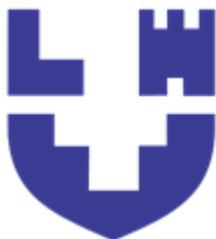


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



І.А. Мороз, О.І. Гулай, В.Я. Шемет

## **ХАРЧОВА ХІМІЯ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано*

*Луцьким національним технічним університетом*

Луцьк

ІВВ ЛНТУ

2022

УДК 54-029:641  
М-79

Рецензенти:

**І.М. Дударєв**, доктор технічних наук, професор кафедри технологій і обладнання переробних виробництв Луцького національного технічного університету

**Н.Ю. Сливка**, кандидат хімічних наук, доцент, завідувач кафедри органічної хімії та фармації Волинського національного університету імені Лесі Українки.

**І.Є. Соловодзінська**, кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології Львівського національного університету природокористування.

***Рекомендовано Вченою радою ЛНТУ  
(протокол № 11 від 30 червня 2022 р.)***

**Мороз І.А., Гулай О.І., Шемет В.Я.**

**М-79** Харчова хімія : Навчальний посібник. Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. 236 с.

У посібнику розглянуто основи харчової хімії. Викладено теоретичні основи загальної хімії, розглянуто властивості основних макронутрієнтів та основні методи аналізу харчових речовин. Контрольні запитання до кожного розділу сприятимуть самостійному засвоєнню матеріалу.

Для студентів закладів вищої освіти.

**УДК 54-029:641**

© Мороз І.А., Гулай О.І., Шемет В.Я. 2022

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХІМІЇ	6
1.1 Предмет харчової хімії. Основні поняття і закони хімії	6
1.2 Будова атома. Періодичний закон і періодична система елементів. Хімічний зв'язок	16
1.3 Основні класи неорганічних сполук	29
1.4 Основні закономірності перебігу фізико-хімічних процесів	40
1.5 Розчини	49
1.6 Дисперсні системи	60
1.7 Високомолекулярні сполуки	69
РОЗДІЛ 2. ХІМІЯ ХАРЧОВИХ РЕЧОВИН	79
2.1 Мінеральні речовини	79
2.2 Жири	88
2.3 Вуглеводи	97
2.4 Білки	106
2.5 Вітаміни	121
2.6 Основи збалансованого харчування	132
РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ АНАЛІЗУ ХАРЧОВИХ СИСТЕМ	146
3.1 Загальна характеристика методів дослідження харчових продуктів	146
3.2 Хімічні тестові методи дослідження	159
3.3 Оптичні експрес-методи аналізу	173
3.4 Абсорбційні спектроскопічні методи дослідження	188
3.5 Потенціометричні методи дослідження	207
3.6 Хроматографічні методи дослідження	220
РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	234

## ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник «Харчова хімія» присвячений галузі знань, яка сьогодні бурхливо розвивається – хімії харчових речовин. Зважаючи на важливу проблему сьогодення – світову харчову безпеку, всі основні напрями, що входять в область харчової хімії, націлені на створення сучасних технологій продуктів харчування. Харчування, починаючи з моменту народження і до останнього дня життя людини, впливає на її організм та є одним із визначальних факторів здоров'я, активності та тривалості життя. Також харчова хімія вивчає хімічний склад харчових систем (сировини, напівфабрикатів, готових продуктів), його зміни у процесі технологічного потоку під впливом різних факторів (фізичних і хімічних) та загальні закономірності цих перетворень. Одним з важливих напрямів харчової хімії є дослідження взаємозв'язку структури і властивостей харчових речовин та її вплив на властивості і харчову цінність продуктів харчування.

Навчальний посібник рекомендований студентам освітніх програм 241 «Готельно-ресторанна справа» та 181 «Харчові технології» та має меті надати майбутньому фахівцю необхідну фундаментальну базу з хімічної будови основних речовин, які входять до складу харчових продуктів і здатні забезпечити задані властивості цих систем, розкрити значення складових сировини в життєдіяльності людини.

Харчова хімія базується на досягненнях фундаментальних дисциплін: неорганічної, аналітичної, органічної, фізичної і колоїдної хімії. З огляду на це, видання включає основні положення фундаментальних хімічних дисциплін. Також містить відомості про дисперсні системи і високомолекулярні сполуки.

