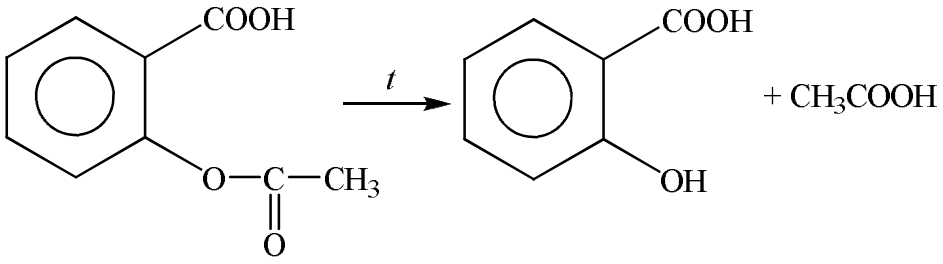
Занотувати спостереження. Пояснити причину відсутності фіолетового забарвлення. Написати структурну формулу аспірину.

ДОСЛІД 4. Гідроліз ацетилсаліцилової кислоти

Пробірку з сумішшю, що одержана під час досліду 5, нагріти 1…2 хв на спиртівці.

Занотувати спостереження. Пояснити, чому після нагрівання розчину утворюється фіолетове забарвлення. Написати схеми реакції гідролізу аспірину.

Звернути увагу! Проведена реакція застосовується для визначення якості аспірину.



Ацетилсаліцилова кислота (аспірин) Саліцилова кислота Оцтова кислота

ДОСЛІД 7. Реакції таніну

Танін – природна рослинна сполука (дубильна речовина), побудована галовою кислотою і глюкозою.

Окиснення таніну

До 3–5 крапель розчину таніну додати 2–3 краплі розчину натрій гідроксиду і струсити суміш упродовж 3…4 хв.

Занотувати спостереження. Написати структурну формулу галової кислоти.

Завдання для індивідуальної роботи

1. Наведіть приклади гідроксикислот, які використовують як харчові добавки. Для кожної з них зазначте код і області використання у виробництві харчової продукції.
2. Які гідроксикислоти взаємодією з відповідними спиртами утворюють естери, які застосовуються як емульгатори? Наведіть відповідні схеми реакцій утворення таких естерів.
3. Наведіть приклади гідроксикислот, що містяться у фруктах, овочах, рослинах. Охарактеризуйте їх фізичні і хімічні властивості.
4. Які багатоосновні гідроксикислоти широко застосовуються у харчовому виробництві? Наведіть можливі шляхи їх одержання з інших сполук.
5. Дайте аргументовану відповідь, як за допомогою методу ІЧ-спектроскопії можна відрізнити насичені карбонові кислоти від гідроксикислот. Наведіть також схеми реакцій, за допомогою яких можна відрізнити гідроксикислоти від карбонових.
6. Наведіть приклади гідроксикислот, які можна одержувати як з природної сировини, так і за допомогою органічного синтезу. Зазначте відповідні схеми реакцій.
7. Дайте визначення оптично-активним сполукам. Які прилади використовуються для визначення кута обертання площини поляризації поляризованого світла? У чому полягає принцип дії такого приладу? Наведіть приклади гідроксикислот, що є оптично-активними сполуками.

8. Охарактеризуйте, як змінюються фізичні та хімічні властивості сполук у ряді гідроксикислот з числом атомів Карбону 2–4. Відповідь підтвердіть схемами реакцій.

9. Яка з гідроксикислот набула найбільш широкого застосування у виробництві харчових продуктів і для яких цілей? З яких природних джерел можна виділити цю кислоту?

10. Яка з гідроксикислот набула найбільш широкого застосування у виробництві фармакологічних препаратів? З яких природних джерел можна виділити цю кислоту?

6. ВУГЛЕВОДИ

Вуглеводи і їх похідні належать до найпоширеніших у природі органічних сполук, які є необхідними компонентами клітин будь-яких організмів (бактерій, рослин, тварин).

У клітинах вуглеводи виконують функції будівельного матеріалу, джерела та акумулятора енергії, субстратів та регуляторів специфічних біохімічних процесів, рецепторів клітинних мембран, антигенних детермінант природних біополімерів. Вуглеводи виконують також скелетні функції в рослинах і деяких тваринах (краби, креветки), є основою клітинної стінки бактерій, входять до складу низки антибіотиків.

Зв'язуючись із нуклеїновими кислотами, білками і ліпідами, вуглеводи утворюють складні високомолекулярні біополімерні комплекси, які складають основу субклітинних структур та є основою живої матерії. D-Дезоксирибоза і D-рибоза належать до найголовніших компонентів носіїв генетичної інформації живих організмів – дезоксирибо- і рибонуклеїнових кислот (ДНК і РНК).

Оскільки вуглеводи краще за інші харчові речовини підлягають перетворенням із звільненням відповідної кількості енергії, вони особливо важливі у харчуванні як джерела енергії у разі інтенсивних фізичних навантажень. На них багаті зернові, картопля, фрукти, овочі та ін. Добова потреба людини у вуглеводах становить 450…500 г.

Залежно від здатності гідролізуватися вуглеводи поділяються на моносахариди й полісахариди. До полісахаридів належать досить різноманітні за своїми властивостями речовини, тому їх поділяють на дві групи: цукроподібні, або олігосахариди і нецукроподібні полісахариди.

Із точки зору харчової цінності вуглеводи поділяють на ті, що засвоюються (моно- та олігосахариди) організмом людини, і ті, що не засвоюються (целюлоза, геміцелюлоза, пектин, камеді, слизи).

Вуглеводи, що не засвоюються, складають основу харчових волокон і в організмі людини виконують дуже важливі функції: перешкоджають усмоктуванню холестерину, стимулюють моторну функцію кишечника, беруть участь у нормалізації складу кишкової мікрофлори, адсорбують жовчні кислоти, сприяють виведенню з організму токсичних елементів, нормалізують ліпідний обмін.

Вуглеводи, особливо крохмаль і сахароза, забезпечують основну частину калорійності раціону та суттєво впливають на сенсорне оцінювання харчових продуктів. Вуглеводи вносять вагомий внесок у формування текстури продуктів, оскільки вони здатні впливати на в'язкість, кристалізацію, гелеутворення, стабільність. Вони зумовлюють приємні відчуття у ротовій порожнині завдяки солодкості, колір і аромат харчових продуктів завдяки їх здатності вступати в хімічні перетворення з утворенням забарвлених та ароматичних речовин.

Вуглеводи є одними з основних сировинних ресурсів у технологічному циклі виробництва багатьох харчових продуктів, а тому суттєво впливають на перебіг фізичних, хімічних, біохімічних і мікробіологічних процесів і сприяють створенню широкого асортименту харчової продукції з поліпшеними показниками якості.

6.1. Моносахариди

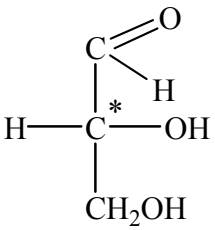
Загальна характеристика моносахаридів. Моносахариди (монози) – це прості вуглеводи, які не піддаються гідролізу.

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

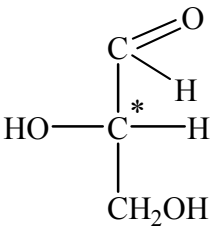
Залежно від кількості атомів Оксигену в молекулі моносахариди поділяють на тетрози $C_4H_8O_4$ (n=4), пентози $C_5H_{10}O_5$ (n=5), гексози $C_6H_{12}O_6$ (n=6) та ін.

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. Для встановлення конформації молекул оптичних ізомерів моносахаридів їх порівнюють із просторовою будовою молекул стандартної оптично активної сполуки – гліцеринового альдегіду, який існує у вигляді двох ізомерів:



D(+)-гліцериновий альдегід



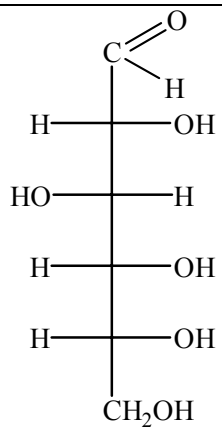
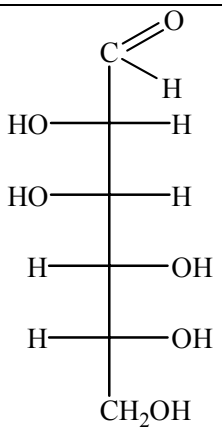
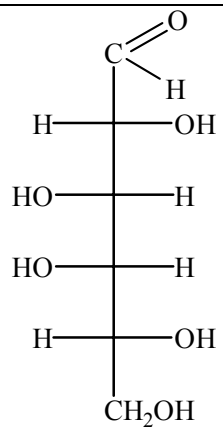
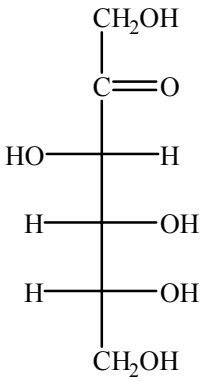
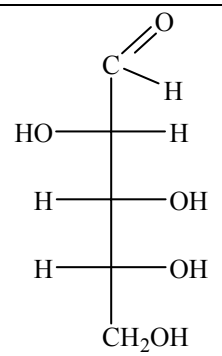
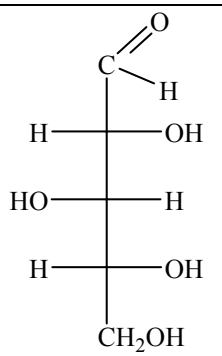
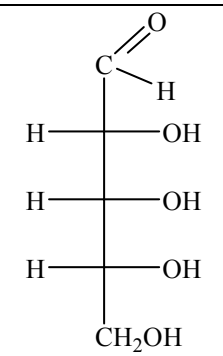
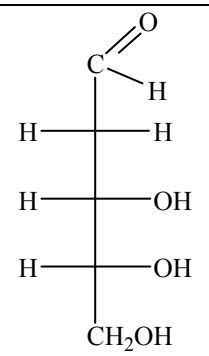
L(–)-гліцериновий альдегід

Моносахариди, у молекулах яких гідроксильна група біля максимально віддаленого від карбонільної групи хірального атома Карбону розташована так само, як у D-гліцеринового альдегіду (праворуч), відносять до D-ряду. Якщо вона розміщена, як у L-гліцеринового альдегіду (ліворуч), то такі моносахариди відносять до L-ряду.

Повну загальну назву моносахаридів утворюють, починаючи з префікса *альдо-* або *кето-*, до якого додають назву числівника і закінчення (суфікса) *-оза*. Оскільки вуглеводи представляють широке коло різноманітних природних сполук, правилами IUPAC дозволяється застосовувати для них тривіальні назви.

Найпоширенішими в природі моносахаридами, які мають найбільше біологічне і промислове значення, є альдо- та кетогексози ($C_6H_{12}O_6$), а також альдопентози ($C_5H_{10}O_5$).

Таблиця 6.1 – **Карбонільні (оксо-) форми деяких моносахаридів**

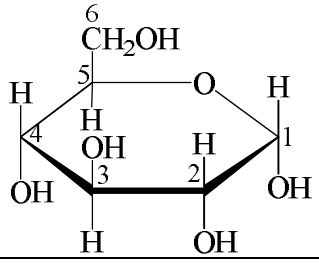
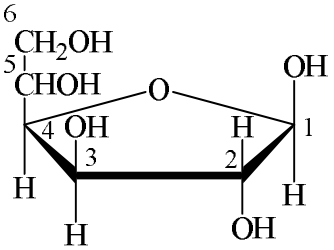
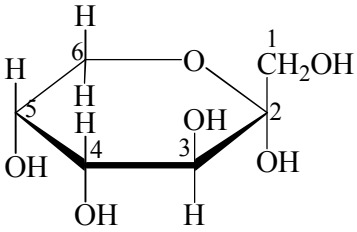
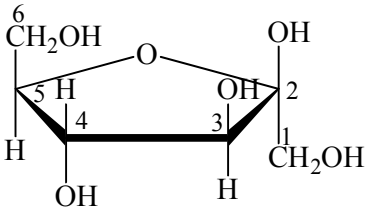
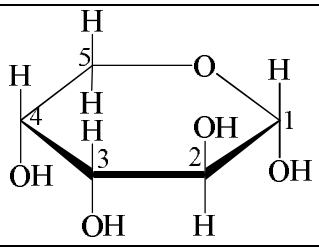
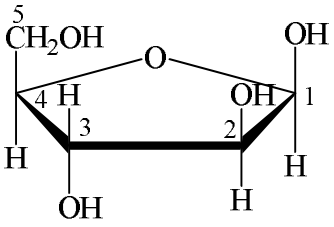
Гексози			
			
D(+)-глюкоза	D(+)-маноза	D(+)-галактоза	D(–)-фруктоза
Пентози			
			
D(–)-арабіноза	D(+)-ксилоза	D(–)-рибоза	D(–)-дезоксирибоза

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 α- і β-форми – аномери. Якщо в проекційній формулі Фішера напівацетальна група –OH розташована з того самого боку, що й гідроксильна група, яка визначає конформацію молекули (приналежність до D- або L-ряду), утворюється α-аномер, якщо з різних боків – β-аномер.

Під час розчинення моносахарів у воді спостерігаються таутомерні перетворення, які зумовлюють стан динамічної рівноваги суміші кількох форм молекул моносахаридів (α-, β-фуранозних і піранозних, карбонільної). Отже, розчини моносахаридів містять рівноважну суміш циклічних α-, β-фуранозних і α-, β-піранозних та лінійної (карбонільної) форм (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – **Циклічні (напівацетальні) форми деяких моносахаридів**

Структура Хеуорса	
Піранозна форма	**Фуранозна форма**
	
α-D-глюкопіраноза	β-D-глюкофураноза
	
α-D-фруктопіраноза	β-D-фруктофураноза
	
α-D-арабінопіраноза	β-D-арабінофураноза

Для моносахаридів є характерним явище мутаротації. Мутаротація – зміна величини кута обертання (від лат. *mutare* – змінювати, *rotatio* – обертання) протягом часу в розчинах вуглеводів унаслідок перебігу в них цикло-оксо-таутомерних перетворень.

Моносахариди в циклічній формі виявляють ще один вид ізомерії – конформаційну ізомерію, яка зумовлена просторовим розміщенням атомів Карбону піранозного циклу.

Хімічні властивості. Оскільки, в розчинах молекули моносахаридів знаходяться в циклічних і карбонільній формах, тому залежно від реакційних умов вони здатні виявляти властивості як карбонільних сполук, так і напівацеталей. Рівновага, при цьому, безперервно зміщується у бік утворення тієї форми, яка вступає в реакцію.

Найважливішими реакціями моносахаридів, що відбуваються за карбонільною формою їх молекул, є такі:

– відновлення з утворенням поліолів (багатоатомних спиртів);

– окиснення з утворенням залежно від умов реакцій -*онових* (під дією слабких окисників), -*аровых* (під дією HNO_3), -*уронових* (специфічне окиснення) кислот;

– приєднання синильної кислоти з утворенням нітрилу -*онової* кислоти;

– взаємодія з фенілгідразином з утворенням озазону.

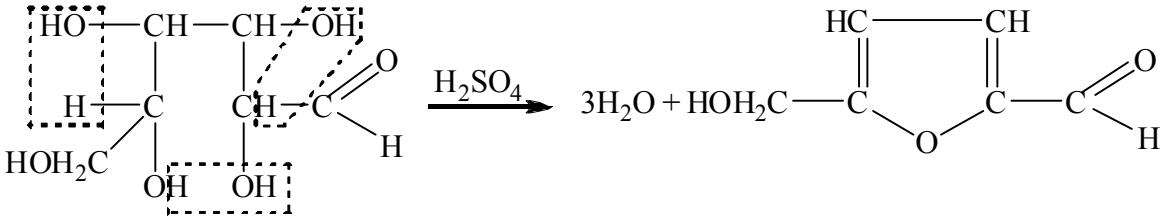
До реакцій моносахаридів, що відбуваються за циклічною формою їх молекул, належать такі:

– алкілювання з утворенням глікозидів (під дією спиртів) та етерів (під дією галогеналканів);

– ацилювання з утворенням естерів (під дією ангідридів або галогенангідридів кислот;

– взаємодія моносахаридів з утворенням оліго- і полісахаридів.

Для всіх вуглеводів, у тому числі і моносахаридів, характерна якісна реакція Подобєдова-Моліша – взаємодія з концентрованою сульфатною кислотою, в результаті чого утворюється оксиметилфурфурол (із гексоз) або фурфурол (із пентоз), який з α-нафтолом утворює продукти конденсації фіолетового кольору:



Гексоза Гідроксиметилфурфурол

6.2. Олігосахариди

Загальна характеристика олігосахаридів. Олігосахариди (від грецького «олігос» – небагато), або цукроподібні вуглеводи, молекули яких в умовах гідролізу розкладаються на декілька молекул моносахаридів (від 2 до 10 молекул).

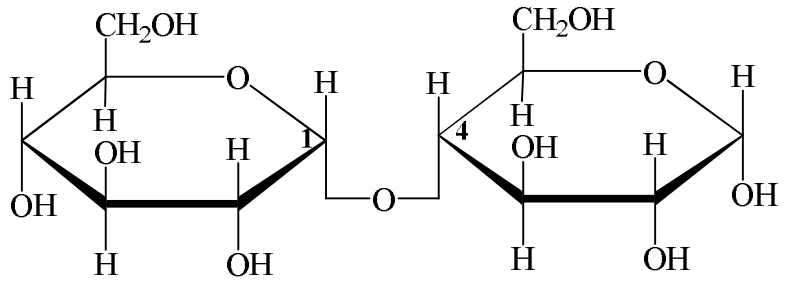
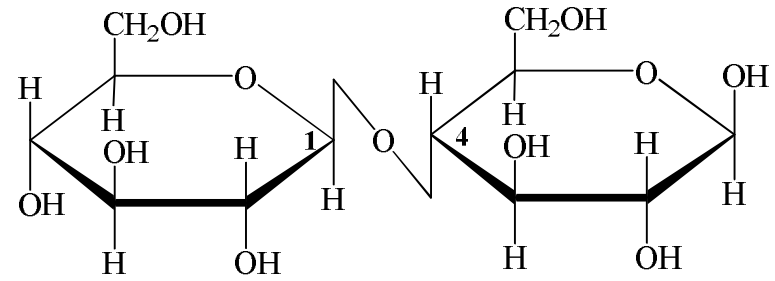
Найважливішими з них є дисахариди, загальна формула яких $C_{12}H_{22}O_{11}$. Дисахаридами називаються олігосахариди, молекули яких приєднуючи молекулу води, розкладаються на дві молекули моносахаридів. Дисахариди також називають біозами.

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 α- і β-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 – глікозид-глікозним. До них належать мальтоза, целобіоза, лактоза тощо.

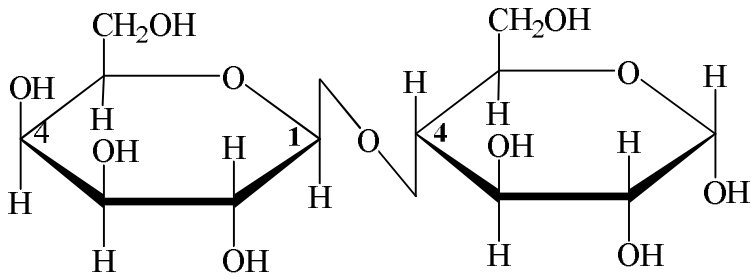
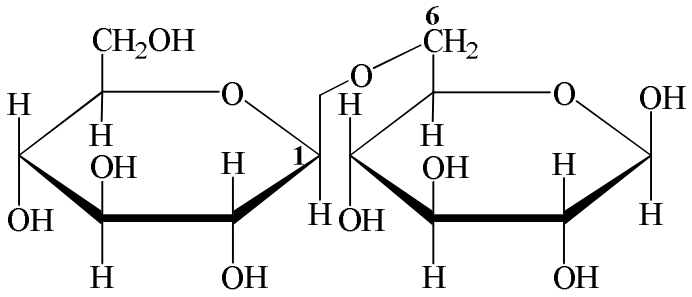
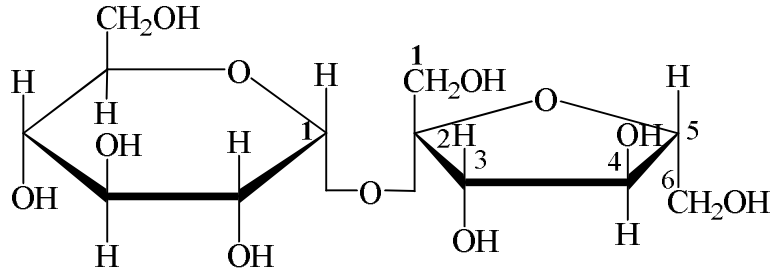
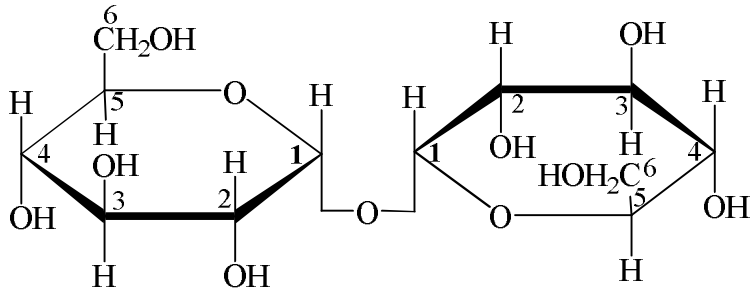
До дисахаридів другої групи належать дисахариди, молекули яких утворені за рахунок взаємодії глікозидних гідроксилів обох молекул моносахаридів. Молекули цих дисахаридів не мають жодного глікозидного гідроксилу, не відновлюють оксиди металів, не здатні до мутаротації та існують тільки в циклічних формах. Такі дисахариди називаються невідновлюючими, а зв'язок у молекулі – глікозид-глікозидним. До них належать сахароза, трегалоза тощо.