Значну увагу приділяють воді, як неорганічному компоненту харчових продуктів, а також органічним компонентам їжі – жирам,

білкам, вуглеводам: розглянуто їх хімічну будову та взаємозв'язок з їх харчовими функціями. Значну увагу у посібнику приділено методам дослідження харчової сировини, адже на основі цих методів можна оцінити безпеку сировини та харчових продуктів.

Автори сподіваються, що посібник буде корисним передусім студентам спеціальностей 241 «Готельно-ресторанна справа» та 181 «Харчові технології» та допоможе їм в надбанні базових знань, зокрема в галузі харчової хімії, які стануть основою вивчення спеціальних дисциплін; суттєво підвищить загальноосвітній рівень та розширить професійний світогляд, що сприятиме успішній кар'єрі майбутнього фахівця.

*Автори висловлюють вдячність рецензентам за висловлені цінні зауваження.*

# Розділ 1.

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ХІМІЇ

### 1.1. Предмет харчової хімії. Основні поняття і закони хімії

#### Предмет харчової хімії та її зв'язок з іншими науками

Однієї з головних проблем сьогодення є забезпечення людства продуктами харчування.

Харчування, починаючи з моменту народження і до останнього дня життя людини, впливає на її організм. Інгредієнти продуктів харчування надходять до організму людини з їжею і перетворюються в структурні елементи клітин, забезпечуючи організм пластичним матеріалом та енергією, створюючи необхідну фізіологічну та розумову працездатність, визначаючи здоров'я, активність і тривалість життя людини, його здатність до відтворення.

Харчова хімія – це наука про хімічний склад харчових систем (сировини, напівфабрикатів, готових продуктів), його зміни у процесі технологічного потоку під впливом різних факторів (фізичних і хімічних) та загальні закономірностей цих перетворень. Вона включає дослідження взаємозв'язку структури і властивостей харчових речовин та її вплив на властивості і харчову цінність продуктів харчування.

Харчова хімія базується на досягненнях фундаментальних дисциплін: неорганічної, аналітичної, органічної, фізичної і колоїдної хімії та найтіснішим чином взаємодіє з біотехнологією, мікробіологією, широко використовує в своїй практиці різноманітні методи дослідження. В даний час це галузь знань, що бурхливо розвивається. Сьогодні всі основні напрями, що входять в область харчової хімії, націлені на створення сучасних технологій продуктів харчування (рис.1.1).



Рис.1.1. Головні напрями харчової хімії.

## **Роль у харчуванні людини білків, вуглеводів, жирів, вітамінів та мінеральних речовин**

Для нормального функціонування організму щоденний раціон повинен включати шість основних складових: білки, жири, вуглеводи, вітаміни, мінеральні речовини та воду. Харчові речовини можна умовно розділити на дві групи: речовини, які необхідні людині у великих кількостях, або макрокомпоненти (вода, білки, жири, вуглеводи), та речовини, які необхідні в менших кількостях, або мікрокомпоненти (вітаміни та мінеральні компоненти).

Білки є надзвичайно важливими речовинами та обумовлюють життя, ріст та розвиток цілого організму. Це пластичний матеріал для формування клітин і міжклітинної речовини. Білки входять до складу гормонів, ферментів, антитіл, які забезпечують імунітет, беруть участь в обміні вітамінів, мінеральних речовин, в доставці кров'ю кисню, жирів, вуглеводів, вітамінів, гормонів. Значна роль білків обумовлена не тільки

різноманітністю їх функцій, але й незамінністю їх іншими речовинами.

Жири мають досить високу калорійність та беруть участь в процесах обміну. Жири складають приблизно 33% добової енергетичної цінності раціону. Разом із жирами в організм надходять необхідні для життєдіяльності живого організму речовини: вітаміни А, D, Е, К і біологічно важливі фосфоліпиди (лецитин, холін). Дефіцит жирів в їжі послаблює імунітет.