Тривіальні та систематичні назви поширених дисахаридів, представлених у циклічній формі структурами Хеуорса, наведено у табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – **Номенклатура поширених дисахаридів**

Циклічна форма дисахариду	**Тривіальна, систематична IUPAC**
1	2
Відновлюючі дисахариди	
	Мальтоза, 4-(α-D-глюкопіранозидо)-α-D-глюкопіраноза
	Целобіоза, 4-(β-D-глюкопіранозидо)-β-D-глюкопіраноза

Продовження табл. 6.3

1	2
	Лактоза, 4-(β-D-галактопіранозидо)-α-D-глюкопіраноза
	Генціобіоза, 6-(β-D-глюкопіранозидо)-β-D-глюкопіраноза
Невідновлюючі дисахариди	
	Сахароза, 2-(α-D-глюкопіранозидо)-β-D-фруктофуранозид
	Трегалоза, 1-(α-D-глюкопіранозидо)-α-D-глюкопіранозид

Хімічні властивості. Дисахариди за хімічною будовою є глікозидами, тому вони здатні до гідролізу під дією кислот або ферментів, у результаті чого утворюються відповідні моносахариди.

Для невідновлюючих дисахаридів, молекули яких існують тільки в циклічній формі, характерні реакції алкілювання, ацилювання та реакції багатоатомних спиртів з гідроксидами металів з утворенням сахаратів.

Для відновлюючих дисахаридів, молекули яких існують в двох формах: циклічній і карбонільній, крім реакцій, що характерні за циклічною формою, також відбуваються реакції за карбонільною формою, які аналогічні реакціям моносахаридів.

6.3. Полісахариди

Загальна характеристика полісахаридів. Полісахариди – високомолекулярні нецукроподібні природні вуглеводи, молекули яких містять велику кількість залишків моносахаридів, що сполучені глікозидними зв'язками. Ці зв'язки утворені за рахунок глікозидного гідроксилу попереднього залишку моносахариду і спиртового гідроксилу другої молекули моносахариду в α- або β-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 солодкі на смак, у воді не розчиняються, а утворюють колоїдні розчини.

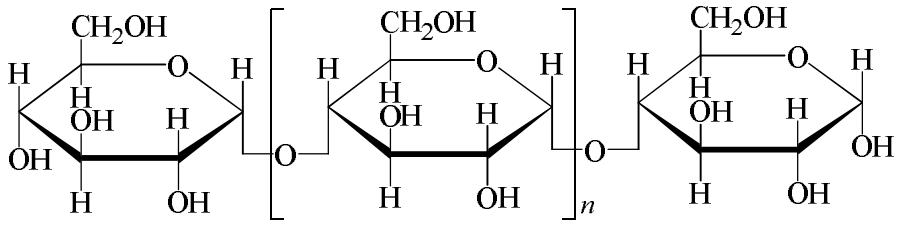
Залежно від хімічного складу розрізняють гомополісахариди і гетерополісахариди. В умовах гідролізу гомополісахариди утворюють однакові, а гетерополісахариди – різні за природою моносахариди.

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; інулін – із фруктози. Склад будь-якого з них позначається загальною формулою $(C_6H_{10}O_5)_x$, де x – величина порядку сотень і тисяч.

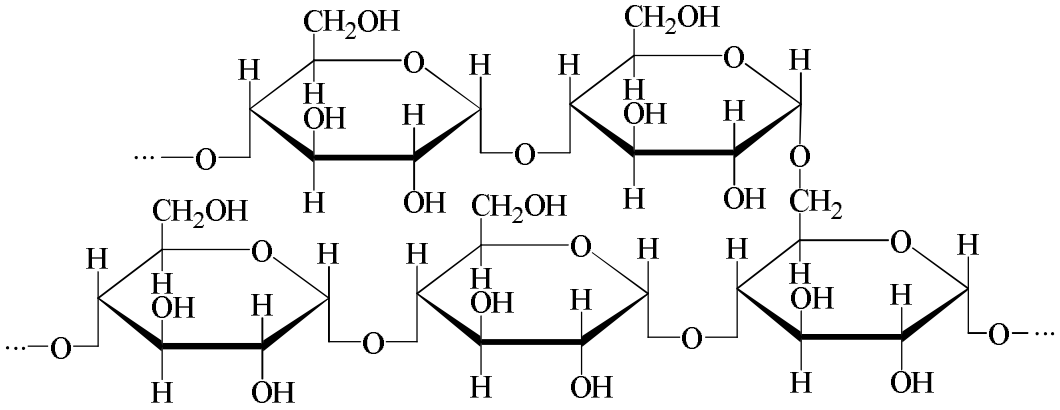
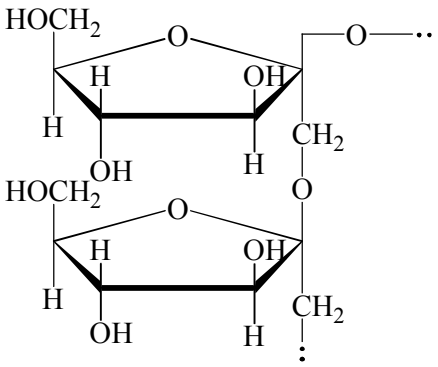
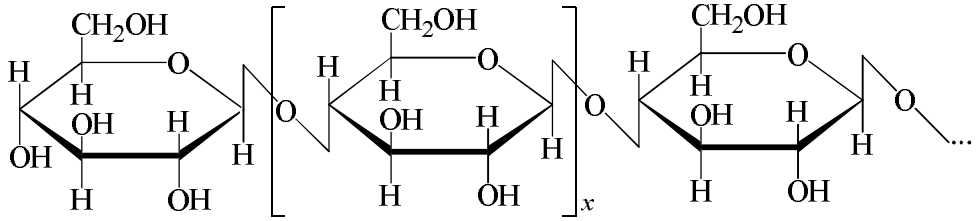
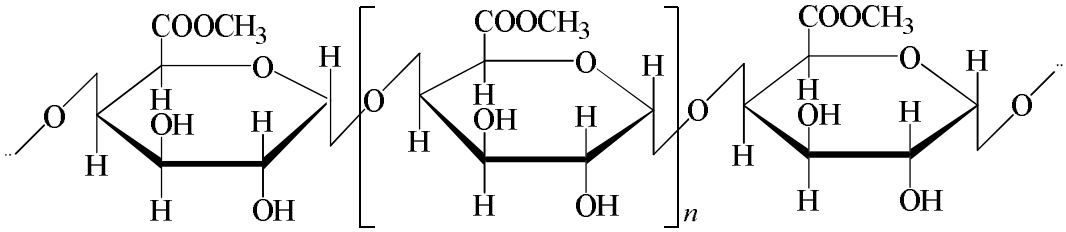
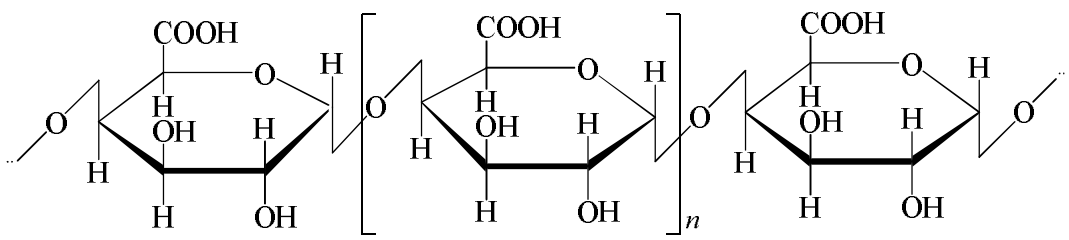
Систематичної хімічної номенклатури полісахариди не мають. Свою назву більшість полісахаридів отримують за джерелом їх виділення або завдяки особливим своїм властивостям, наприклад, целюлоза (клітковина), крохмаль, амілоза, амілопектин, інулін, пектин тощо (табл. 6.4).

Запропоновано називати полісахариди, замінюючи суфікс «оза» у назві моносахариду, який бере участь у побудові полісахариду, на «ан». Наприклад, крохмаль, побудований із залишків D-глюкози, називають D-глюканом. Узагалі, полісахариди називають гліканами. Полісахарид, побудований із декількох видів моносахаридів, наприклад, який складається із залишків D-галактози і D-маннози, називають D-галакто-D-манногліканом.

Таблиця 6.4 – **Структура відомих полісахаридів**

Формула у вигляді структури Хеуорса	**Назва**
1	2
	Амілоза

Продовження табл. 6.4

1	2
	Амілопектин
	Інулін
	Целюлоза
	Пектинова кислота – поліметилга-лактуронід
	Пектова кислота

Лабораторна робота №9

Вуглеводи

Прилади та реактиви:

штативи з пробірками, водяна баня, спиртівка, скляні палички.

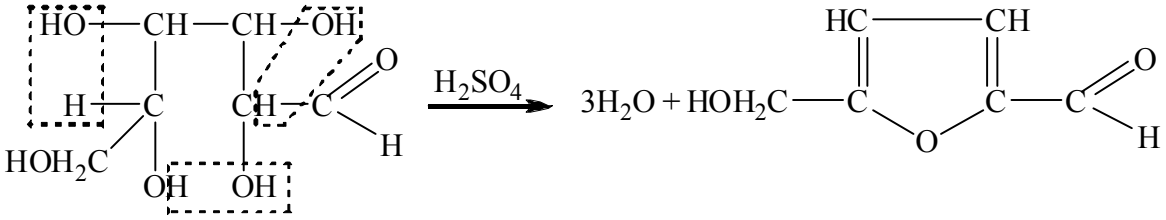
Глюкоза, 5% розчин
Мальтоза, 5% розчин
Сахароза, 5% розчин
Крохмальний клейстер, 1% розчин
Розчин Фелінг-I
Розчин Фелінг-II
α-Нафтол, 10% спиртовий розчин
H_2SO_4, концентрована
NaOH, 10% розчин
$CuSO_4$, 5% розчин
Розчин Люголя – 1% розчин I_2 у KI

ДОСЛІД 1. Якісна реакція на вуглеводи – реакція Подобєдова-Моліша

У кожній з чотирьох пробірок змішати по 1 мл розчину глюкози, мальтози, сахарози, крохмалю з однією краплею розчину α-нафтолу. Помутніння суміші пояснюється слабкою розчинністю α-нафтолу у воді. Потім обережно, по стінці пробірки долити 1 мл концентрованої сульфатної кислоти.

Занотувати спостереження. Написати схеми реакції дегідратації глюкози під дією сульфатної кислоти з утворенням 5-оксиметилфурфуролу, який вступає в реакцію конденсації з α-нафтолом, унаслідок чого утворюються забарвлені сполуки.

Схема реакції дегідратації глюкози:

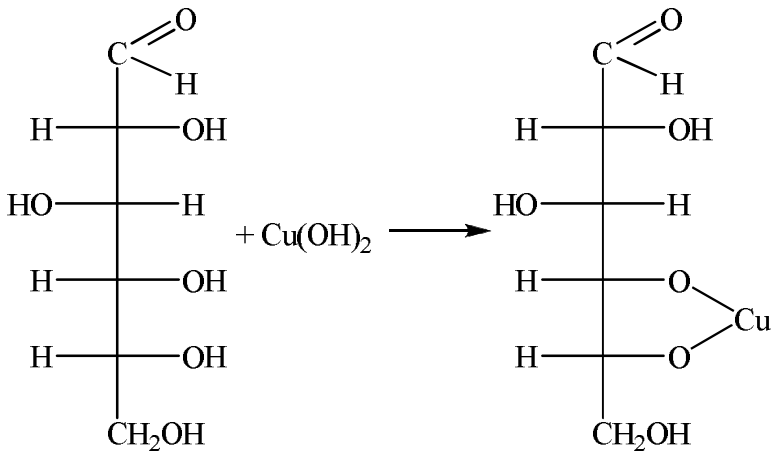


Глюкоза Гідроксиметилфурфурол

ДОСЛІД 2. Реакція моносахаридів з лужним розчином купрум(II) гідроксиду – реакція на гідроксильні групи в молекулі моносахаридів

У пробірці змішати 2 мл розчину глюкози з 1 мл 10% розчину натрій гідроксиду і додати 5% розчин купрум(II) сульфату. Після струшування спостерігається розчинення блакитного осаду купрум(II) гідроксиду й утворення синього розчину купрум(II) глюконату.

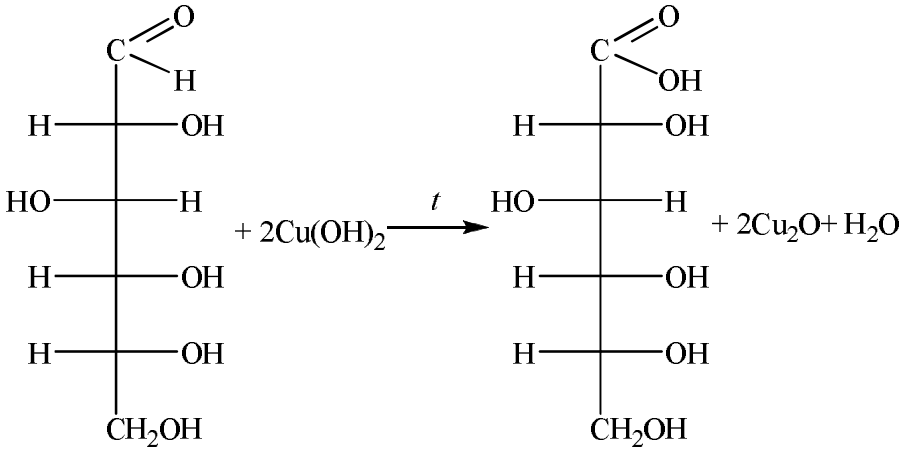
Занотувати спостереження. Написати схеми реакцій утворення осаду купрум(II) гідроксиду і комплексної сполуки – купрум(II) глюконату.



Глюкоза Купрум глюконат

ДОСЛІД 3. Окиснення моносахаридів купрум(II) гідроксидом під час нагрівання

До 1 мл розчину глюкози додати 1 мл розчину натрій гідроксиду, потім, струшуючи, долити 0,5 мл розчину купрум(II) сульфату. Суміш нагріти у полум'ї спиртівки.



Глюкоза Глюконова кислота

Занотувати спостереження. Написати схеми реакцій окиснення глюкози до глюконової кислоти і відновлення блакитного осаду купрум(II) гідроксиду $Cu(OH)_2$ до жовтого – купрум(I) гідроксиду Cu(OH), а далі – до червоного купрум(I) оксиду Cu_2O.

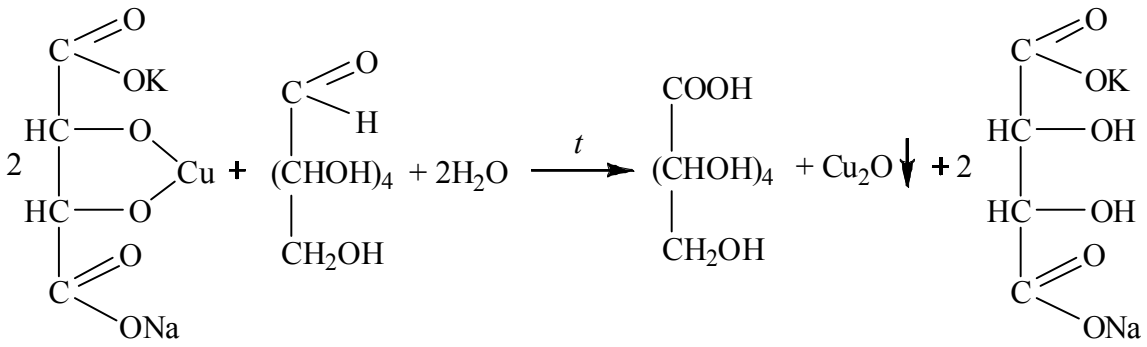
ДОСЛІД 4. Окиснення вуглеводів реактивом Фелінга

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 глюкози. Суміш нагріти на водяній бані. Аналогічно провести реакції з розчинами мальтози, сахарози, крохмалю.

Занотувати спостереження. Пояснити зміну забарвлення суміші. Написати схеми реакцій утворення блакитного осаду $Cu(OH)_2$; – реактиву Фелінга;

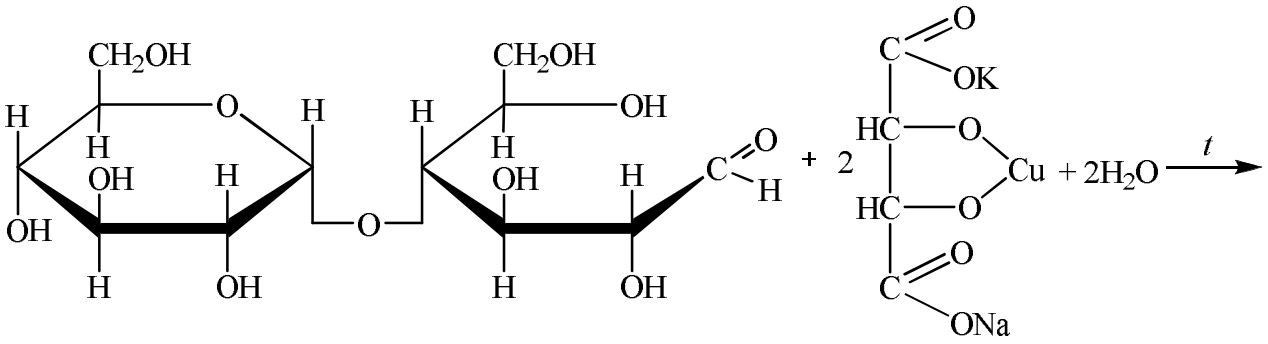
окиснення відповідного вуглеводу (глюкози до глюконової кислоти тощо) з одночасним відновленням реактиву Фелінга до Cu_2O.

Схема окиснення гексоз реактивом Фелінга:

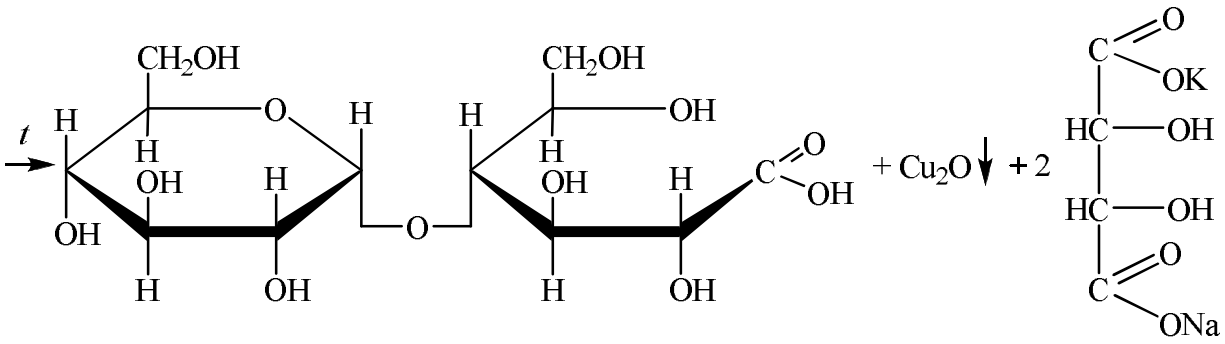


Реактив Фелінга Моносахарид Кислота Сегнетова сіль

Схема окиснення мальтози реактивом Фелінга:



Мальтоза в оксоформі Реактив Фелінга



Мальтобіонова кислота Сегнетова сіль

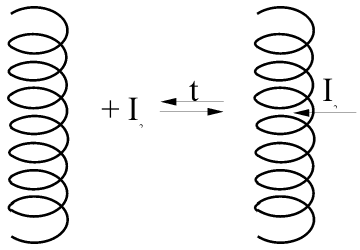
Пояснити, чому сахароза не відновлює реактив Фелінга: не змінює його забарвлення. Пояснити, чому не змінився колір реактиву Фелінга в реакції з крохмалем, незважаючи на те, що молекули амілози й амілопектину містять вільні глікозидні гідроксильні групи.