Вуглеводи є основною частиною харчового раціону. Вони — головне джерело енергії організму (становлять 55% енергетичної цінності добового раціону). Вуглеводи використовуються в пластичних та інших процесах організму. Надмірне споживання вуглеводів призводить до порушення обміну речовин, що провокує розвиток цілої низки захворювань.

Вітаміни регулюють процеси обміну речовин, необхідні для формування ферментів, гормонів та ін. Вітаміни беруть участь в окисних процесах, внаслідок, яких з вуглеводів і жирів утворюються численні речовини, які використовуються організмом як енергетичний та пластичний матеріал.

Мінеральні речовини надзвичайно необхідні для життєдіяльності організму, хоча не мають енергетичної цінності. Потрапляють вони в організм з продуктами харчування у вигляді мінеральних солей. Нестача цих речовин у харчуванні може призвести до структурних та функціональних змін в організмі.

Світовий досвід свідчить, що незбалансоване та нераціональне харчування є одним з факторів ризику виникнення цілої низки захворювань, зокрема серцево-судинних, онкологічних, ендокринних та інших. Правильне харчування є одним з найважливіших факторів, які визначають здоров'я людини. Продукти харчування повинні задовольняти потреби людини не тільки в основних харчових речовинах, енергії але і виконувати профілактичні та лікувальні функції.

Знання хімічного складу харчових продуктів є важливим у вирішенні питань раціонального харчування населення. На сьогоднішній день особлива увага приділяється виявленню у складі харчової продукції небезпечних компонентів для здоров'я споживача.

### Основні поняття і закони хімії

Перед тим як переходити до вивчення теоретичних та експериментальних основ харчової хімії треба надати визначення основних понять хімії та сформулювати основні закони хімії.

**Атом** – найменша елементарна нейтральна частинка хімічного елемента, що є носієм усіх його властивостей. Атом складається з позитивно зарядженого ядра і негативно зарядженої електронної оболонки (рис. 1.2).

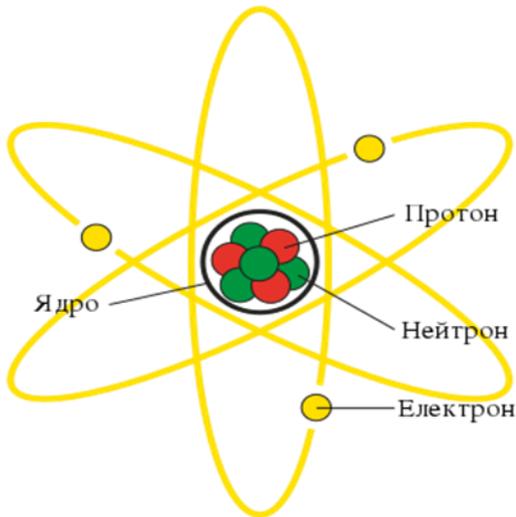


Рис. 1.2. Спрощена модель будови атома

До складу атомного ядра входять ядерні частинки нуклони. Нуклони – це позитивно заряджені протони й електронейтральні нейтрони. Електронна оболонка, розмір якої визначає радіус усього атома, – це сукупність електронів. Кількість протонів в атомі завжди

рівна кількості електронів. Завдяки рівності за абсолютною величиною зарядів протонів і електронів атом є електронейтральною частинкою.

Маси протону і нейтрону є майже однаковими, а маса електрона у 1836 разів меншої від їх мас, тому уся маса атома фактично зосереджена в його ядрі.

Кількісними характеристиками атома є заряд ядра і відносна атомна маса  $A_r$ .

Ці величини зазначаються у періодичній системі елементів. Відповідно до закону Мозлі заряд ядра атома дорівнює порядковому номеру елемента.

Зважаючи на дуже малу масу атомів, їх масу прийнято вимірювати в атомних одиницях маси. 1 а.о.м. ( $1,66 \cdot 10^{-27}$  кг) – це 1/12 маси атома Карбону.

**Відносна атомна маса  $A_r$**  – це фізична величина, що дорівнює відношенню середньої маси атома елемента до однієї дванадцятої маси атома Карбону.

Маси атомів в одиницях а.о.м. наведені в таблиці періодичної системи елементів (ПСЕ).