Звернути увагу! Реакція взаємодії карбонільних груп вуглеводів з реактивом Фелінга лежить в основі методу визначення вуглеводів методом Бертрана, який широко застосовується під час визначення в харчових продуктах редукуючих (відновлюючих) вуглеводів, сахарози, загальної кількості інвертного цукру, а також біохімічних дослідженнях.

ДОСЛІД 5. Йодокрохмальна реакція крохмалю

До 1 мл розчину крохмального клейстеру додати 1 краплю розчину Люголя. Одержану забарвлену рідину нагріти на спиртівці до знебарвлення і залишити пробірку у штативі до охолодження.

Занотувати спостереження. Пояснити результати досліду. Написати схему реакції взаємодії амілози з йодом (молекулу амілози схематично відобразити у вигляді спіралі).



Спіраль амілози Сполука включення

Звернути увагу! Йодокрохмальна реакція застосовується в аналітичній хімії для відкриття як крохмалю, так і йоду.

Завдання для індивідуальної роботи

1. Поясніть важливе значення для життєдіяльності людини аміносахаридів. На прикладі глюкозаміну наведіть можливі способи одержання цієї сполуки та охарактеризуйте її властивості.

2. Розгляньте всі види бродіння глюкози. Наведіть відповідні хімічні реакції. Дайте обґрунтовану відповідь, у яких галузях харчового виробництва застосовуються ці процеси.

3. Запишіть схеми хімічних перетворень, у результаті яких можна одержати аскорбінову кислоту (*γ*-лактон 2-оксо-L-гулонової кислоти). Охарактеризуйте хімічні властивості і поясніть роль цього вітаміну в життєдіяльності людини.

4. Охарактеризуйте властивості мальтози (солодовий цукор) і лактози (молочний цукор) і порівняйте їх з властивостями сахарози (тростинний цукор). Наведіть способи одержання цих вуглеводів.

5. Обґрунтуйте термін «інвертний цукор» і запишіть схему відповідної хімічної реакції. Зазначте приклад його утворення у природі.

6. Поясніть і підтвердіть відповідними схемами реакцій, у чому полягає механізм перетворення вуглеводів в умовах нагрівання. Наведіть приклади технологічних процесів, під час яких відбуваються такі перетворення.

7. Охарактеризуйте будову крохмалю і його властивості. Поясніть основні процеси фізико-хімічних перетворень, що відбуваються з полісахаридами крохмалю у технологічному потоці виробництва харчових продуктів.

8. Охарактеризуйте, яку роль целюлоза відіграє у природі. Наведіть структуру целюлози і поясніть, чим вона відрізняється від будови крохмалю. Зазначте приклади геміцелюлоз і поясніть їх роль у харчовому виробництві.

9. Наведіть приклади структурних формул пектинів у вигляді структур Хеуорса. Надайте класифікацію пектинів залежно від ступеня етерифікації і охарактеризуйте напрями їх застосування.

10. Обґрунтуйте роль вуглеводів у життєдіяльності людини. Зазначте вуглеводи, які засвоюються організмом, і ті, що не засвоюються.

7. АМІНИ. АМІНОКИСЛОТИ. БІЛКИ

7.1. Аміни

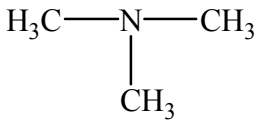
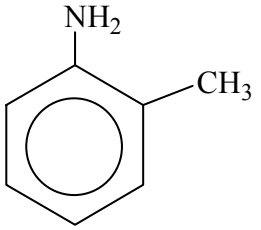
Загальна характеристика амінів. Аміни можна розглядати як похідні амоніаку NH_3, у молекулі якого атоми Гідрогену заміщено алкільними або арильними радикалами. Залежно від кількості вуглеводневих радикалів, що сполучені з атомом Нітрогену, розрізняють первинні, вторинні і третинні аміни:

Амоніак Первинний амін Вторинний амін Третинний амін

Залежно від природи вуглеводневого радикалу аміни поділяються на аліфатичні (жирні), ароматичні і жирно-ароматичні. За кількістю аміногруп в молекулі розрізняють моноаміни, діаміни тощо.

За номенклатурою IUPAC назви первинних амінів утворюють, додаючи до назв відповідних вуглеводнів слово «амін», ураховуючи положення аміногрупи. Вторинні і третинні аміни розглядають як похідні первинного аміну із замісниками, що сполучені з атомом Нітрогену. За раціональною номенклатурою для утворення назви аміну спочатку перераховують вуглеводневі радикали, сполучені з атомом Нітрогену, а наприкінці додають *-амін*. Для деяких амінів правилами IUPAC дозволені тривіальні назви, наприклад анілін, толуїдин тощо (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – **Номенклатура поширених амінів**

Формула	**Систематична IUPAC**	**Раціональна**	**Тривіальна**
$H_3C—NH_2$	Аміометан	Метиламін	–
$CH_3—NH—CH_3$	N-Метиламінометан	Диметиламін	–
	N,N-Диметиламінометан	Триметиламін	–
$C_6H_5—NH_2$	Амінобензен	Феніламінамін	Анілін
	1-Аміно-2-метилбензен	2-Амінотолуен	*о*-Толуїдин
$NH_2-(CH_2)_4-NH_2$	1,4-Діамінобутан	Тетраметилендіамін	Путресцин
$NH_2-(CH_2)_5-NH_2$	1,5-Діамінопентан	Пентаметилендіамін	Кадаверин

Ізомерія амінів. Для амінів характерна структурна ізомерія, яка зумовлена будовою карбонового ланцюга і положенням аміногрупи.

Хімічні властивості. Хімічні властивості амінів визначаються аміногрупою, Нітроген якої містить пару неподілених електронів. Тому для амінів у першу чергу характерні основні властивості і нуклеофільна реакційна здатність. Орбіталі атома Нітрогену всіх амінів, як і амоніаку, перебувають у стані sp^3-гібридизації і мають вільну неподілену електронну пару, за рахунок якої атом Нітрогену може приєднувати до себе протон H^+ води або кислот. Тому аміни, як і амоніак, виявляють основні властивості. Аміни – органічні основи. Аліфатичні аміни є більш сильними основами, ніж амоніак, ароматичні – слабшими внаслідок різних індукційних ефектів радикалів.

Найбільш характерними реакціями амінів, що відбуваються за аміногрупою, є такі:

– взаємодія з кислотами з утворенням солей;

– взаємодія з нітритною кислотою (діазотування) з утворенням різноманітних продуктів залежно від природи амінів: первинні аліфатичні аміни утворюють відповідні спирти, первинні ароматичні аміни – солі діазонію, вторинні аміни – нітрозо аміни, третинні аміни діазотуванню не підлягають, жирно-ароматичні третинні аміни утворюють *пара*-нітрозопохідні;

– взаємодія з електрофільними реагентами в реакціях алкілювання з утворенням відповідних алкілпохідних амінів;

– взаємодія з галогенангідридами або ангідридами кислот у реакціях ацилювання з утворенням відповідних ацилпохідних – анілідів;

– взаємодія з хлороформом з утворенням ізонітрилу – якісна реакція на первинні аміни;

– взаємодія первинних ароматичних амінів з альдегідами з утворенням азометину (основ Шиффа)

Для ароматичних амінів, крім реакцій за аміногрупою, характерні реакції, що обумовлені наявністю бензенового кільця: електрофільне заміщення з утворенням в основному *о*- і *п*-ізомерів, приєднання та ін. Аміногрупа є найсильнішим орієнтантом І роду. Вона настільки сильно активує ядро, що за звичайних умов сильні електрофільні агенти (HNO_3, H_2SO_4 та ін.) діють дуже енергійно і руйнують молекулу. Тому необхідно попередньо проводити захист аміногрупи. Наприклад, спочатку її ацилюють, а потім проводять реакцію електрофільного заміщення.

Практичне значення та окремі представники. *Аміни* знайшли широкого використання як селективні розчинники, у виробництві барвників, поверхнево-активних речовин, фармацевтичних препаратів.

Алкіламіни застосовують у виробництві прискорювачів вулканізації каучуку, інсектицидів.

Солі вищих амінів з мінеральними кислотами утворюють так звані «катіонні», або «кислі», мила – синтетичні миючі засоби. На відміну від звичайних «аніонних», тобто натрієвих або калієвих солей карбонових кислот, ці синтетичні мийні засоби нечутливі до твердої води.

Метиламін (амінометан), CH_3NH_2 – газоподібна речовина із запахом дуже схожим на запах амоніаку.

Триметиламін (N,N,N-триметиламінометан), $(CH_3)N$ – газоподібна речовина. Концентрована вона має запах, що нагадує запах амоніаку, але в розведеному стані триметиламін має дуже неприємний запах (гнилої риби). Міститься у великій кількості в оселедцевому розсолі, а також у деяких рослинах. Наприклад, його визначено серед речовин квітів одного виду глоду, що надає їм неприємного запаху.

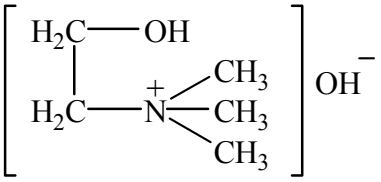
Гексаметилендіамін (1,6-діаміногексан) $NH_2–(CH_2)_6–NH_2$ має найбільше практичне значення серед діамінів. Гексаметилендіамін використовується у виробництві поліамідних синтетичних волокон, наприклад найлону.

Анілін (амінобензен), $C_6H_5–NH_2$ – маслянista рідина із слабким запахом. Анілін – вихідний продукт для синтезу багатьох органічних напівпродуктів і барвників анілінофарбової промисловості. Застосовується також у фармацевтичній і текстильній галузях.

Етаноламін (2-аміноетанол) або коламін, $HO–CH_2–CH_2–NH_2$ – густа маслянista рідина, що змішується з водою за будь-яких співвідношень, виявляє сильні лужні властивості. Коламін входить до складу кефаліну, який

відноситься до складних ліпідів – фосфоліпіди. Кефаліни вперше було виділено з тканин головного мозку (грецькою *kephale* – голова). Етаноламіни (моно-, ди-, три-) виявляють поверхнево-активні властивості і тому широко використовуються як емульгатори.

Холін – оксиетилтриметиламоній гідроксид, є чотиризаміщеною амонійною основою:



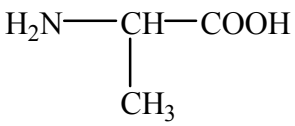
Холін

Холін входить до складу лецитинів – фосфоліпідів (група складних ліпідів), які розповсюджені в тваринних і рослинних організмах. Лецитини також виявляють поверхнево-активні властивості і тому є гарними емульгаторами, що здатні стабілізувати емульсії.

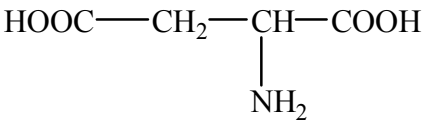
7.2. Амінокислоти

Загальна характеристика амінокислот. Амінокислоти – похідні вуглеводнів, молекули яких містять одночасно дві функціональні групи: аміно $–NH_2$ і карбоксильну –COOH, що зв'язані з карбоновим радикалом.

Залежно від кількості карбоксильних груп у молекулі розрізняють одно-, двох- і багатоосновні амінокислоти, наприклад:

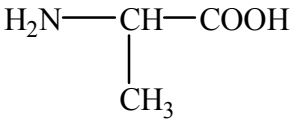


Моноаміномонокарбонові

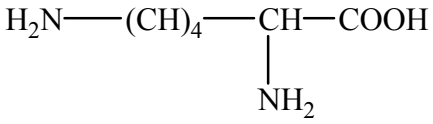


Моноамінодикарбонові

Залежно від кількості аміногруп в молекулі — моно-, ди-, триамінокислоти, наприклад:



Моноаміномонокарбонові



Діаміномонокарбонові

Залежно від природи вуглеводневого радикалу розрізняють аліфатичні, ароматичні, аліциклічні та гетероциклічні амінокислоти.

Амінокислоти, які беруть участь у побудові білкових молекул (біосинтезі білків), називають протеїногенними амінокислотами. Таких кислот двадцять. Вони закодовані в генетичному коді організму в молекулах дезоксирибонуклеїнових кислот (ДНК): аланін, аргінін, аспарагінова кислота, аспарагін, валін, гістидин, гліцин, глутамінова кислота, глутамін, ізолейцин, лейцин, лізин, метіонін, пролін, серин, тирозин, треонін, триптофан, фенілаланін, цистеїн.

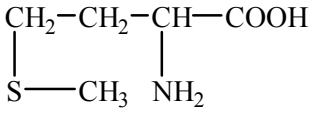
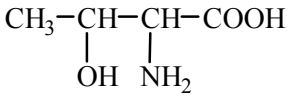
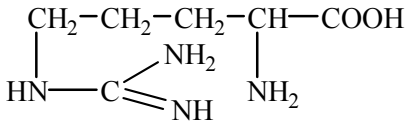
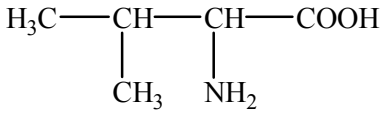
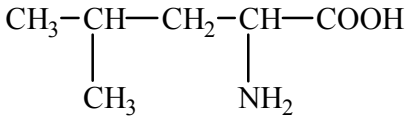
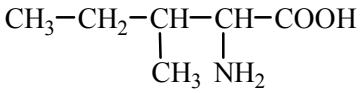
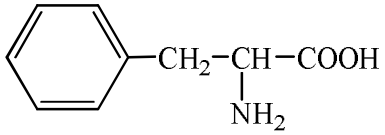
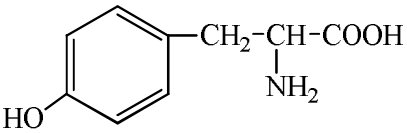
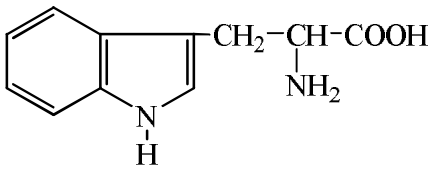
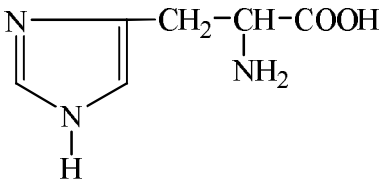
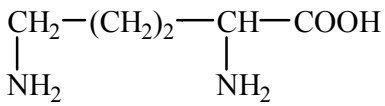
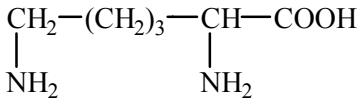
Серед протеїногенних кислот є незамінні α-амінокислоти, які не синтезуються в людському організмі, і тому повинні надходити з білками їжі. До незамінних кислот відносять вісім α-амінокислот (валін, ізолейцин, лейцин, лізин, метіонін, треонін, триптофан, фенілаланін), а дві – аргінін і гістидин, синтез яких в організмі відбувається повільно, вважають напівнезамінними. Проте для дітей аргінін і гістидин є незамінними амінокислотами. Білки їжі вважаються повноцінними, якщо вони містять усі незамінні α-амінокислоти у повній кількості і певному співвідношенні.

Для назв амінокислот застосовують тривіальну, раціональну і систематичну номенклатури (табл. 7.2). За правилами систематичної номенклатури IUPAC назви амінокислот складаються з назви карбонової кислоти з додаванням префікса *аміно-*. Положення групи $-NH_2$ позначається цифрою. За раціональною номенклатурою амінокислоти називають як похідні відповідних карбонових кислот, позначаючи положення аміногрупи літерами грецького алфавіту (α-, β- тощо). Для α-амінокислот, які відіграють важливу роль в утворенні білків, збережено тривіальні назви.

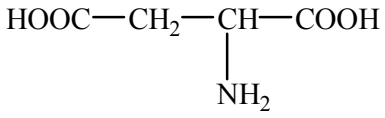
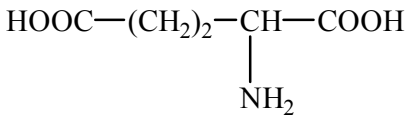
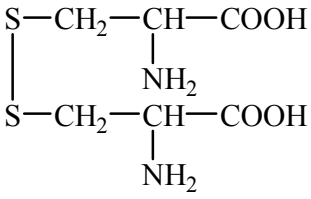
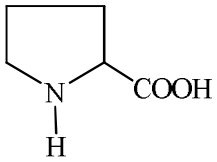
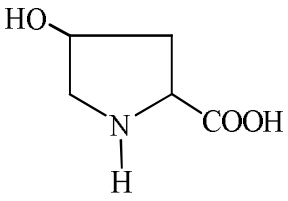
Таблиця 7.2 – **Номенклатура найважливіших амінокислот білків**

Формула	**Номенклатура**		
	Тривіальна	**Систематична IUPAC**	**Раціональна**
1	2	3	4
NH_2-CH_2-COOH	Гліцин (глікокол)	Аміноетанова	Амінооцтова
$\begin{matrix} NH-CH_2-COOH \\ \vert \\ CH_3 \end{matrix}$	Саркозин	N-Метиламіноетанова	N-Метиламінооцтова
$\begin{matrix} CH_3-CH-COOH \\ \quad\vert \\ \quad NH_2 \end{matrix}$	Аланін	2-Амінопропанова	α-Амінопропіонова
$\begin{matrix} CH_2-CH-COOH \\ \vert \quad\vert \\ OH \quad NH_2 \end{matrix}$	Серин	2-Аміно-3-гідроксипропанова	α-Аміно-β-оксипропіонова
$\begin{matrix} CH_2-CH-COOH \\ \vert \quad\vert \\ SH \quad NH_2 \end{matrix}$	Цистеїн	2-Аміно-3-тіопропанова	α-Аміно-β-тіопропіонова

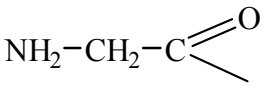
Продовження табл. 7.2

1	2	3	4
	Метіонін	2-Аміно-4-метилтіобутанова	α-Аміно-γ-метилтіомасляна
	Треонін	2-Аміно-3-гідроксибутанова	α-Аміно-β-оксимасляна
	Аргінін	2-Аміно-5-гуанідинпентанова	α-аміно-β-гуанідинвалеріанова
	Валін	2-Аміно-3-метилбутанова	α-Аміноізовалеріанова
	Лейцин	2-Аміно-4-метилпентанова	α-Аміноізокапронова
	Ізолейцин	2-Аміно-3-метилпентанова	β-Метил-α-аміновалеріанова
	Фенілаланін	2-Аміно-3-фенілпропанова	β-Феніл-α-амінопропіонова
	Тирозин	2-Аміно-3-пара-гідроксифенілпропанова	β-Пара-гідроксифеніл-α-амінопропіонова
	Триптофан	2-Аміно-3-індолілпропанова	β-Індоліл-α-амінопропіонова
	Гістидин	2-Аміно-3-імідазолілпропанова	β-Імідазолілаланін
	Орнітин	2,5-Діамінопентанова	α,δ-Діаміновалеріанова
	Лізин	2,6-Діаміногексанова	α,ω-Діамінокапронова

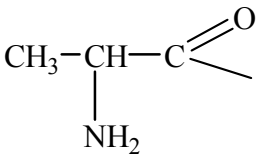
Продовження табл. 7.2

2	3	4	5
	Аспарагінова кислота	2-Аміно-1,4-бутандіова	α-Амінобурштинова
	Глутамінова кислота	2-Аміно-1,5-пентандіова	α-Аміноглутарова
	Цистин	–	–
	Пролін	2-Піролідинкарбонова	–
	Оксипролін	4-Гідрокси-2-піролідинкарбонова	–

Радикали амінокислот називають, замінюючи в назві амінокислоти закінчення *-ін* на *-іл*, наприклад:



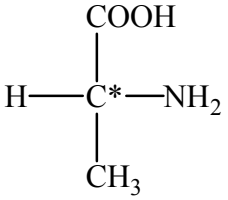
Гліцил



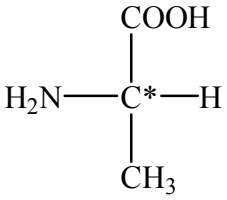
Аланіл

Ізомерія амінокислот. Для амінокислот характерна структурна і стереоізомерія. Структурна ізомерія зумовлена ізомерією карбонового ланцюга і положенням аміногрупи відносно карбоксильної.

Стереоізомерія амінокислот (за виключенням амінооцтової) зумовлена наявністю в молекулі хірального атома Карбону. Стереоізомери амінокислот виявляють оптичну активність та існують у вигляді оптичних ізомерів, наприклад, для α-аланіну відомо два оптичних ізомери (енантіомера):



D(-)-α-аланін



L(+)-α-аланін

Конфігурація цих сполук аналогічна D- і L-молочним кислотам і визначається положенням групи $–NH_2$ біля хірального атома Карбону. α-Амінокислоти L-ряду поширені в природі. Більшість із них є структурними елементами молекул білків. D-Форма амінокислот у природі зустрічається рідко, такі амінокислоти не засвоюються тваринним організмом. Вони входять до складу тільки деяких антибіотиків. Природні α-амінокислоти є лівообертаючими ізомерами.

Хімічні властивості. Наявність двох функціональних груп в молекулах амінокислот визначає їх амфотерні властивості: кислотні, що обумовлені наявністю карбоксильної групи і основні – аміногрупи. Крім того, амінокислотам характерний ряд специфічних реакцій, зумовлених взаємним впливом карбоксильної й аміногрупи.

Молекули амінокислот у розчинах існують у вигляді внутрішньої солі, утворення якої відбувається внаслідок переходу протона H^+ від карбоксильної $–COOH$ до аміногрупи $–NH_2$, атом Нітрогену якої має вільну пару p-електронів:

$$NH_2CH_2COOH \rightleftharpoons NH_2CH_2COO^- + H^+ \rightleftharpoons {}^+NH_3CH_2COO^-$$

Амінокислота	Аніон кислоти	Внутрішня сіль, біполярний іон або цвіттер-іон

Цвіттер-іон – це іон, в якому одночасно існують два протилежні заряди.

У водних розчинах молекули амінокислот поводять себе як біполярні іони, у кислому середовищі – як катіони, в лужному – як аніони:

$${}^+NH_3CH_2COOH \underset{+H^+}{\overset{-H^+}{\rightleftharpoons}} NH_2CH_2COOH \rightleftharpoons {}^+NH_3CH_2COO^- \underset{+H^+}{\overset{-H^+}{\rightleftharpoons}} NH_2CH_2COO^-$$

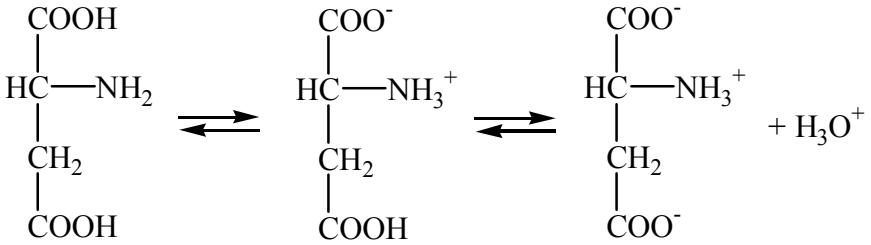
Спряжена кислота гліцину катіонна форма *Кисле середовище*	Нейтральний гліцин	Біполярний іон	Спряжена основа гліцину аніонна форма *Лужне середовище*

Під дією електричного струму відповідні іони рухатимуться до аноду або до катоду залежно від pH середовища. Проте за певного значення pH, яке позначають pH_i і яке відповідає ізоелектричному стану, на молекулі амінокислоти кількість позитивних зарядів «+» буде дорівнювати кількості від'ємних «–». Якщо за такого стану крізь розчин пропускати електричний струм, молекула не рухатиметься ані до катоду, ані до аноду. Тобто за такого

значення pH амінокислота існує тільки у вигляді біполярного іону. Це значення pH називають ізоелектричною точкою (pH_i), яка є фізичною константою амінокислот.

Так, для моноаміномонокарбонових кислот ізоелектрична точка знаходиться приблизно у нейтральному середовищі, а точніше – слабко кислому. Зміщення значення pH_i у кисле середовище пояснюється тим, що такі амінокислоти мають більшу величину кислотності (константа дисоціації $К_а$) порівняно з основністю ($К_в$). Наприклад, для гліцину $К_а=1{,}6\cdot10^{-10}$, а $К_в=2{,}5\cdot10^{-12}$. Тому в розчині такої амінокислоти буде подавлятися дисоціація більш слабкого електроліту($-NH_2$), а більш сильний електроліт ($-COOH$) залишатиметься у вигляді іонів.

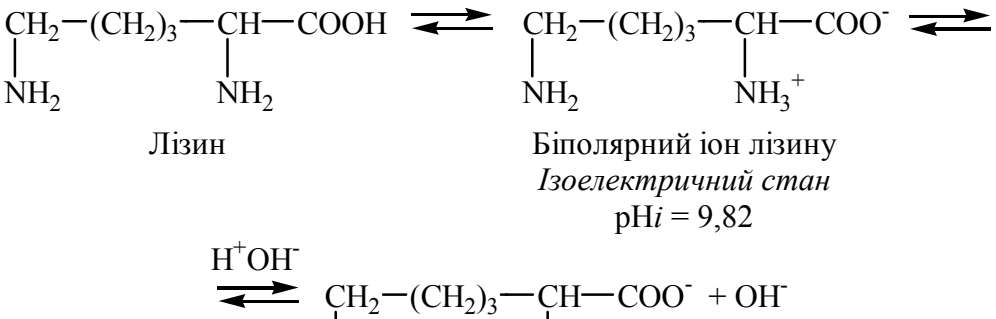
Для моноамінодикарбонових кислот ізоелектрична точка знаходиться у кислому середовищі:



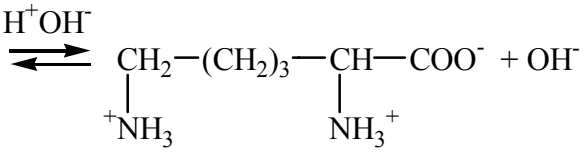
Аспарагінова кислота | Біполярний іон аспарагінової кислоти *Ізоелектричний стан* pH*i* = 2,77 | Аніон аспарагінової кислоти | Іон гідроксонію

За рахунок дисоціації аспарагінової кислоти в розчині буде надлишок іонів H^+ (H_3O^+). Для зміщення рівноваги у бік досягнення ізоелектричного стану (ліворуч), у правій частині рівноваги слід збільшити концентрацію іонів H^+ Таким чином, pH_i аспарагінової кислоти знаходиться у кислому середовищі (pH_i = 2,77).

Для діаміномонокарбонових кислот ізоелектрична точка знаходиться в лужному середовищі. Наприклад, під час дисоціації лізину у воді вільна аміногрупа ($-NH_2$) реагує з іонами води, і в розчині накопичуються аніони OH^-, що відповідає лужній реакції середовища:



Лізин | Біполярний іон лізину *Ізоелектричний стан* pH*i* = 9,82



Катіон лізину | Гідроксидіон

Із схеми видно, що для зміщення рівноваги у бік досягнення ізоелектричного стану (ліворуч) слід збільшити концентрацію іонів OH^- у правій частині рівноваги – тобто додати луг. Тому ізоелектрична точка для лізину знаходитиметься в лужному середовищі, $pH_i = 9{,}82$.

Наявність деяких груп у радикалі впливає на значення pH_i. Фенольні групи (тирозин), сульфгідрильні групи (цистеїн) відносяться до кислотних груп. Їх наявність у молекулі зміщує pH_i у кисле середовище. Гуанідиновий залишок аргініну, імідазольне ядро гістидину – основні групи, вони зміщують pH_i у лужне середовище.

Найважливішими реакціями амінокислот є такі:

– за карбоксильною групою: утворення солей, амідів, естерів, галогенангідридів;

– за аміногрупою: утворення солей, алкілювання, ацилювання, діазотування;

– специфічні реакції, що обумовлені взаємним впливом двох функціональних груп: реакції нагрівання амінокислот, у результаті яких, залежно від взаємного розташування функціональних груп, утворюються під час нагрівання α-амінокислот – дикетопіперазини, β-амінокислот – α, β-ненасичені карбонові кислоти, γ- і δ-амінокислот – лактами; утворення комплексних солей з гідроксидами важких металів.

Крім розглянутих реакцій для α-амінокислот характерні специфічні реакції, що відбуваються в живих організмах і мають важливе значення:

– реакція декарбоксилювання з утворенням відповідних біогенних амінів;

– окисне дезамінування з утворенням α-кетокислот, які далі можуть розкладатися до альдегіду і карбон(II) оксиду;

– реакції переамінування;

– реакції поліконденсації з утворенням пептидів, що лежать в основі побудови білкових молекул.

Практичне значення та окремі представники. *α-Аланін* – широко розповсюджена амінокислота в тваринних і рослинних організмах. Вона є важливим джерелом енергії для головного мозку та центральної нервової системи, посилює систему імунітету шляхом стимуляції вироблення антитіл та участі у синтезі лімфоцитів, приймає активну участь у метаболізмі вуглеводів та органічних кислот. На основі аланіну в організмі відбувається синтез глюкози, яка виступає універсальним джерелом енергії і регулятором рівня цукру у крові. Падіння рівня глюкози та малий вміст вуглеводів у їжі призводить до того, що білок м’язів руйнується і печінка перетворює одержаний аланін на глюкозу (глюконеогенез) для вирівнювання кількості глюкози в крові.

Валін – незамінна амінокислота, яка необхідна для відновлення ушкоджених тканин і метаболічних процесів в м’язах у разі важких навантажень, а також підтримання нормального обміну Нітрогену в організмі.

Природні джерела валіну: м’ясо (курка, яловичина), молочні продукти, гриби, арахіс, соя.

Треонін – незамінна амінокислота, яка необхідна для утворення м’язової тканини, колагену й еластину, а також створення міцної кісткової тканини і зубів (емаль). Стимулює процеси росту і нормалізує білковий обмін в організмі, підтримує практично усі системи організму: центральну нервову, серцево-судинну й імунну. Природними джерелами треоніну є молочні продукти, яйця, горіхи і боби.

Метіонін – незамінна амінокислота, яка нормалізує ліпідний обмін, приймає участь у розщепленні жирів, попереджує їх відкладання в печінці та на стінках артерій. Метіонін чинить антистресову дію завдяки наявності в ньому Сульфуру, який інактивує вільні радикали. Сульфгідрильна група метіоніну –S– також зумовлює перебіг процесів, пов’язаних із механізмом захисту організму від впливу радіації, попередження розладів формування волосся, шкіри та нігтів. Природними джерелами метіоніну є м’ясо, яйця, риба, часник, боби, сочевиця, цибуля, соя, насіння.

Лейцин – незамінна амінокислота, яка разом з ізолейцином і валіном відіграє важливу роль у процесах відновлення м’язової тканини. Лейцин ефективніше і швидше за інші амінокислоти перетворюється на глюкозу, завдяки чому зупиняє в м’язах катаболічні процеси (під час виснажливих тренувальних навантажень). Також він бере участь у відновленні м’язів після мікроушкодження, регулює рівень цукру в крові, збільшує секрецію гормону росту і сприяє спалюванню жирів. Природними джерелами лейцину є рис, гречка, горох, боби, пшеничний хліб, макаронні вироби, крупа пшенична, яловича печінка, яловичина, м’ясо птиці, яйця.

Ізолейцин – незамінна амінокислота, яка сприяє збільшенню фізичної витривалості і прискорює відновлення м’язової тканини (стимулює відновлення після тренувань) і підтримує безперервне поповнення запасів енергії. Ізолейцин необхідний для здійснення синтезу гемоглобіну. Він стабілізує і регулює рівень цукру у крові, а також процеси енергозабезпечення. Ізолейцин необхідний спортсменам, а також людям, хворим на деякі психічні розлади. Природні джерелами ізолейцину є горіхи кеш’ю і мигдалю, риба, м’ясо (яловичина), печінка тріски, сири, м’ясо птиці, яйця, гречка, нут (турецький горіх).

Лізин – незамінна амінокислота, яка відома своїми противірусними властивостями. За участю лізину відбувається синтез антитіл, що зміцнюють імунну систему, та утворення гормонів, регулюючих процеси росту й оновлення кісткової тканини. Також ця амінокислота стимулює синтез колагену і м’язового протеїну. Лізин необхідний для перебігу процесів, пов’язаних із нормальним формуванням кісток і ростом дітей. Він сприяє засвоєнню кальцію. Природними джерелами лізину є риба, м’ясо, молоко і молочні продукти, картопля, пшениця та горіхи.

Фенілаланін – незамінна амінокислота, яка необхідна для нормального функціонування центральної нервової системи. Оскільки фенілаланін легко проникає через гематоенцефалічний бар’єр, він застосовується для лікування

неврологічних захворювань. Фармакологічна дія цієї амінокислоти також пов'язана з механізмами процесів контролю симптомів депресії і хронічного болю, поліпшення пам'яті, настрою, емоційного фону, концентрації уваги. Природними джерелами фенілаланіну є м'ясо (яловичина, курка), риба, яйця, молоко і сир, соя.

Триптофан – незамінна амінокислота, яка необхідна в процесах синтезу двох гормонів: мелатоніну і серотоніну. Мелатонін бере участь у регулюванні зміни денного і нічного ритму фізіологічних функцій; серотонін – гормон, який певною мірою, відповідає за психічну діяльність людини. Триптофан також необхідний для продукції ніацину (вітамін B_3, PP), який приймає участь у метаболізмі жирів, білків, амінокислот, регулює окисно-відновні процеси в організмі. Природними джерелами триптофану є м'ясо курки та індички, риба, банани, кунжут, фініки, арахіс, кедрові горіхи , молоко, сир.

7.3. Білки

Загальна характеристика білків. Білки – це складні нітрогеновмісні високомолекулярні сполуки, біополімери, утворені залишками α-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.

Особливо важливу роль білки відіграють у тваринних організмах, які утворені головним чином тими чи іншими формами білків. М'язи, покривні тканини, шкіра, внутрішні органи, хрящі, кров – усе це білкові речовини. Білки входять до складу волосся, кігтів, рогів, шкіри, пір'я, вовни, шовку тощо.

Тваринний організм більш багатий білковими речовинами, ніж рослинний. У рослинах білки зустрічаються в протоплазмі, ядрі, клітковому соку й насінні (основну ж масу рослин складає клітковина). Рослини синтезують білки (і їх складові частини α-амінокислоти) із CO_2 і H_2O за рахунок фотосинтезу, засвоюючи інші елементи білків (N, P, S, Fe, Mg) із розчинних солей, які знаходяться в ґрунті. Зараз доведено, що рослини можуть засвоювати нітроген і безпосередньо з атмосфери. Тваринні організми в основному одержують готові амінокислоти з їжею і на їх базі будують білки свого організму.

Білки в організмах тварин і людей виконують певні біологічні функції (табл. 7.4). Це функції структурні (45…50% сухої маси людини припадає на білки – кератин волосся, нігтів, колаген сполучних тканин, еластин тощо), каталітичні (ферменти), захисні (імунні процеси в організмі відбуваються завдяки антитілам білкової природи), транспортні (поживні речовини переносяться сполуками білкової природи – гемоглобіном, міоглобіном, альбумінами сироватки тощо), сигнальна або гормональна (інсулін підшлункової залози, гормон росту, гастрин шлунка), моторні (робота м'язів, легенів, шлунка тощо здійснюється за участі білкових тіл), енергетичні (білки є джерелом енергії) та інші.

Білки, які входять до складу речовин організму, за період його життя безперервно піддаються процесам руйнування й окиснення. Білки в організмі людини незалежно від її віку постійно оновлюються. Найшвидше оновлюються білки печінки і слизової оболонки шлунка (до 10 діб), найповільніше (до 180 діб) – білки м'язів (міозин), сполучної тканини (колаген) і мозку (мієлін). Період оновлення гормонів вимірюється годинами або навіть хвилинами (інсулін). Швидкість оновлення білків виражається часом, необхідним для обміну половини всіх молекул, і називається періодом напівжиття ($T_{1/2}$). Середня величина $T_{1/2}$ для білків усього організму становить приблизно 3 тижні. Загальна швидкість синтезу білків у людини сягає 500 г на добу, що майже у 5 раз більше, ніж їх споживання з їжею. Цей результат здійснюється за рахунок повторного використання продуктів розпаду білків і амінокислот в організмі.

Відповідно до рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я ВООЗ (World Health Organization, WHO) і Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН ФАО (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) величина оптимальної потреби в білках становить 60…100 г на добу або 12…15% від загальної калорійності їжі.

Класифікація білків. Білки класифікують за походженням, загальним типом структури, біологічною функцією, хімічним складом тощо (табл. 7.4).

Таблиця 7.3 – **Класифікація білків**

Класифікаційна ознака	**Класифікація білків за типами, видами, групами та ін.**
Походження	Тваринні, рослинні, мікробні
Структура, загальний тип	Фібрилярні, глобулярні, мембранні
Біологічна функція	Структурні, каталітичні, захисні, регуляторні, сигнальні, транспортні, резервні, рецепторні, моторні, енергетичні
Хімічний склад	*Прості білки, апопротеїни*: альбуміни, глобуліни, протаміни, гістони, проламіни, глутеліни, протеноїди *Складні білки, голопротеїди*: глікопротеїди, ліпопротеїди, металопротеїди, нуклеопротеїди, фосфопротеїди, хромопротеїди

За хімічним складом білки поділяють на дві групи – прості (протеїни) і складні (протеїди). Прості білки під час гідролізу утворюють тільки α-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 – міозин, 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. Білки мають тривіальні назви. Наприклад, гемоглобін, рибонуклеаза, фібриноген тощо.

Будова білків. 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 (рис. 7.1).

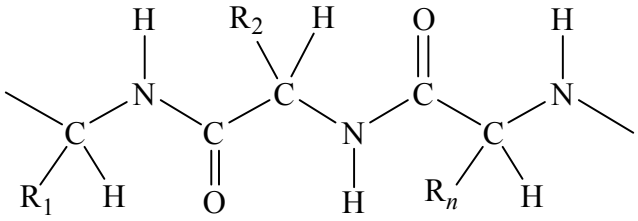


Рисунок 7.1 – Фрагмент поліпептидного ланцюга білкової молекули

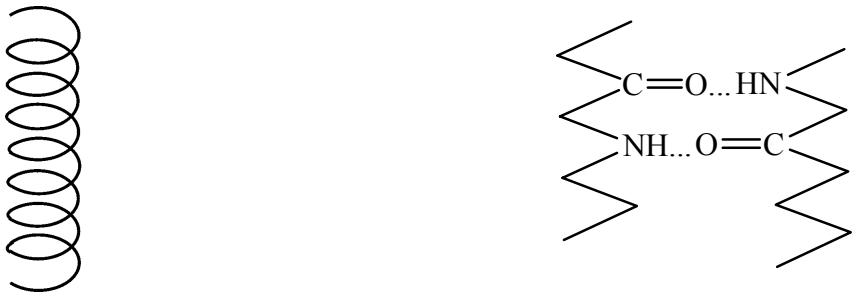
Будь-який вид живих організмів характеризується індивідуальним набором білків, який визначається спадковою інформацією, закодованою в ДНК.

Вторинна структура – просторова структура поліпептидного ланцюга, обумовлена водневими зв'язками між полярними групами –CO–NH–, що забезпечує максимальну стабільність молекули білка.

Вторинна структура існує у двох конформаціях – α і β (рис. 7.2). Більш характерною для білків є α-конформація (α-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 –CO–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 α-спіралі.

Розтягуванням α-конформації утворюється β-конформація (або структура за типом складчастого шару) лінійної будови, де поліпептидні ланцюги також сполучені між собою водневими зв'язками і розміщуються паралельно один

одному (рис. 7.2 *б*). Така вторинна структура характерна для деяких фібрилярних білків, наприклад фіброїну шовку, білків волосся, вовни тощо.



а ***б***

Рисунок 7.2 – Конформації вторинної структури білкової молекули: *а* – *α*-спіраль, *б* – *β*-спіраль

У деяких випадках *α*- і *β*-конформації існують одночасно або переходять одна на одну внаслідок перебудови водневих зв'язків.

Третинна структура – це тривимірна конфігурація, яка визначає просторову форму білкової молекули й утворюється завдяки водневим, іонним $–R_3N^+O^-CO–$, дисульфідним –S–S– і гідрофобним зв'язкам між поліпептидами.

В організації третинної структури велику роль відіграють радикали амінокислот. 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.

Хімічні властивості білків. *Амфотерність білків.* Білки, як і амінокислоти, є амфотерними сполуками і їх властивості залежать від pH середовища. Присутність у радикалах амінокислотних ланок білків –COOH і NH_2–груп зумовлює амфотерні властивості білків. У сильнокислому середовищі на білковій макромолекулі переважають позитивно заряджені іони й білку характерні властивості катіона. І, навпаки, у лужному середовищі реагують кислотні залишки, а білок виявляє властивості аніона. Існують білки, що мають явно виражений кислотний характер (складаються переважно із залишків двохосновних кислот) або лужний характер (в їх складі більше аміногруп) і, насамкінець, є білки нейтральні (число карбоксильних й

аміногруп в їх молекулах однакове). Тому, як і для *α*-амінокислот, кожному білку характерно відповідне значення ізоелектричної точки.

Гідроліз білків. Білки, як й інші складні сполуки, здатні гідролізуватися і розкладатися на більш прості сполуки. Загальновідомо, що кислотний і ферментативний їх гідроліз перебігає поступово через ряд проміжних стадій. Кінцевим продуктом гідролізу білків є *α*-амінокислоти. Гідроліз білків можна зобразити наступною схемою:

$$\text{білки} \xrightarrow{\text{HOH}} \text{пептони} \xrightarrow{\text{HOH}} \text{поліпептиди} \xrightarrow{\text{HOH}} \text{дипептиди} \xrightarrow{\text{HOH}} \alpha\text{-амінокислоти}$$

Гідроліз білків має велике біологічне значення, тому що практично в процесі обміну речовин організмом задіяна не сама білкова молекула, а продукти її розщеплення, які всмоктуються у кров через шлункові стінки. Синтез нових білків, специфічних для даного організму, здійснюється також за рахунок найпростіших пептидів і амінокислот.