**Йон** – це заряджена частинка, яка утворюється при відщепленні або приєднанні електронів атомами (рис.1.3). Позитивно заряджені йони називаються катіонами, негативно заряджені – аніонами.

**Хімічний елемент** – сукупність атомів з певним зарядом ядра (протонним числом) і однаковими властивостями.

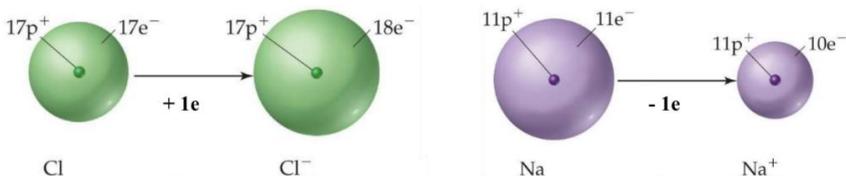


Рис.1.3. Схема утворення йонів.

Нині відомо 118 хімічних елементів: з них 89 виявлені у природі, а інші отримані штучно під час ядерних реакцій. Кожен хімічний елемент має власну назву та символ, які записуються з великої літери. До прикладу, Fe – Ферум, O – Оксиген, C – Карбон тощо.

Носієм властивостей хімічних елементів є атом. Основною кількісною характеристикою елемента є заряд ядра його атомів  $Z$ , що збігається з порядковим номером елемента.

**Молекула** – це найменша частинка речовини, яка здатна до самостійного існування, і зберігає хімічні властивості речовини.

Молекули складаються з атомів, які сполучені між собою хімічними зв'язками у певній послідовності і певним чином орієнтовані у просторі (рис.1.4).



молекула води



молекула кисню



молекула  
вуглекислого газу

Рис.1.4. Схематичні моделі молекул

**Відносна молекулярна маса  $M_r$**  – це відношення середньої маси молекули речовини до  $1/12$  маси атома Карбону. Цю величину обчислюють складаючи відносні атомні маси елементів, які входять до складу молекули.

Будь яка речовина є сукупністю атомів, молекул або йонів. Тому за складом речовини поділяють на **прості** і **складні**. Прості речовини складаються з атомів одного хімічного елемента, складні – з різних.

На сьогодні налічують понад 500 простих речовин, а елементів відомо усього 118. Така розбіжність пояснюється явищем алотропії.

**Алотропія** – це здатність елемента утворювати декілька простих, відмінних за властивостями речовин, які називаються **алотропними модифікаціями**, або **алотропами**. До прикладу, елемент Оксиген утворює два алотропи: кисень  $O_2$  і озон  $O_3$ ; елементи Фосфор P, Сульфур S – по декілька алотропних модифікацій. Елемент Карбон C утворює такі алотропні модифікації: алмаз, графіт, карбін та фулерен.

Одною з основних фізичних величин є кількість речовини.

**Кількість речовини** – це фізична величина, що визначається кількістю часток – структурних елементів речовини (молекул, атомів, іонів). Одиницею кількості речовини є моль.

**Моль** – це кількість речовини, яка містить  $6,02 \cdot 10^{23}$  структурних одиниць, тобто атомів, молекул або іонів. Величину  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  називають **сталю Авогадро**. Масу речовини, що взята в кількості 1 моль, називають **молярною масою** і позначають літерою **M**.

**Хімічні реакції** – це процеси перетворення одних речовин на інші, що відрізняються від вихідних за складом і властивостями, якщо при цьому не відбувається зміни складу ядер атомів.

До основних законів хімії належать наступні закони:

**Закон збереження маси** (відкритий М.В. Ломоносовим у 1748 р.): «Маса речовин, що вступають в хімічну реакцію дорівнює масі речовин, що утворюються в результаті цієї реакції». У 1789 р. закон збереження маси незалежно від М.В. Ломоносова відкрив А. Лавуаз'є, який довів, що підчас реакції залишається сталою не тільки загальна маса речовини, а й маса кожного з елементів речовин, що взаємодіють. Цей закон є фундаментальним законом природи.

У 1842 р. Майер відкрив другу частину фундаментального закону природи – **закон збереження енергії**: «Енергія не виникає і не зникає безслідно, а лише перетворюється з однієї форми в іншу в еквівалентних кількостях».