Гідратація і дегідратація білків. Гідратація білків (поглинання води, набухання) відбувається за рахунок здатності різних полярних груп білків утримувати (адсорбувати) молекули води. Внаслідок гідратації сухі білкові компоненти (мука, крупа) під час кулінарної обробки набухають.

Дегідратацією білків називається втрата білками води. Розрізняють два види дегідратації – зворотну і незворотну. Зворотною дегідратацією є, наприклад, сублімаційна сушка виробів, за якої висушений продукт зберігає свою структуру. Перед вживанням його занурюють у воду і продукт відновлює свої вихідні властивості. Незворотна дегідратація відбувається у процесі заморожування м’яса, риби, наслідком якої після розморожування стає виділення води, що не може бути поглинутою білком.

Осадження білків. Білки здатні осаджуватись, тобто виділятися з розчинів. Розрізнюють два основних типи осадження білків – зворотне і незворотне.

У результаті зворотного осадження структура молекул білків не руйнується і тому вони здатні знову перейти в розчин після додавання нової порції розчинника, наприклад, води. Зворотне осадження білків відбувається під дією етилового спирту, ацетону, мінеральних солей (висолювання). Під час зворотного осадження властивості білків не змінюються.

Незворотне осадження (зсідання) призводить до повної зміни внутрішньої нативної структури і називається денатурацією.

Денатурація білків – руйнування їх конформації (вторинної і третинної структури) під впливом нагрівання, радіації, сильних кислот, лугів, солей важких металів, сильного струшування, механічним впливом.

Незворотне осадження білків в умовах нагрівання називається тепловою денатурацією.

Денатурація супроводжується зміною фізичних і хімічних властивостей білків:

– зменшується розчинність;
– змінюється форма і розмір молекул;
– втрачається ферментативна активність;
– змінюються оптичні властивості білків і т.д.

Кольорові реакції білків. Для білків характерні деякі кольорові реакції, що зумовлені наявністю в молекулі відповідних угруповань й амінокислотних залишків.

Біуретова реакція – поява фіолетового забарвлення після обробки білка концентрованим розчином лугу і насиченим розчином купрум(II) сульфату ($CuSO_4$). Це реакція на пептидний зв'язок і тому є якісною реакцією на усі білки.

Ксантопротеїнова реакція – поява жовтого забарвлення в результаті дії на білок концентрованої нітратної кислоти. Реакція має місце за наявності у білку ароматичних амінокислот.

Реакція на Сульфур (сульфгідрильна реакція) – випадіння чорного осаду плюмбум(II) сульфіду в умовах нагрівання білка з розчином плюмбіту, що зв'язано з наявністю в білку сульфурвмісних амінокислот.

Практичне значення та окремі представники. *Желатин* (французькою *gelatine*, від латинського *gelātus* «заморожений») – білковий продукт тваринного походження, який є сумішшю лінійних поліпептидів з різною молекулярною масою; продукт денатурації колагену, гідролізований колаген. Желатин може містити 1...2% неорганічних речовин і до 15% води.

Желатином є в'язка безбарвна або жовтуватого відтінку речовина, похідна колагену, фібрилярний білок сполучної тканини тварин. Складається з гліцину, проліну й оксипроліну. Одержують виварюванням (тривалим кип'ятінням з водою) кісток, хрящів та сухожиль, сполучної тканини, в основному свинячих і яловичих.

Желатин набухає у воді і розчиняється за температури, вищої за 50°С. Це єдиний гідроколоїд, який за охолодження утворює гель, а за нагрівання знову переходить на рідкий стан. В умовах тривалого впливу температури, вищої за 80 °С, він піддається гідролізу і поступово втрачає здатність до гелеутворення.

Желатин зареєстровано як харчову добавку Е 441. Він застосовується у виробництві харчової продукції (желе, морозиво, мармелад та ін.; для освітлення пива і вина), фотоматеріалів, фармацевтичних лікарських форм у вигляді капсул, газет, журналів, грошей (входить до складу деяких друкарських фарб), косметики.

Казеїн (латинською *caseus* – сир) – складний білок, фосфопротеїд. Молекулярна маса казеїну коливається в межах від 30000 до 400000. Казеїн практично нерозчинний у воді та органічних розчинниках, розчиняється у водних розчинах солей та розбавлених лугах, з яких осаджується після підкислення.

Казеїн – основний білковий компонент молока (2,5...4,5%), з якого його і виділяють. Казеїн має велике значення як харчовий продукт, бо він є основною складовою частиною сиру і являє собою повноцінний білок, у якому містяться всі необхідні організму амінокислоти.

Казеїн застосовується для виготовлення пластмас, фарб, клеїв, штучного волокна. На основі казеїну виготовляють натрій казеїнат, який широко застосовується у виробництві сухих сніданків, снеків, м'ясної (варені ковбасні вироби), молочної (сир, сметана, йогурт, стабілізатор морозива), хлібопекарської, кондитерської продукції. Натрій казеїнат є компонентом поживних висококалорійних сумішей, біологічно-активних добавок, кормів для тварин.

Альбуміни (латинською *albumen* – білок) – прості глобулярні білки. Дуже поширені в природі – входять до складу білка яєць, молока, сироватки крові, насіння, плодів тощо. Відіграють велику роль у життєдіяльності організмів. Альбуміни розчинні у воді, кислотах і лугах. Широко застосовуються у харчовій і текстильній промисловості.

Лабораторна робота №10

АМІНОКИСЛОТИ. БІЛКИ

Прилади та реактиви:

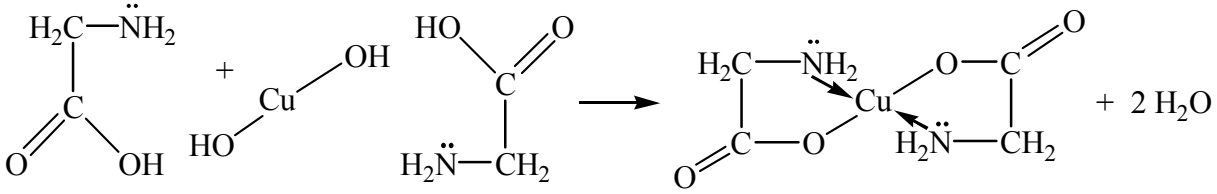
штативи з пробірками, універсальний індикаторний папір.

Гліцин (або аланін), 10% розчин
Оцтова кислота, льодяна
Розчин білка
$(CH_3COO)_2Pb$, 1% розчин
CuO, кристалічний
$NaNO_2$ (або KNO_2), насичений розчин
$FeCl_3$, 3% розчин
HNO_3, концентрована
H_2SO_4, концентрована
HCl, концентрована
$CuSO_4$, 1% розчин
NaOH, 30% розчин
NH_4OH, концентрований

ДОСЛІД 1. Одержання комплексної солі Купруму з *α*-амінокислотою

У пробірку налити 1 мл 10% розчину гліцину і додати пучку купрум(II) оксиду. Суміш нагріти до кипіння. Після відстоювання пробірки у штативі відзначити забарвлення водного шару.

Занотувати спостереження. Написати схеми реакції одержання солі гліцину.

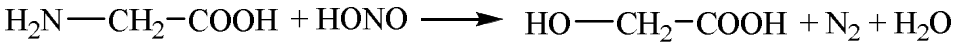


Купрум гліколят

ДОСЛІД 2. Взаємодія амінокислот з нітритною кислотою

У пробірці змішати 1 мл 10% розчину гліцину з 1 мл льодяної оцтової кислоти і додати по краплям 1 мл розчину натрій нітриту (або калій нітриту). До отвору пробірки піднести тліючу скіпку.

Занотувати спостереження. Написати схеми реакції гліцину з нітритною кислотою. Пояснити, чому тліюча скіпка гасне біля отвору пробірки.



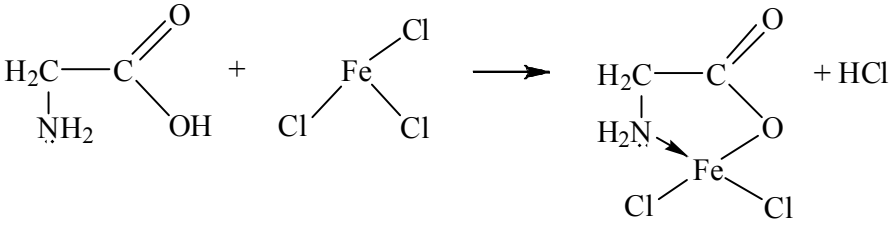
Гліцин Гліколева кислота

ДОСЛІД 3. Взаємодія амінокислот з ферум(III) хлоридом

Під дією ферум(III) хлориду у водних розчинах амінокислот утворюються хелати, забарвлені на червоний колір.

До 1 мл розчину амінокислоти додати краплю розчину ферум(III) хлориду. Поява червоного забарвлення є свідченням наявності у розчині амінокислот.

Занотувати спостереження. Написати схеми реакції гліцину з ферум(III) хлоридом.

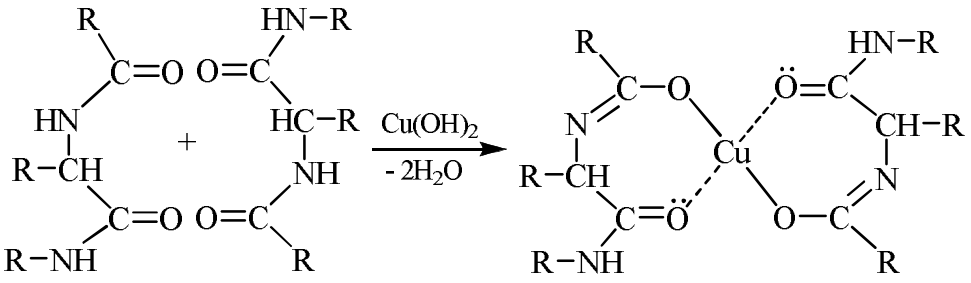


ДОСЛІД 4. Кольорові реакції білків

Біуретова реакція. Біуретова реакція є якісною реакцією на пептидний зв'язок і тому характерною для всіх білків.

До 2 мл розчину білка долити 1 мл 30% розчину натрй гідроксиду і 1 краплю розчину купрум(II) сульфату.

Занотувати спостереження. Написати схеми відповідних реакції.



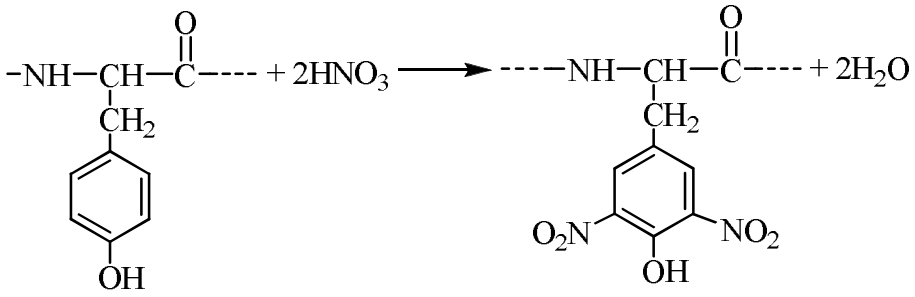
Фрагмент первинної структури білкової молекули

Фрагмент первинної структури білкової молекули у комплексі з Купрумом

Ксантопротеїнова реакція. Ксантопротеїнова реакція є характерною для білків, що містять амінокислотні залишки з ароматичним кільцем.

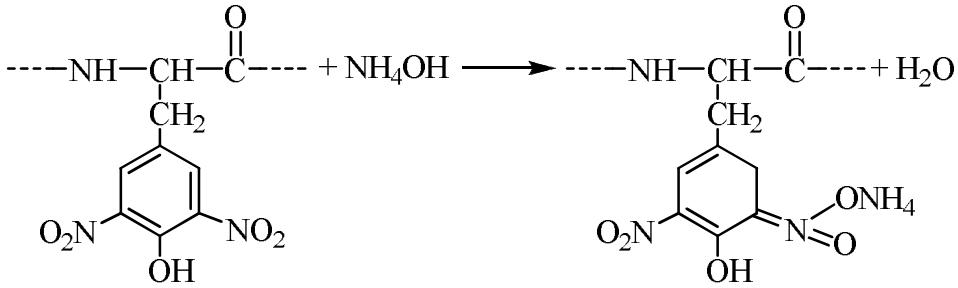
До 1 мл розчину білка долити 1 мл концентрованої нітратної кислоти, суміш нагріти до кипіння. Після охолодження обережно долити надлишок концентрованого амоніаку.

Занотувати спостереження. Написати схеми реакції нітрування бензенового ядра тирозину у фрагменті первинної структури білкової молекули.



Бензенове ядро тирозину у фрагменті первинної структури білкової молекули

Динітропохідна за бензеновим ядром тирозину (жовтий колір)



Динітропохідна за бензеновим ядром тирозину

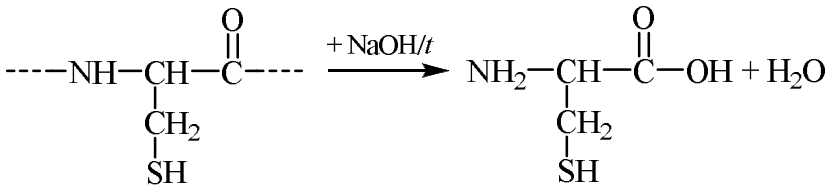
Амонійна сіль динітропохідної за бензеновим ядром тирозину (оранжевий колір)

Сульфгідрильна реакція. Сульфгідрильна реакція характерна для білків, що містять сірковмісні амінокислотні залишки.

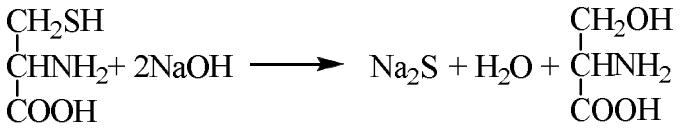
До 0,5 мл розчину плюмбум етаноату долити розбавлений розчин натрй гідроксиду до розчинення утворюваного спочатку осаду плюмбум(II) гідроксиду. До одержаного розчину натрій плюмбіту додати рівний об'єм розчину білка та прокип'ятити суміш протягом 1–2 хв.

Занотувати спостереження. Написати схеми гідролізу фрагменту білкової молекули, яка містить цистеїн, реакції утворення натрій плюмбіту та його взаємодії з сульфід-аніоном.

Під дією лугу і кип'ятіння відбувається гідроліз білків. Схема гідролізу фрагменту білкової молекули, яка містить цистеїн, зображується так:



Надалі сульфурвмісні амінокислоти взаємодіють з лугом:



Цистеїн Серин

$$(CH_3COO)_2Pb + 2NaOH \longrightarrow 2CH_3COONa + Pb(OH)_2\downarrow + NaOH$$

$$Pb(OH)_2 + 2NaOH \longrightarrow Na_2PbO_2 + 2H_2O + NaOH$$

$$Na_2S + Na_2PbO_2 + 2H_2O \longrightarrow PbS\downarrow + 4NaOH$$

ДОСЛІД 5. 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 осади, які утворилися і зробити відповідний висновок.

ДОСЛІД 6. Осадження білка солями важких металів

У дві пробірки налити по 1 мл розчину білка та додати в одну з них 3 краплі розчину купрум(II) сульфату, в іншу – 3 краплі розчину плюмбум етаноату. Потім долити в кожну пробірку 2 мл води.

Занотувати спостереження. Пояснити, чи є оборотним процесом осадження білків солями важких металів.

Завдання для індивідуальної роботи

1. Наведіть приклади гетероциклічних і ароматичних амінокислот. Охарактеризуйте їх властивості.

2. Наведіть приклади амінокислот, ізоелектрична точка яких знаходиться у кислому і лужному середовищі. Підтвердіть відповідь схемами реакцій.

3. Дайте визначення і наведіть приклади протеїдів і протеїнів. Охарактеризуйте їх властивості і роль у процесах життєдіяльності.

4. Опишіть декілька методів одержання білків у чистому гомогенному стані з природної сировини. Розкрийте основні стадії фракціювання і очищення білків.

5. Охарактеризуйте основні методи визначення відносної молекулярної маси білків. Поясніть особливості цих методів і зазначте більш точні.

6. Наведіть приклади глобулярних і фібрилярних білків. Охарактеризуйте їх властивості.

7. Поясніть властивості білків, що здатні виконувати роль структуроутворювачів. Зазначте приклади білків, які широко використовуються як структуроутворювачі у виробництві харчової продукції.

8. Охарактеризуйте фізіологічну роль білків в організмі людини. Наведіть приклади білків, що виконують ті, чи інші функції. До чого може призвести порушення роботи залоз внутрішньої секреції?

9. Під дією яких чинників і реагентів відбувається денатурація білка? Наведіть відповідні приклади і поясніть, що відбувається зі структурою білка під час денатурації. Чи можливе відновлення його структури і за яких умов?

10. Поясніть, яке значення має хімічний синтез білка. Охарактеризуйте окремі види синтезу, підтверджуючи відповідь схемами відповідних реакцій.

8. ЛІПІДИ

Загальна характеристика ліпідів. Ліпідами (від грецького *lipos* – жир) називають складну суміш органічних сполук з близькими фізико-хімічними властивостями, які виділяють із об’єктів рослинного, тваринного та мікробіологічного походження. Вони нерозчинні у воді, але добре розчиняються в органічних розчинниках (бензині, діетиловому етері, хлороформі тощо).

За хімічною будовою до ліпідів відносять природні похідні вищих жирних кислот, спиртів, альдегідів, які зв’язані естерними, етерними, амідними та глікозидними зв’язками.

Ліпіди широко розповсюджені в природі, є обов’язковою складовою частиною кожної клітини і разом з вуглеводами та білками складають основну масу органічних речовин усіх живих організмів. Ліпіди виконують роль структурних компонентів клітини, її запасних і захисних речовин. Вони є важливим компонентом харчової сировини, напівпродуктів і готових харчових продуктів, здебільшого визначаючи їх харчову і біологічну повноцінність і харчосмакові властивості.

Ліпіди виконують у живих організмах декілька функцій:

– енергетична – ліпіди є джерелом енергії. Під час окиснення в організмі 1 г жиру виділяється 9 ккал (37,66 кДж). За рахунок жирів забезпечується 25–35% добової потреби в енергії;

– регуляторна – ліпіди є важливими факторами регулювання обміну води в організмі. Під час окисненні 100 г жиру виділяється 107 г ендогенної води, що має особливе значення в екстремальних умовах (наприклад, за недостатнього надходження води ззовні);

– пластична – ліпіди входять до складу клітинних і позаклітинних мембран усіх тканин у вигляді ліпопротеїдів і таким чином беруть участь в окисно-відновних процесах, біосинтезі білка, транспорті речовин у клітині;

– захисна – ліпіди шкіри і внутрішніх органів захищають організм людини і тварин від переохолодження (заважають віддачі тепла), а також від механічних пошкоджень органів. Ліпіди, що виділяються сальними залозами, надають шкірі еластичність і захищають її від висихання.

У рослинах ліпіди накопичуються головним чином у насінні та плодах. У тварин і риб ліпіди концентруються в підшкірній, мозковій, нервовій тканинах і тканинах, що огортають важливі органи (серце, нирки). Вміст ліпідів у рослинах залежить від сорту, місця і умов їх вирощування; у тварин – від виду, складу кормів, умов утримання тощо.

Склад ліпідів різноманітний і залежить від джерела одержання (рослини, тварини, мікроорганізми), його стану, методів виділення та деяких інших чинників.

За хімічним складом ліпіди поділяють на прості і складні. Більшість простих ліпідів – це естери жирних кислот і різноманітних спиртів. До них належать жири (ацилгліцерини) і воски. До цієї групи входять також естери холестерину, вітамінів A, D і вищих жирних кислот.

Складні ліпіди – це естери жирних кислот і спиртів, що містять інші замісники за гідроксильною групою (можуть входити Нітроген, Фосфор і Сульфур). До них належать фосфоліпіди, фосфонліпіди, гліколіпіди (або цереброзиди), сульфоліпіди, ліпопротеїди, ліпополісахариди.

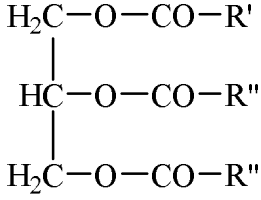
До групи похідних ліпідів відносять продукти гідролізу простих і складних ліпідів: жирні кислоти (насичені й ненасичені), моно- і діацилгліцерини, гліцерин, стерини, жирні альдегіди, ліпідна частина ліпопротеїдів.

До окремої групи відносять аліфатичні вуглеводні, сквален та інші терпени, циклічні ліпіди – жиророзчинні пігменти, вітаміни тощо.

Відповідно до хімічних властивостей ліпіди поділяють на дві групи: нейтральні і полярні. Кожна з груп включає декілька класів ліпідів. До групи нейтральних ліпідів відносять ацилгліцерини, діольні ліпіди, гліколіпіди, сфінголіпіди, естери холестерину, воски. Полярні ліпіди поділено на три підгрупи відповідно до кислотних залишків: фосфоліпіди, фосфонліпіди, сульфоліпіди.

Склад жирів. Жири – найбільша група ліпідів, що є сумішшю різних за складом ацилгліцеринів і супутніх речовин, представлених іншими ліпідами і речовинами неліпідного характеру. Природні тваринні та рослинні жири (рослинні олії або олії) складаються головним чином з ацилгліцеринів.

Ацилгліцерини – повні естери триатомного спирту гліцерину і вищих карбонових кислот, позначаються наступною загальною формулою:



де R', R'', R''' — радикали алканових і алкенових кислот

Жири містять дві або три головні кислоти і деякі інші кислоти меншою кількістю. Кислоти жирів – монокарбонові, мають нерозгалужений карбоновий ланцюг, як правило, з парним числом атомів Карбону (табл. 8.1).

Таблиця 8.1 – **Основні карбонові кислоти, що входять до складу природних жирів і олій**

Назва	**Індекс**	**Формула**
1	2	3
Насичені кислоти		
Масляна	C_4	$CH_3(CH_2)_2COOH$
Капронова	C_6	$CH_3(CH_2)_4COOH$
Каприлова	C_8	$CH_3(CH_2)_6COOH$
Капринова	C_{10}	$CH_3(CH_2)_8COOH$
Лауринова	C_{12}	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$
Міристинова	C_{14}	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$
Пальмітинова	C_{16}	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
Стеаринова	C_{18}	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$
Арахінова	C_{20}	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$
Ненасичені кислоти		
Олеїнова	$C^1_{18\text{-}9}$	$CH_3–(CH_2)_7–CH=CH–(CH_2)_7–COOH$
Лінолева	$C^2_{18\text{-}9,12}$	$CH_3(CH_2)_4CH=CH–CH_2–CH=CH(CH_2)_7COOH$
Ліноленова	$C^3_{18\text{-}9,12,15}$	$CH_3–(CH_2CH=CH)_3–(CH_2)_7–COOH$
Арахідонова	$C^4_{20\text{-}5,8,11,14}$	$CH_3–(CH_2)_3–(CH_2–CH=CH)_4–(CH_2)_3–COOH$
Гідроксикислоти		
Рицинолева	$C^1_{18\text{-}9}$	$H_3C(H_2C)_5–\underset{\underset{OH}{\vert}}{CH}–CH_2–CH=CH–(CH_2)_7COOH$

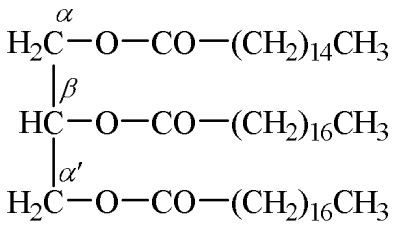
У триацилгліцеринах залишки гліцерину становлять близько 10% від загальної маси жиру, а решта припадає на жирні кислоти. Кожен сорт жиру має свій жировий склад (табл. 8.2).

Ацилгліцерини, які утворені насиченими жирними кислотами, мають тверду консистенцію, ацилгліцерини ненасичених кислот – рідку. Тверді ацилгліцерини утворюють основу твердих жирів (баранячий, яловичий), а рідкі входять переважно до складу м’яких і рідких жирів (гусячий жир, олії). Такі ацилгліцерини, як тристеарин, трипальмітин, триолеїн, входять до складу практично всіх природних жирів.

Таблиця 8.2 – **Склад деяких жирів**

Назва жиру	Масова частка кислот, %						
	Насичені			Ненасичені			
	Пальмітинова	Стеаринова	Сума	Олеїнова	Лінолева	Ліноленова	Сума
Баранячий	28	30	58	35	3	–	38
Яловичий	28	25	53	44	1,3	–	45,5
Свинячий	28	11	39	55	5	–	60
Льняна олія	6	4	10	22	16	52	90
Соняшникова олія	11	4	15	39	46	–	85
Маслинова олія	16	2	18	64	16	2	82

Будова, ізомерія, номенклатура ацилгліцеринів. Назви жирів походять від назв кислот, що входять до їх складу. Положення залишків кислот позначаються літерами α, β, α':



α-Пальмітодистеарин або α-пальмітодистеарат гліцерину

Триацилгліцеринам характерна ізомерія положення кислотних залишків, що позначаються літерами α, β, α'.

Хімічні властивості. *Гідроліз жирів*. Гідроліз жирів – гідролітичне розкладання триацилгліцеринів під дією кислот або ферменту ліпази, у результаті чого утворюється суміш діацилгліцеринів, моноацилгліцеринів, гліцерину і жирних кислот.

Кип'ятінням жирів з водними розчинами лугів одержують гліцерин і солі відповідних кислот, які називаються милами. І тому лужний гідроліз, який називається реакцією омилення, є основою технології виробництва мила. Натрієві солі вищих жирних карбонових кислот являють собою тверде мило, калієві солі – рідке мило. Солі лужних металів розчиняються у воді, утворюючи колоїдний розчин. Солі лужноземельних у воді не розчиняються. Саме з цим пов'язують погіршення миючих властивостей мила у воді підвищеної твердості, для якої характерна присутність значної кількості іонів Mg^{2+}, Ca^{2+}. Ці катіони взаємодіють з аніонами карбонових кислот, які утворюються внаслідок дисоціації, і переходять на нерозчинні у воді відповідні солі, що зумовлює зменшення загальної кількості карбоксилат-аніонів або самого мила.

Гідроліз триацилгліцеринів широко застосовується в техніці для одержання жирних кислот, гліцерину, моно- і діацилгліцеринів.

Гідрогенізація (гідрування) жирів. Основна хімічна реакція, що перебігає під час гідрогенізації – приєднання атомів Гідрогену до подвійних зв'язків вуглеводневих залишків ненасичених жирних кислот.

Таким чином, дешеві рослинні жири каталітичним гідруванням переводять на тверді жири. Як вихідну сировину використовують жир морських ссавців і рослинні жири – соняшникову, бавовняну, соєву, рапсову олії та ін. Продукт реакції повної гідрогенізації називається саломасом, який використовують для технічних цілей (одержання мила, гліцерину), що обумовлено його високою температурою плавлення ($T_{пл.}$≈72ºС).

Для одержання харчових жирів процес гідрогенізації проводять не повністю, тобто певна кількість ненасичених кислот повинна залишатися в жирах з метою одержання продуктів з відповідною температурою плавлення. Проте слід розуміти, що реакція гідрогенізації відбувається за температур 180...240ºС, і тому паралельно також відбуваються різноманітні процеси псування жирів: окиснення, *цис*-, *транс*-ізомерізація тощо, що призводить до накопичення в продуктах шкідливих речовин – продуктів окиснення, *транс*-жирів. З метою уникнення небажаних наслідків, пов'язаних із недоліками складу, харчові жири доцільно одержувати за значно м'якших умов. Досягти такої цілі можна застосуванням реакції переестерифікації.

Переестерифікація жирів. Велике практичне значення мають реакції переестерифікації, під час яких відбувається обмін ацильними групами між різними молекулами ацилгліцеринів (міжмолекулярна переестерифікація).

Триацилгліцерини за температури 80...90ºС у присутності каталізаторів (натрій метилат та етилат, натрій, калій, алюмосилікати) здатні обмінюватися ацилами. Реакція переестерифікації тваринних і рослинних жирів з високими температурами плавлення з рідкими рослинними жирами дає можливість знижувати температуру плавлення одержуваних харчових жирів. Наприклад, продукт, вироблений міжмолекулярною переестерифікацією із суміші соняшникової олії і свинячого жиру, порівняно з саломасом соняшникової олії характеризується нижчою температурою плавлення (31...32°С) і має у складі значно меншу кількість *транс*-ізомерів жирних кислот.

Алкоголіз. Ацилгліцерини під час нагрівання з етиловим або метиловим спиртом утворюють відповідні естери жирних кислот із вивільненням гліцерину. Такий обмін спиртів у естерах називається алкоголізом. Алкоголіз застосовують для промислового і лабораторного одержання естерів жирних кислот.

Ацидоліз. Нагрівання триацилгліцеринів із вільними жирними кислотами до 250...300ºС супроводжується обміном молекулами арилів.

Практичне значення та окремі представники. *Стеарин* (грецькою *stear* – жир) або тристеарин – триацилгліцерин стеаринової кислоти $C_{57}H_{110}O_6$. Він є безбарвною без запаху і смаку сполукою. Температура плавлення стеарину, залежно від складу, коливається в діапазоні від 60 до 70°С.

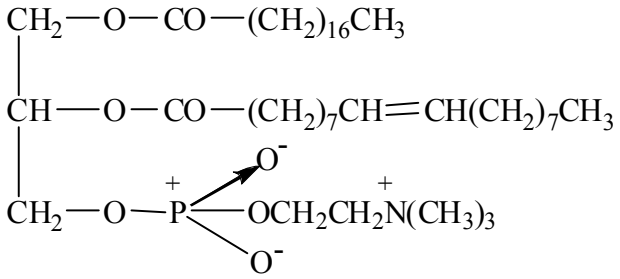
Стеарин є основним компонентом яловичого жиру, жиру в горбах верблюдів і масла з какао. Міститься у багатьох рослинних жирах: арахісова –

3,2%, какао-масло – 30,3%, кукурудзяна – 2,2%, оливкова 2,5%, пальмоядрова – 7,4%, соняшникова – 4,1%, соєва – 3,5%, бавовняна – 3,1%.

Під дією каустичної соди тристеарин утворює натрій стеарат. Він використовується у виробництві мила, свічок і текстилю.

Оліфа є сумішшю олій з ацилгліцеринами ненасичених кислот (плівкоутворювач) з каталізаторами окиснення і твердіння (сикативи – солі органічних кислот і неорганічних сполук Мангану, Плюмбуму, Кобальту). Процес твердіння висихаючих олійних фарб складний і частково полягає в окисно-відновній взаємодії атомів металу сикативу (відновники) з гідропероксидними групами (окисники). У результаті чого утворюються вільні радикали, що викликають тверднення плівок олійних фарб.

Лецитини за хімічною будовою належать до фосфоліпідів (гліцерофосфоліпіди) і є естерами гліцерину, утвореними жирними кислотами і фосфатною кислотою. Вони містять фосфохолінове угруповання, здатне гідролізуватися з утворенням неорганічного фосфату і четвертинної амонієвої основи – холіну $HO–CH_2–CH_2–N^+(CH_3)_3]OH^–$, і два ацильних угруповання, утворених естерифікацією спиртових груп гліцерину, як правило, двома різними жирними кислотами, зокрема стеариновою й олеїновою. Типовий лецитин можна зобразити такою структурою:



Основним природним джерелом лецитину (грецькою *lekithos* – жовток) є продукти, що містять велику кількість жиру: яйця, м’ясо печінки, арахіс, деякі овочі і фрукти. Лецитину особливо багато (9…10%) у яєчному жовтку, він є у складі молочного жиру (1,2…1,4%) і багатьох клітин тваринних, рослинних організмів (мозкова, нервова тканини, насіння і ростки рослин). Промислово лецитин виробляють із відходів виробництва соєвих продуктів та олії (харчова добавка Е 322).

Чистий лецитин – біла маса, що швидко жовтіє на повітрі, розчиняється у спирті, ефірі й легко гідролізується, у воді не розчиняється, але набухає й утворює емульсії. Висока емульсійна активність лецитину зумовлює його визначну фізіологічну роль у процесах життєдіяльності, пов’язану з проникливістю клітковых мембран. Лецитини мають високі поверхнево-активні властивості і найчастіше використовуються у харчовій промисловості (виробництво маргарину, майонезу та ін.) як емульгатори, синергісти антиоксидантів.

Моно- і діацилгліцерини жирних кислот (МАГ і ДАГ) – продукти гідролізу жирів, що належать до групи похідних ліпідів. Молекули МАГ і ДАГ мають дифільну будову і містять полярні гідрофільні (гідроксильні –ОН, естерні –ОСО–) і неполярні гідрофобні (вуглеводневі радикали) групи атомів, зв'язані сполучною ланкою, але відділені одна від одної і розташовані на протилежних кінцях молекули. Вони відносяться до природних низькомолекулярних поверхнево-активних речовин, МАГ можуть виступати синергістами антиоксидантів жирів.

Гідрофільні групи МАГ і ДАГ зумовлюють їх розчинність у полярних розчинниках (ізопропанол, етанол, ацетон, метанол та ін.); гідрофобні вуглеводневі радикали – у неполярних (гексані, петролейному етері та ін.). У воді МАГ і ДАГ нерозчинні, але диспергуються. Зокрема до розплавів насичених МАГ можна ввести 20…50% води, ненасичені МАГ зв'язують більше води, ніж насичені.

Моно- і діацилгліцерини жирних кислот є харчовою добавкою Е471 і можуть бути використані як ефективні емульгатори, стабілізатори, розпушувачі, текстуроутворювачі у виробництві маргаринів, столових жирів, бульйонів, супів, м'ясної продукції, шоколаду, хлібобулочних, кондитерських виробів, морозива тощо.

Холестерин є найважливішим представником неомилюючої групи ліпідів – циклічних ліпідів, а саме зоостеринів – речовин, супутнім природним жирам.

Холестерин $C_{27}H_{45}OH$ належить до вторинних спиртів і в кільці В містить один подвійний зв'язок. Він існує як у вільному стані, так і у вигляді естерів жирних кислот — стеаринової, пальмітинової, олеїнової. Чистий холестерин є безбарвною кристалічною речовиною, нерозчинною у воді й добре – в органічних розчинниках, яка виявляє оптичну активність.

Уперше холестерин (грецькою «холе» – жовч, «стереос» – твердий) було виділено з жовчних каменів, головним складовим інгредієнтом яких він є. Частково у вигляді естерів холестерин міститься в речовинах майже усіх органів людини (70…80% синтезується в печінці та інших тканинах), є структурним компонентом клітин. У рослинах він відсутній або присутній у незначній кількості. Холестерин бере участь в обміні жовчних кислот, гормонів. Найбільше холестерину знаходиться в речовинах мозку (17%), нервових клітин і клітинних мембран. У 100 мл крові людини загального холестерину міститься 0,15…0,25 г. Він здатний осаджуватися і накопичуватися на стінках кровоносних судин, викликаючи атеросклероз (зменшення просвіту, еластичності судин, підвищення тиску крові тощо). Порушення холестеринового обміну є також небезпечним.

Загальновідомо, що в раціоні людини кількість продуктів, які містять холестерин, повинна бути мінімальною, і добова норма холестерину не повинна перевищувати 0,5 г. Натомість вміст холестерину в коров'ячому маслі складає 0,17…0,21; яйцях – 0,57; сирі – 0,28…1,61; м'ясі – 0,06…0,10; субпродуктах – 0,20…0,30%.

Вітаміни групи D належать до стеринів і також є представниками неомилюючих ліпідів. Форми вітаміну D називають кальциферолы і представлені вони переважно у вигляді двох речовин: ергокальциферолу (вітаміну D_2), джерелом яких можуть бути дріжджі, та холекальциферолу (вітаміну D_3), який одержано із тваринних тканин. Будова вітамінів D_2, D_3 відрізняється тільки бічними ланцюгами.

Вітамін D_3 є тотожнім природному вітаміну D (добувають із риб'ячого жиру печінки деяких морських риб). Яєчний жовток містить вітамін D_2.

Вітаміни групи D регулюють кальцієвий і фосфорний обмін (підтримують структуру кісток, зубів людей і тварин), сприяють нормалізації імунної системи. Вони сприяють всмоктуванню іонів Ca^{2+} у тонкому кишечнику завдяки стимуляції синтезу білку, який бере участь у переносі цих іонів.

Каротиноїди і *хлорофіли* є найбільш розповсюдженими жиророзчинними пігментами, які визначають забарвлення олій і жирів. Каротиноїди – це рослинні червоно-жовті пігменти, які зумовлюють забарвлення деяких жирів, а також овочів і фруктів, яєчного жовтку і багатьох інших продуктів. Іншою групою природних жиророзчинних пігментів, які надають зелене забарвлення оліям і жирам, а також багатьом овочам (цибуля, салат, кріп тощо) є хлорофіли.

Каротиноїди є похідними політерпенів, молекули яких містять багато спряжених подвійних зв'язків. Наявністю цих зв'язків і пояснюється забарвлення каротиноїдів. Для каротиноїдів характерна розчинність у жирах; більшість з них легко окиснюються киснем повітря.

Відомо до 100 каротиноїдів. Багато з них виконують роль вітамінів. Тваринні організми не можуть синтезувати каротиноїди і повинні одержувати їх з рослинною їжею. Фізіологічну функцію каротиноїдів у рослинах з'ясовано недостатньо. У тваринних організмах каротиноїди відіграють суттєву роль внаслідок їх спорідненості з вітаміном А і з речовинами сітчатки, важливими для зору.

Каротин $C_{40}H_{54}$ (від латинського *carota* – морква) є ненасиченим вуглеводнем і представником каротиноїдів. Він міститься у моркві, багатьох квітах, плодах, листі. Для каротину відомо три ізомери: *α*-каротин ($T_{пл.}$ = 187°C), *β*-каротин ($T_{пл.}$ = 183°C) і *γ*-каротин ($T_{пл.}$ = 178°C).

Лікопін $C_{40}H_{56}$ ізомерний каротину є забарвлюючою речовиною томатів, шипшини. Це речовина з кристалами червоно-темнофіолетового кольору, має $T_{пл.}$ = 175°C, розчинна у бензолі, сульфуркарбоні, практично не розчинна в етанолі є. Лікопін було ідентифіковано близько у 70 рослинних родах, головним чином у плодах, а також у деяких тваринних продуктах, органах (коров'ячому маслі, сироватці крові, печінці).

β-Каротин широко розповсюджений у природі і найчастіше розчинений у жирах входить до складу практично усіх рослинних і тваринних організмів. Він утворюється і міститься в усіх зелених частинах рослин (за винятком деякої водорості, грибів) як постійний супутник хлорофілу. Восени у зеленому листі руйнується хлорофіл і стає помітною присутність каротину – воно жовтіє, різноманітно забарвлюється.

β-Каротин є провітаміном А і в організмі тварин (у печінці) розкладається на дві молекули вітаміну А.

Вітамін А $C_{20}H_{29}OH$ — світло-жовта масляниста рідина, добре розчинна у жирах. Міститься у коров'ячому молоці (особливо багато влітку, коли корови їдять свіжу траву), маслі, яєчному жовтку, риб'ячому жирі, більшості овочів і фруктів.

Він є фактором росту і недостатність вітаміну А в організмі викликає різке схуднення, порушення росту і призводить до розвитку так званої ксерофтальмії, впливає на зниження опору організму мікробним інфекціям. У людини одним із початкових симптомів нестачі вітаміну А є порушення нормальної функції паличок сітчатки (зорові рецептори, чутливі до присмеркового світла), так звана «куряча сліпота».

Лабораторна робота №11

Ліпіди

Прилади та реактиви:

штативи з пробірками, водяна баня, бюретки на 25 мл, закріплені у штативах, спиртівка, фарфорові чашки, скляні палички, сухі пробірки, лійки скляні, піпетки на 1 мл.

Твердий тваринний жир
Саломас або маргарин
Етиловий спирт
Соняшникова олія
Вазелінове масло
Хлороформ
Холестерин, кристалічний
Мило, 2% водний розчин
Розчин синтетичного миючого засобу
Фенолфталеїн, спиртовий розчин
Оцтовий ангідрид

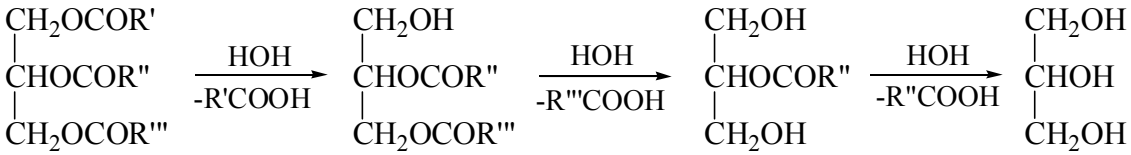
$KHSO_4$, кристалічний
NaCI (або KCI), кристалічний
NaOH, 0,1 моль/л розчин (для бюреток)
KOH, 30% розчин
H_2SO_4, концентрована
Na_2CO_3, 10% розчин
Br_2 у CCl_4, 3% розчин (для бюреток)

ДОСЛІД 1. Визначення вільних жирних кислот у жирі (визначення ступеня гідролізу жиру)

У сухій пробірці розчинити 1 краплю соняшникової олії в 1 мл етанолу та додати 1 краплю розчину фенолфталеїну. Одержаний розчин олії відтитрувати 0,1 моль/л розчином натрій гідроксиду, додаючи його краплями з бюретки і постійно струшуючи пробірку до появи незникаючого блідо-рожевого забарвлення фенолфталеїну.

Занотувати спостереження. Відмітити, скільки мілілітрів розчину лугу використано на нейтралізацію олії. Пояснити, чому олія виявилася не нейтральною. Написати схему гідролізу жиру, користуючись загальною формулою будови жиру, а також схеми реакції нейтралізації вільних жирних кислот лугом.

Схема ступінчастого гідролізу жиру, будова триацилгліцеринів якого позначена загальною формулою, має такий вигляд:



Триацилгліцерин Діацилгліцерин Моноацилгліцерин Гліцерин

Звернути увагу! Саме реакція нейтралізації вільних жирних кислот лугом лежить в основі визначення кислотного числа (КЧ) жирів.

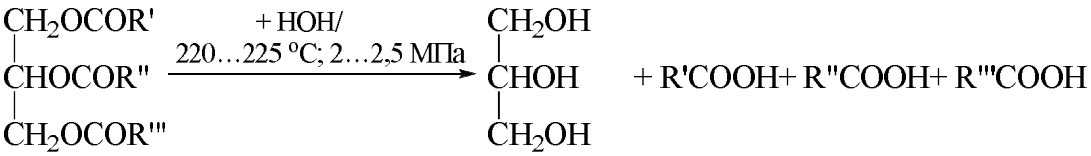
Формула жирної кислоти у загальному вигляді — Калієва сіль жирної кислоти

ДОСЛІД 2. Акролеїнова проба на жири

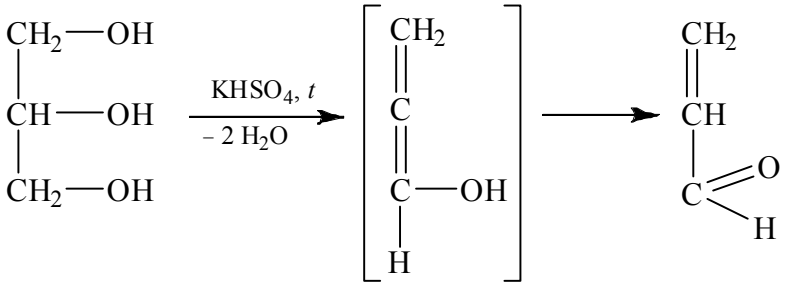
У дві сухі пробірки помістити по пучці (близько 0,5 г) кристалічного калій гідрогенсульфату і додати в одну пробірку 2–3 краплі соняшникової олії, а в іншу – 2–3 краплі вазелінового масла. Обидві пробірки нагріти в полум'ї спиртівки.

За відсутності калій гідрогенсульфату дослід можна виконати таким способом: у суху пробірку помістити сіль натрій хлориду (або калій хлориду), додати 0,5 мл концентрованої сульфатної кислоти і 2–3 краплі олії, після чого суміш нагріти в полум'ї спиртівки.

Занотувати спостереження. Пояснити, чому не утворюється акролеїн у пробірці з вазеліновим маслом. Написати схеми термічного гідролізу жиру і подальшої дегідратації гліцерину з утворенням акролеїну.



Триацилгліцерин Гліцерин Вільні жирні кислоти



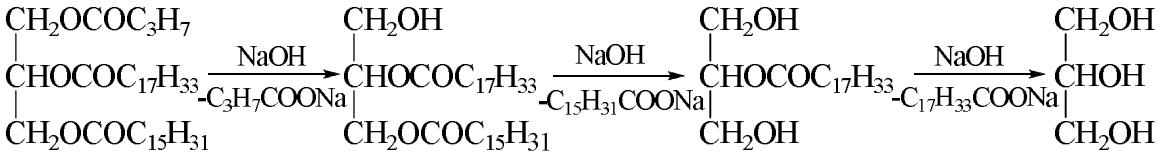
Гліцерин Акролеїн

ДОСЛІД 3. Омилення жиру спиртовим розчином лугу

У фарфоровій чашці змішати близько 3 г твердого жиру з 5 мл етанолу і 5 мл 30% розчину калій гідроксиду і, перемішуючи суміш скляною паличкою, нагріти чашку на водяній бані до повного розчинення жиру.

Реакція вважається закінченою за умов повного розчинення проби реакційної суміші в пробірці з водою, куди пробу слід внести за допомогою скляної палички.

Занотувати спостереження. Написати схеми реакції омилення жиру на прикладі *α*-бутиро-*β*-олео-*α*′-пальмітину. Визначити проміжні і кінцеві продукти омилення жиру. Охарактеризувати, які функціонально-технологічні властивості виявляють моно- і діацилгліцерини у харчових дисперсних системах.



α-Бутиро-*β*-олео-*α*′-пальмітин — *β*-Олео-*α*′-пальмітогліцерин — *β*-Олеогліцерин — Гліцерин

ДОСЛІД 4. Емульгування жиру

У три пробірки налити по 5 мл води, додати 3–4 краплі соняшникової олії і збовтати. У лабораторному журналі відмітити, чи утворилася за цих умов у кожному випадку стійка емульсія.

Потім додати у першу пробірку 5–6 крапель розчину соди, у другу – 5–6 крапель розчину мила, у третю – 5–6 крапель розчину синтетичного миючого засобу. Суміші в трьох пробірках енергійно збовтати.

Занотувати спостереження. Пояснити, чим зумовлена емульгуюча дія соди, мила і синтетичного миючого засобу. Визначити в лабораторному журналі схему орієнтації молекул емульгатора (мила) навколо краплі жиру в емульсії за типом масло–вода (рис. 8.1).

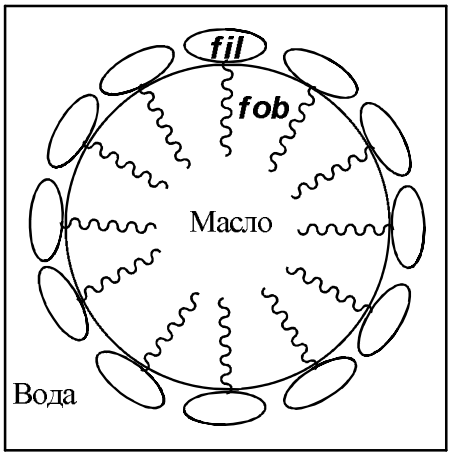


Рисунок 8.1 − Схема орієнтації молекул емульгатора (мила) навколо краплі жиру в емульсії типу масло–вода

Завдання для індивідуальної роботи

1. Поясніть, які жирні кислоти відносяться до есенціальних. До складу яких ліпідів вони входять? Розкрийте їх фізіологічну роль в організмі людини.

2. Наведіть приклади восків тваринного і рослинного походження. Охарактеризуйте їх роль у природі, властивості і шляхи застосування.

3. Охарактеризуйте вплив *транс*-жирів на організм людини. У результаті яких процесів утворюються ці жири? Які рекомендації щодо вживання жировмісних продуктів можна дати, враховуючи цю інформацію?

4. Порівняйте стійкість різних жирів під час зберігання. Якими чинниками вона визначається? Які рекомендації існують щодо умов зберігання окремого виду жиру?

5. Які процеси відбуваються протягом псування жирів? Зазначте основні стадії псування і поясніть механізм кожної з них. Які речовини здатні впливати на процеси псування? Наведіть приклади.

6. Охарактеризуйте властивості супутніх жирам речовин. Наведіть приклади. Поясніть роль цих речовин. Які з них виявляють вітамінну активність?

7. Розкрийте роль фосфоліпідів у процесах життєдіяльності людини. Наведіть приклади есенсіальних фосфоліпідів. Чим обумовлена поверхнева активність цих сполук? Опишіть області використання фосфоліпідів.

8. Зазначте, які методи застосовують для контролю безпеки і якості жирів? За допомогою яких методів визначається вміст *транс*-ізомерів? Поясніть сутність цих методів.

9. Охарактеризуйте основні методи одержання рослинних і тваринних жирів. Поясніть механізм фракціювання жирів.

10. Розкрийте сутність і наведіть стислу характеристику основних стадій процесу рафінації олій. Зазначте методи рафінації і охарактеризуйте, як ці методи застосовуються на виробництві.

ДОДАТКИ

Додаток А

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В ХІМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ

ПРАВИЛА ЕЛЕКТРОБЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В ЛАБОРАТОРІЇ

1. У лабораторії слід використовувати електронагрівачі та інше електричне обладнання лише заводського виготовлення, керуючись паспортом та інструкцією.

2. Усі електронагрівальні прилади під час їх експлуатації повинні мати достатню теплоізоляцію, з цією метою можна використовувати керамічні плити, листовий азбест та інші негорючі матеріали з малою теплопровідністю.

3. Про виявлені несправності електронагрівальних приладів слід негайно повідомити викладача.

4. Електроприлади, що перебувають в експлуатації, періодично оглядає особа, відповідальна за електрогосподарство, перевіряючи захисне заземлення, електропроводку та загальний стан електромережі, усуваючи виявлені несправності.

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ З КИСЛОТАМИ І ЛУГАМИ

Працюючи з кислотами та їдкими лугами, слід пам’ятати, що невиконання правил поводження з ними може стати причиною сильних хімічних опіків.

Концентровані кислоти можуть спричинювати зневоднення шкіри та інших тканин, ступінь їх дії залежить насамперед від окисної здатності кислоти. За швидкістю дії й швидкістю руйнування тканин тіла кислоти розміщують у такому порядку: «царська водка» (суміш нітратної і хлоридної кислот), нітратна, сульфатна (90…100%), молочна кислота та ін.

Обережності вимагає користування плавиковою кислотою. Слід пам’ятати, що її дія на шкіру починає відчуватися лише через 5…8 годин, і навіть одна крапля плавикової кислоти, що потрапила на шкіру і не була негайно змита, спричиняє болючу рану, яка важко піддається лікуванню. Деякі з концентрованих кислот, які зазвичай називаються димлячими (наприклад, хлоридна, нітратна), спричинюють сильну подразнювальну дію на слизові оболонки дихальних шляхів і очей. Дуже небезпечними є опіки хромовою сумішшю — калій біхромат й концентрована сульфатна кислота.

Потрапляння на шкіру концентрованих розчинів їдких лугів викликає утворення дуже болючих ран, що повільно загоюються. Тверді їдкі луги вбирають вологу, що є в повітрі, і дуже легко переходять у розчин, тому їх дія вважається рівнозначною дії концентрованих розчинів лугів.

Вимоги безпечної роботи з кислотами та лугами

1. Основні (запасні) кількості кислот та інших агресивних рідин повинні зберігатися в приміщенні, спеціально призначеному для цього.

2. Розливати кислоти та інші агресивні рідини з бутилів великої місткості у склянки треба за допомогою сифона, використовуючи як джерело тиску гумову грушу, ручний насос або повітродувку. Використовувати з цією метою електричні повітродувки забороняється.

3. Щоб запобігти отруєнню, концентровані кислоти: нітратну, хлоридну, інші димлячі речовини, а також амоніак – слід розливати у витяжній шафі особливо обережно.

4. Переносити склянки з реактивами треба в плетених корзинах або в іншій тарі, що забезпечує зручне й безпечне транспортування.

5. Не можна переносити й навіть піднімати склянки з кислотами та іншими агресивними рідинами, узявши їх лише за шийку посудини.

6. Доставлені до лаборантської реактиви розміщують у призначених для них місцях зберігання.

7. Розбавляючи концентровані кислоти водою, треба лити кислоту у воду, а не навпаки, постійно перемішуючи. Доливання води до концентрованої кислоти (особливо сульфатної) супроводжується сильним нагріванням і розбризкуванням рідини, що може призвести до опіків.

8. Для розбавляння концентрованих кислот, змішування їх між собою і для змішування речовин, що супроводжуються виділенням тепла, потрібно користуватися лише тонкостінним хімічним або порцеляновим посудом.

9. Не можна заливати гарячі або навіть теплі рідини у товстостінні посудини і прилади (наприклад, до апарата Кіппа) і додавати в них сульфатну кислоту.

10. Щоб уникнути опіків порожнини рота, а також отруєння, забороняється ротом набирати у піпетку розчини кислот, лугів та інших агресивних рідин. Для засмоктування цих речовин слід користуватися піпетками з різними пастками та гумовою грушею.

11. Усі операції з кислотами й лугами обов’язково слід здійснювати в гумових рукавицях, використовуючи захисні окуляри та інші запобіжні засоби.

12. Забороняється використовувати як зневоднюючий засіб в ексикаторі сульфатну кислоту.

13. Луги слід розчиняти у порцеляновому посуді, повільно додаючи до води невеликі порції речовини з безперервним перемішуванням.

14. Шматочки лугу можна брати лише пінцетом чи щипцями. Великі шматки їдких лугів слід подрібнювати в захисних окулярах і рукавицях у спеціально відведеному місці.

15. Відпрацьовані кислоти й луги слід збирати окремо в спеціально призначений посуд і зливати в каналізацію тільки після нейтралізації.

16. Розлиті кислоти або луги необхідно негайно засипати піском, нейтралізувати і лише після цього прибрати.

17. У випадку аварійної ситуації (розбився прилад, склянка з агресивною рідиною), що супроводжується виділенням значної кількості отруйних газів і пари, слід негайно вивести всіх із приміщення, після чого розпочати її ліквідацію, користуючись протигазом та іншими захисними засобами.

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ З МЕТАЛІЧНИМ КАЛІЄМ І НАТРІЄМ

Лужні метали, калій і натрій енергійно взаємодіють із водою з виділенням водню, що супроводжується вибухом. Під час роботи з металічними калієм і натрієм треба бути особливо обережними.

1. Усі роботи з металічними калієм і натрієм слід виконувати у захисних окулярах і гумових рукавицях на листах у витяжній шафі віддалік від джерел води і тепла.

2. Слід уникати можливості контакту цих металів з водою, вологими предметами, а також органічними сполуками, що містять Хлор, сухим льодом – твердим карбон(IV) оксидом.

3. Забороняється працювати з лужними металами в умовах високої вологості в приміщенні.

4. Зберігати металічні калій і натрій слід у скляній банці, щільно закритій корковою пробкою, під шаром зневодненого гасу, парафіну або трансформаторного масла; у свою чергу, банки зберігати в металевому ящику з піском.

5. Виймати металічні калій і натрій з тари, завантажувати їх в апарати тощо слід тільки сухим пінцетом або тигельними щипцями. Гас, парафін і трансформаторне масло з поверхні металу витирати фільтрувальним папером.

6. Різати лужні метали слід на фільтрувальному папері сухим і гострим ножем. Первинне різання лужного металу здійснювати під шаром трансформаторного масла або гасу для зняття верхнього пероксидного шару, оскільки внаслідок контакту пероксидних сполук із чистим металом на відкритому повітрі може статися вибух.

7. Відходи (обрізки) металічних калію і натрію збирати в окремі банки зі знезводненим гасом для наступного знищення в цей самий день. Забороняється нагромаджувати залишки лужних металів.

8. Забороняється викидати залишки металічних калію і натрію в каналізаційну раковину або тару для збирання сміття. Відходи калію і натрію кількістю до 2 г знищувати повністю, розчиняючи в етиловому спирті невеликими порціями, а утворений розчин зливаючи до каналізації.

9. Прилади і посуд, де можливі присутність частинок металічних калію і натрію, слід спочатку промити етиловим спиртом і лише після розчинення всього металу в ньому – мити водою.

10. Металічні калій і натрій, що загорілися, слід гасити порошковим вогнегасником, сухим піском, сухою магнезією або за допомогою азбестової ковдри. Забороняється застосовувати для гасіння лужних металів воду, пінні вогнегасники та карбон(IV) оксид.

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ОРГАНІЧНИМИ РОЗЧИННИКАМИ

Працюючи з органічними розчинниками, слід ураховувати, що багато з них небезпечні як сполуки високої токсичності, і що більшість з них – легкозаймисті леткі речовини, які утворюють із повітрям вибухонебезпечні суміші.

У навчальній хімічній лабораторії використовуються бензин, бензен, дихлоретан, ксилен, толуен, ацетон, етиловий, бутиловий та метиловий спирти тощо.

За ступенем небезпечності розчинники, що застосовуються в навчальній хімічній лабораторії, належать до трьох наступних груп:

– розчинники, що зумовлюють здебільшого гострі отруєння з переважаючим явищем наркозу: бензин, етиловий і бутиловий спирти, ацетон;

– розчинники більш токсичні, що спричинюють гострі отруєння: метиловий спирт, дихлоретан тощо;

– розчинники, що мають високу токсичність, і, крім гострих отруєнь, спричиняють стійкі зміни функцій кровоносних органів і нервової системи: бензен, толуен, ксилен тощо.

За ступенем пожежної безпеки більшість із них належить до легкозаймистих речовин. Завжди під час роботи з розчинниками слід бути надзвичайно обережними і не допускати навіть незначної недбалості.

Основні вимоги безпеки під час роботи з органічними розчинниками:

1. Роботу з розчинниками обов'язково виконують у витяжній шафі.

2. Прилад, за допомогою якого демонструється дослід, пов'язаний з небезпекою вибуху, з боку студентів повинен бути захищений екраном з оргскла. Експериментатор захищає очі окулярами або маскою з козирком з оргскла.

3. Під час роботи з легкозаймистими розчинниками всі горілки, що є у витяжній шафі, де виконується дослід, слід загасити, а електричні нагрівачі з відкритою спіраллю – вимкнути.

4. Посуд для виконання дослідів з органічними розчинниками повинен бути чистим і сухим, у чому обов'язково слід переконатися перед його заповненням.

5. Роботу, пов'язану з небезпекою загоряння, спалаху або вибуху, слід виконувати стоячи.

6. Неприпустимо під час дослідів із розчинниками залишати робоче місце без нагляду.

7. Нагрівання та перегонку легкозаймистих і горючих органічних розчинників дозволяється виконувати лише на водяній або повітряній бані, використовуючи електронагрівачі із закритою спіраллю.

8. Забороняється виливати органічні розчинники до каналізації. Відпрацьовані рідини слід збирати у призначену для цього тару, що герметично закривається, і знищувати в місцях, погоджених із санітарною та пожежною інспекціями.

9. Якщо в умовах аварійної ситуації будуть розлиті органічні розчинники, то слід обов'язково вжити таких заходів:

– негайно вивести студентів з приміщення;

– погасити в приміщенні всі пальники і вимкнути електричні прилади;

– зачинити двері, відчинити вікна або кватирки;

– зібрати розлиту рідину ганчіркою або рушником і викрутити їх над широкою посудиною, після чого рідину перелити до посудини для збирання відпрацьованих рідин;

– припинити провітрювання приміщення лише після того, як повністю зникне запах розлитого розчинника;

– прибирання здійснювати в захисних окулярах і гумових рукавицях.

10. Кількість розчинників, що одночасно знаходиться в навчальній хімічній лабораторії, не повинна перевищувати потреби для заняття, яке проводиться.

11. Розчинники слід зберігати в товстостінному скляному посуді з притертою пробкою. Зберігати ці рідини в тонкостінному посуді забороняється.

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ТОКСИЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ

Більшість хімічних речовин тією чи іншою мірою токсичні. Застережні заходи під час роботи з ними спрямовані на запобігання випадкам проникнення їх до організму через ротову порожнину, легені або шкіру. У виробничій санітарії хімічні речовини характеризують значеннями гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони, тобто такими концентраціями, які за умов щоденної роботи не можуть викликати захворювань або відхилення стану здоров'я. Відомості щодо ГДК деяких хімічних речовин наведено у табл.

Таблиця – **Гранично допустимі концентрації деяких речовин у повітрі робочої зони і їх клас небезпеки**

Речовина	ГДК, мг/м^3	Клас небезпеки	Речовина	ГДК, мг/м^3	Клас небезпеки
Аміни первинні C_7–C_9	1	2	Метанол	5	3
Амоніак	20	4	Мурашина кислота	1	2
Анілін	0,1	2	β-Нафтол	0,1	2
Ацетон	200	4	Піридин	5	2
Ацетонітрил	10	3	Пропанол-1	10	3
Бензальдегід	5	3	Сульфатна кислота	1	2
Бензилхлорид	0,5	1	Скипідар	300	4
Бензен	5	2	Тетрагідолфуран	100	4
Бром	0,5	2	Тетрахлорметан	20	2
Бутанол-1	10	3	Толуол	50	3
Бутилацетат	200	4	Триетиламін	10	3
N-Вінілпіролідон	1	2	Оцтова кислота	5	3
Диметиламін	1	2	Фенол	0,3	2
N,N-Диметиланілін	0,2	2	Формальдегід	0,5	2
Диметилформамід	10	2	Хлорбензен	3	3
Діоксан	10	3	Хлоридна кислота	5	2
1,2-Дихлоретан	10	2	Циклогексан	80	4
Діетиламін	30	4	Етанол	1000	4
Камфора	3	3	Етилацетат	200	4
Ксилени	50	3	Етилхлорид	50	4

Шкідливість багатьох органічних сполук визначається не тільки і не стільки величиною ГДК їх пари, але й іншими ознаками, такими як летальна доза при потраплянні до шлунково-кишкового тракту і кровоносної системи, шкірно-наривна дія та ін. Більш загально за ступенем шкідливості для людського організму хімічні речовини поділяють на чотири класи небезпеки (найбільш небезпечний – 1 клас, найменш небезпечний – 4).

Усі роботи з отруйними і сильнодіючими речовинами 1 і 2 класу небезпеки виконують під витяжною шафою. Під час роботи з токсичними речовинами слід ознайомитися з правилами надання першої медичної допомоги при отруєнні.

Багато органічних сполук – ароматичні (анілін) і аліфатичні (диметиламін) аміни, ароматичні вуглеводні (бензен, толуен), галогенопохідні (хлорбензол, тетрахлорметан) – надають шкідливої дії, проникаючи через дихальні шляхи і шкіру. Необхідно обережно поводитися з цими речовинами, не вдихати їх пару, уникати потрапляння на руки. Якщо таке відбулося, слід вимити руки теплою водою з милом. У випадку вдихання пари – вийти на свіже повітря.

Етиленгліколь небезпечний у тому випадку, якщо він потрапляє через шкіру, ротову порожнину. Токсична дія гідроксиламіну зумовлена його здатністю в організмі вступати в реакції, що блокують деякі ферментні системи.

Під час роботи з переліченими, а також з іншими хімічними речовинами, що використовуються під час виконання лабораторних робіт, необхідно дотримуватися всіх застережливих заходів.

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ ЗІ СКЛЯНИМ ХІМІЧНИМ ПОСУДОМ ТА ІНШИМИ ВИРОБАМИ ЗІ СКЛА

Під час роботи зі скляним хімічним посудом, приладами, скляними трубками та іншими виробами зі скла внаслідок неправильного необережного поводження з ними трапляються нещасні випадки:

– опіки рук за необережного поводження зі скляними трубками, стаканами, колбами та іншим хімічним посудом, нагрітим до високої температури;

– поранення рук і обличчя внаслідок розривання посудин або приладів за умов порушення правил використання виробів зі скла, що не відповідають за своєю якістю умовам проведення реакції.

Під час роботи зі скляними апаратами, приладами, посудом та іншими виробами зі скла необхідно дотримуватися наступних вимог техніки безпеки, а саме:

1. Під час роботи на установці зі скла в умовах, коли є хоч невелика ймовірність аварії, розривання посудин тощо, обов’язково треба огородити всю установку захисним екраном з оргстекла, а найнебезпечніші ділянки установки – металевою сіткою або металевим кожухом.

2. Усі види механічної та термічної обробки скла слід виконувати в захисних окулярах.

3. Посудину з гарячою рідиною не можна закривати притертою пробкою доти, доки вона не охолоне.

4. Переносячи посудини з гарячою рідиною, слід брати їх руками, захищеними рушником; велику посудину у цьому разі тримають однією рукою за дно, другою – за шийку.

5. Для речовин, змішування або розведення яких супроводжується виділенням тепла, слід використовувати порцеляновий або термостійкий тонкостінний хімічний посуд.

6. Великі хімічні стакани слід піднімати двома руками так, щоб відігнуті його краї (бортики) спиралися на вказівні й великі пальці.

7. Щоб відкрити посудину, пробку в якій заклинило, спочатку слід постукати дерев'яним молоточком або брусочком по краях пробки знизу вгору. Постукувати треба з усіх боків, обережно, щоб не розбити посудину або не відколоти частину пробки, яка виступає.

Якщо це не допомагає, слід обережно підігріти шийку посудини так, щоб не нагрілася пробка: нагрівати можна рушником, змоченим гарячою водою, обгорнувши ним шийку посудини, або над полум'ям спиртового пальника, безперервно обертаючи посудину навколо вісі, не доторкуючись до полум'я. Забороняється підігрівати посудину над відкритим полум'ям, якщо в посудині містяться легкозаймисті, вибухонебезпечні або отруйні речовини.

8. Установку або окремі частини, що перебувають під вакуумом, треба екранувати дротяним екраном (сіткою); під час роботи обов'язково користуватися захисними окулярами.

9. У вакуумних установках і приладах застосовувати плоскодонний посуд (перегінну колбу, приймач) не дозволяється.

10. Скляні посудини, що призначені для роботи під вакуумом, заздалегідь випробовують на максимальне розрядження. Перед випробуванням посудину слід обгорнути рушником або натягнути на неї металеву сітку. Такі самі заходи безпеки застосовуються під час проведення фільтрування під розрядженням.

11. Упродовж процесу складання скляних приладів з'єднанням окремих їх частин за допомогою гумових трубок, а також під час інших робот зі склом необхідно захищати руки рушником.

Щоб полегшити складання приладів, кінці скляних трубок змочують водою, вазеліном або гліцерином.

12. Щоб не порізати рук, кінці скляних трубок і паличок, що застосовуються для розмішування розчинів та з іншою метою, повинні бути оплавлені.

13. Тонкостінну посудину під час закривання гумовою пробкою (наприклад, влаштовуючи промивалки) тримають за верхню частину шийки, пробку трохи повертають, руки при цьому захищають рушником.

14. Роботу з отруйними, вогне- і вибухонебезпечними речовинами, а також роботи, що проводяться під тиском або вакуумом, слід виконувати в приладах і посуді з високоякісного термостійкого скла.

15. Нагріваючи рідину в пробірці або колбі, слід тримати їх так, щоб отвір пробірки або шийка колби були спрямовані від себе і сусідів по роботі.

16. Під час миття скляного посуду слід пам'ятати, що скло крихке, легко ламається і тріскається від ударів, різкої зміни температури.

17. Забороняється користуватися скляним посудом або приладами навіть з незначними ушкодженнями.

Додаток Б

НАДАННЯ ПЕРШОЇ (ДОЛІКАРСЬКОЇ) МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ ПОТЕРПІЛИМ

Під час проведення лабораторних занять у хімічній лабораторії можливі нещасні випадки (отруєння, хімічні й термічні опіки, травми уламками скла та ін.). Слід пам'ятати, що чим швидше буде надано допомогу потерпілому, тим менше буде небезпечних наслідків.

У хімічній лабораторії повинна бути аптечка з набором медикаментів, перев'язувальних засобів і приладів. В аптечці повинна бути інструкція щодо надання першої медичної допомоги і перелік основних заходів першої медичної допомоги під час нещасних випадків.

Перша допомога у разі отруєння

Карбон(II) оксидом

Ознаки отруєння: запаморочення голови, головний біль, слабкість, блювання, шум у вухах, судоми і втрата свідомості.

Перша допомога: потерпілого негайно вивести на свіже повітря, звільнити від одягу, який заважає диханню, давати вдихати кисень (чистий або з добавкою 5% карбонатної (вугільної) кислоти. Потерпілого слід тримати в теплі, зігрівати грілками. У разі потреби робити штучне дихання до прибуття лікаря.

Сірководнем

Ознаки отруєння: запаморочення голови, головний біль, нудота, загальна слабкість. У деяких випадках може настати раптова смерть унаслідок ураження дихальних шляхів.

Перша допомога: потерпілому слід забезпечити доступ свіжого повітря, дати вдихати кисень із додаванням 5…7% карбонатної кислоти.

Оксидами Нітрогену

Ознаки отруєння: оксиди Нітрогену діють насамперед на слизову оболонку і дихальні шляхи, потім зумовлюють подразнення очей, сухість у горлі, кашель, іноді нудоту і блювання. Отруєння оксидами Нітрогену особливо небезпечне для осіб, які страждають на захворювання серця.

Перша допомога: потерпілому дати дихати чистим киснем. У зв'язку з можливим набряканням легень і порушенням кровообігу слід уникати всяких зусиль, потрібен повний спокій. Не допускати охолодження тіла.

Хлором

Ознаки отруєння: хлор має сильну подразнюючу дію на верхні дихальні шляхи. Кашель за умов тривалої дії посилюється і може завершитися спазмом окремих ділянок дихальних шляхів, і далі – припиненням дихання. Навіть у разі короткочасної дії хлору слід остерігатися гострого набрякання легень.

Перша допомога: негайно вивести потерпілого на свіже повітря, звільнити від одягу, що заважає диханню, дати дихати киснем. Зігрівати потерпілого грілками.

Бромом

Ознаки отруєння: бром уражає дихальні шляхи, подібно до отруєння хлором, зумовлює ще сильніше ураження очей і слизових оболонок. Потрапляючи на шкіру, спричинює сильні опіки.

Перша допомога: потерпілого вивести на свіже повітря. Якщо він не втратив свідомості, слід застосувати інгаляцію (вдихання водяної пари з додаванням амоніаку) і полоскання горла розчином питної соди.

Сульфур(IV) оксидом (сірчистим газом)

Ознаки отруєння: сірчистий газ сильно подразнює слизові оболонки, спричинює кашель і чхання.

Перша допомога: потерпілого вивести на свіже повітря, застосувати інгаляцію розчином питної соди.

Амоніаком

Ознаки отруєння: амоніак сильно діє на слизові оболонки, спричинює сльозотечу і запалення очей, сильний кашель, жар у горлі. Крім того, у потерпілого з'являються нудота і напади задишки.

Перша допомога: у разі отруєння через стравохід дати велику кількість води з додаванням до неї оцтової або лимонної кислоти для викликання рефлексу блювання, після чого напоїти молоком із білком яйця; у разі отруєння внаслідок вдихання амоніаку вивести потерпілого на свіже повітря і дати йому спокій.

Отруйними органічними рідинами

Якщо в організм через стравохід потрапляють отруйні органічні рідини: ацетон, формалін, метиловий, аміловий спирти, анілін тощо, необхідно викликати рефлекс блювання, а потім напоїти молоком з білком яйця.

Сульфуркарбоном (сірковуглецем)

Потерпілого вивести на свіже повітря, давати вдихати нашатирний спирт, дати 15–20 ефірно-валеріанових крапель з водою, потім напоїти міцним солодким чаєм.

Натрій флуоридом

Забезпечити потерпілому повний спокій, поїти молоком з білком яйця або дати вапняну воду.

Сульфатною кислотою

Дати потерпілому проковтнути шматок льоду і покласти лід на живіт, прополоскати рот 1% розчином калій перманганату або 2% розчином питної соди.

Ртуттю

Ртуть металічна після внутрішнього прийому, навіть у порівняно великих кількостях, не спричиняє отруєння. Проте небезпечними є пари ртуті та її солі.

Ознаки отруєння: металевий присмак у роті, слинотеча, пекучі болі в ділянці стравоходу, нудота.

Перша допомога: негайно викликати рефлекс блювання, поїти молоком з білком яйця, дати хворому адсорбуюче вугілля у воді або гідрат магній оксиду. Обов'язково викликати лікаря.

Перша допомога під час опіків

Під час роботи в навчальній хімічній лабораторії найбільш ймовірними є термічні та хімічні опіки. Причиною термічних опіків є доторкування незахищеними руками до розпечених або дуже нагрітих частин лабораторного обладнання. Хімічні опіки є результатом дії на шкіру різних хімічних речовин: кислот, лугів, деяких органічних сполук тощо.

Найнебезпечнішими з кислот є концентровані нітратна й флуоридна (плавикова) кислоти, що спричинюють дуже хворобливі ушкодження, які довго не загоюються. Серйозні ураження спричиняє «царська водка» (суміш концентрованих нітратної і хлоридної кислот). Дуже небезпечною є концентрована сульфатна кислота, особливо для очей.

Сильні опіки спричиняють їдкі луги, особливо концентровані. Це пояснюється глибшим, порівняно з кислотами, проникненням лугу всередину шкірного покриву й перебігом там необоротних перетворень.

Важкість опіків кислотами й лугами значно підвищується, якщо ці реагенти нагріті. У разі термічних опіків першого ступеня обпечене місце слід присипати натрій гідрогенкарбонатом (питна сода) або тальком. Добре допомагають примочки зі свіжовиготовленого 2% розчину питної соди або калій перманганату. Кращим засобом для примочок є також 5% етиловий спирт. За умов важких опіків необхідно негайно відправити потерпілого до лікувального закладу.

У разі опіків кислотами і лугами уражену ділянку шкіри слід промити великою кількістю води; потім на обпечене місце покласти примочку: при опіках кислотою – 2% розчин питної соди; лугом – 1…2% розчин оцтової кислоти.

Якщо опіки спричинені плавиковою кислотою, відразу починають промивати уражене місце проточною водою. Промивати слід доти, доки побіліла поверхня шкіри не почервоніє. Після цього прикласти до ураженого місця свіжовиготовлену суспензію 2% магній оксиду в гліцерині. Добрі результати дає також накладання на уражене місце компресу з вати, змоченої розчином борної кислоти.

За умов опіків під час роботи з металічними калієм і натрієм, а також фосфором необхідно тампоном вати зняти з шкіри ці речовини, а потім промити великою кількістю води.

Якщо опіки спричинені бромом, то треба швидко змити його з поверхні шкіри кількома порціями етилового спирту, а потім змазати уражені місця маззю від опіків.

Перша допомога у разі опіків очей

Опіки очей під час роботи в навчальній хімічній лабораторії найчастіше спричиняються кислотами й лугами.

Якщо розглядати важкість ушкодження очей кислотами й лугами, то за інших однакових умов (однакова температура розчину, однакові концентрації, тиск, під яким розчин потрапляє до кон'юнктивного мішечку та ін.) ушкодження лугом завжди значно небезпечніше.

Опіки шкіри, вій і кон'юнктиви кислотою спричиняють відчуття різкого болю і жару. Кислота обпалює відразу, безпосередньо після опіку видно ділянку і важкість ураження. Можна спостерігати почервоніння, у важких випадках – змертвіння тканини, а надалі – відторгнення змертвілої тканини.

Опіки лугом мають інший характер. Звичайно відразу ж після потрапляння лугу в око відчувається несильний біль, незначне почервоніння кон'юнктиви, збліднення рогівки. Нерідко хворі без достатніх підстав заспокоюються й іноді навіть не звертаються до спеціалістів. Проте через 1–2 дні почервоніння ока збільшується, рогівка мутніє й іноді через кілька днів (залежно від важкості опіку) стає зовсім мутною, людина втрачає зір.

Усе це відбувається внаслідок того, що кислота безпосередньо обпалює тканини, до яких дотикається. А луг просочується між клітинами й спричинює руйнівну дію тканини. Ось чому, якщо в око потрапляє якась хімічна рідина, необхідно терміново звернутися до лікаря-спеціаліста.

Перша допомога у разі потрапляння в око будь-яких хімічних речовин – якомога швидше ретельне промивання його великою кількістю рідини.

Якщо в око потрапила кислота, найкраще добре промити його 1…2% розчином питної соди; якщо луг – слабким розчином борної кислоти (1 чайна ложка борної кислоти на склянку води). Якщо немає готового розчину борної кислоти або соди, можна промити око звичайною водою. Ретельно промивати очі після опіку слід упродовж 20…30 хв, а потім потерпілого обов'язково госпіталізувати.

Перша допомога під час поранення

Надаючи першу допомогу під час поранення (поріз склом тощо), необхідно виконувати такі правила:

1. Той, хто надає допомогу пораненому, повинен з милом вимити руки.

Доторкуватися до самої рани, навіть вимитими руками, не дозволяється. Не дозволяється обмивати рану водою.

2. Очищати рану механічно можна лише з використанням стерильного пінцету або стерильної марлі.

3. Після очищення змазати поверхню шкіри навколо рани йодною спиртовою настойкою.

4. Якщо поріз невеликий, то присипати його білим стрептоцидом або порошком іншого сульфаніламідного препарату, покрити стерильною марлею і забинтувати.

5. У разі серйозного порізу та сильної кровотечі викликати лікаря. До його приходу накласти джгут вище від рани, покрити рану стерильною марлею.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кравченко Е. Ф. Органічна хімія: навч. посібн. у 2 частинах. Ч. І. Вуглеводні й оксигеновмісні похідні / Е. Ф. Кравченко, Н. В. Мурликіна. – Х. : ХДУХТ, 2004. − 224 с.

2. Кравченко Е. Ф. Органічна хімія: навч посібн. у 2 частинах. Ч. ІІ. Гетерофункціональні похідні та гетероциклічні сполуки / Е. Ф. Кравченко, Н. В. Мурликіна. – Х. : ХДУХТ, 2006. − 224 с.

3. 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.

4. Кононський О. І. Органічна хімія. Практикум : навч. посіб. – К. : Вища школа, 2002. – 247 с.

5. Бобрівник Л. Д. Органічна хімія / Л. Д. Бобрівник, В. М. Руденко, Г. О. Лезенко. – К. ; Ірпінь : Перун, 2002. – 544 с.

Інтернет ресурси

1. Resources for the WPI General Chemistry Program: CH1010 (Molecularity), CH1020 (Forces and Bonding), CH1030 (Equilibrium), CH1040 (Dynamics) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : < http: // www.wpi.edu/Academics/ Depts/Chemistry/Courses/General/.>.

2. Ask [Электронный ресурс]. – Режим доступа : < http : // www.wpi.edu/ Academics/Depts/Chemistry/Courses/General/ kinfephtim.html >.

3. Wiley. Online library [Электронный ресурс]. – Режим доступа : < http: // onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9780470661345?gclid=CKfL05mYnq8 CFcjO3wod_SnNdg.>.

4. Ask [Электронный ресурс]. – Режим доступа : < http: // www.usd.edu/ ~gsereda/computer.html.>.

5. University of South Dakota. Organic Reaction Animations [Электронный ресурс]. – Режим доступа : < http: // people.usd.edu/~gsereda/computer.html.>.

6. Organic Chemistry Demonstration Experiments on Video Chemistry Visualized [Электронный ресурс]. – Режим доступа : < http://www.uni-regensburg.de/ Fakultaeten/nat_Fak_IV/Organische_Chemie/Didaktik/Keusch/D-Video-e.htm.>.

7. RSC. Advancing the Chemical Sciences [Электронный ресурс]. – Режим доступа : < http://www.rsc.org/membership/networking/interestgroups/educationaltechniques/ chemistrycassettes/index.asp.>.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА..... 3
Правила роботи і техніка безпеки в лабораторії органічної хімії..... 5
1. ВУГЛЕВОДНІ..... 7
1.1. Насичені вуглеводні – алкани..... 7
Лабораторна робота № 1..... 11
1.2. Ненасичені вуглеводні – алкени..... 12
Лабораторна робота № 2..... 14
1.3. Ароматичні вуглеводні – арени..... 16
Лабораторна робота № 3..... 20
Завдання для індивідуальної роботи..... 21
2. ГІДРОКСИСПОЛУКИ..... 22
2.1. Спирти. Етери..... 22
Лабораторна робота № 4..... 25
2.2. Феноли..... 25
Лабораторна робота № 5..... 27
Завдання для індивідуальної роботи..... 28
3. ОКСОСПОЛУКИ..... 29
Лабораторна робота № 6..... 34
Завдання для індивідуальної роботи..... 35
4. КАРБОНОВІ КИСЛОТИ ТА ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ПОХІДНІ..... 36
Лабораторна робота № 7..... 42
Завдання для індивідуальної роботи..... 43
5. ГІДРОКСИКИСЛОТИ..... 44
Лабораторна робота № 8..... 49
Завдання для індивідуальної роботи..... 51
6. ВУГЛЕВОДИ..... 52
6.1. Моносахариди..... 53

6.2. Олігосахариди..... 56
6.3. Полісахариди..... 59
Лабораторна робота № 9..... 61
Завдання для індивідуальної роботи..... 64
7. АМІНИ. АМІНОКИСЛОТИ. БІЛКИ..... 65
7.1. Аміни..... 65
7.2. Амінокислоти..... 68
7.3. Білки..... 76
Лабораторна робота № 10..... 82
Завдання для індивідуальної роботи..... 85
8. ЛІПІДИ..... 86
Лабораторна робота № 11..... 94
Завдання для індивідуальної роботи..... 97
ДОДАТКИ..... 98
Додаток А. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В ХІМІЧНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ..... 99
Правила електробезпеки під час роботи в лабораторії..... 99
Правила техніки безпеки під час роботи з кислотами і лугами..... 99
Правила техніки безпеки під час роботи з металічним калієм і натрієм. 101
Правила техніки безпеки під час роботи з органічними розчинниками.. 101
Правила безпеки під час роботи з токсичними речовинами..... 103
Правила техніки безпеки під час роботи зі скляним хімічним посудом та іншими виробами із скла..... 104
Додаток Б. НАДАННЯ ПЕРШОЇ (ДОЛІКАРСЬКОЇ) МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ ПОТЕРПІЛИМ..... 106
Література..... 110

Навчальне електронне видання

комбінованого використання

Можна використовувати в локальному та мережному режимах

УПАТОВА Олена Іванівна

МУРЛИКІНА Наталя Віталіївна

КУЗНЕЦОВА Тетяна Олегівна

УКЛЕІНА Олена Григорівна

О С Н О В И О Р Г А Н І Ч Н О Ї Х І М І Ї

Т е о р і я і п р а к т и к у м

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск завідувач кафедри хімії, мікробіології

та гігієни харчування проф. В.В. Євлаш

Технічний редактор А.О. Гончарова

План 2015 р., поз. 102/108

Підп. до друку 10.12.2015 р. Один електронний оптичний диск (CD-ROM); супровідна документація. Об’єм даних 1,10 МБ

Видавець та виготівник

Харківський державний університет харчування та торгівлі

вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051

Свідоцтво суб’єкта видавничої справи

ДК №4417 від 10.10.2012 р.