**Закон кратних відношень** (встановлений Дж. Дальтоном у 1803 р.): «Якщо два елементи утворюють між собою кілька сполук молекулярної будови, та маси одного елемента, що приходяться на певну масу другого елемента, відносяться в цих сполуках між собою як цілі числа».

**Закон сталості складу** (сформульований Ж. Прустом у 1808 р.): «Хімічні сполуки з молекулярною будовою незалежно від способу їх добування мають сталий якісний і кількісний склад, причому відносні кількості атомів в молекулі виражаються цілими числами».

**Закон Авогадро** (відкритий Авогадро у 1811 році): «В однакових об'ємах будь-яких газів за однакових зовнішніх умов міститься однакове число молекул» ( рис.1.5).



**$N$  (молекул газу) = const за умови  $P, V, T = \text{const}$**

Рис. 1.5. Закон Авогадро

Із закону Авогадро можна зробити два висновки:

- 1 моль будь-якого газу за сталих умов завжди займає один і той самий об'єм (за н.у. цей об'єм дорівнює 22,4 л);
- густини двох газів за однакових умов прямо пропорційні їх молярним масам.

Рівняння стану газу Менделєєва – Клапейрона має вигляд:

$$pV = m/M \cdot RT, \quad (1.1)$$

де  $V$  – об’єм газу,  $\text{м}^3$ ;  $p$  – тиск, Па;  $T$  – температура, К;  $m$  – маса газу, г;  $M$  – молярна маса газу, г/моль;  $R = 8,31$  Дж/град· моль – універсальна газова постійна.

**Закон еквівалентів** ( відкрити Ріхтером 1792 – 1794 р.р.): «Речовини реагують між собою у кількостях, що пропорційні молярним масам їх еквівалентів».

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_{E_1}}{M_{E_2}} \quad (1.2)$$

де  $m_1$  і  $m_2$  – маси реагуючих речовин,  $M_{E_1}$  і  $M_{E_2}$  – молярні маси їх еквівалентів.

Закон еквівалентів широко застосовують під час хімічних розрахунків.

**Еквівалентом елементу** називають таку його кількість, що сполучається з одним молем Гідрогену або заміщує його у хімічних реакціях. Еквівалент речовини може мати різні значення в залежності від того, в яку реакцію вступає ця речовина.

Еквівалент – це фактично одна частка молекули чи іншої частинки, яка відповідає одному атому Н чи йону  $\text{H}^+$  (рис.1.6).

Число, що показує, яка частина молекули чи іншої частинки речовини відповідає еквіваленту, називається фактором еквівалентності  $f_E$ .

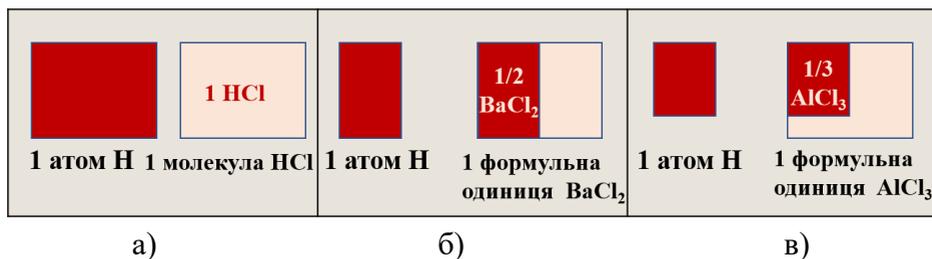


Рис.1.6. Еквівалент і фактор еквівалентності: а)  $f_E(\text{HCl}) = 1$ ; б)  $f_E(\text{BaCl}_2) = 1/2$ ; в)  $f_E(\text{AlCl}_3) = 1/3$ .

Кількість еквіваленту вимірюється в молях, як і будь-яка кількість речовини. Маса 1 моль еквіваленту називають **молярною масою еквівалента**.

**Молярна маса еквівалента елемента** дорівнює відношенню атомної маси елемента до його валентності в даній сполуці:

$$M_E(E) = A_r(E) / V, \text{ де } V - \text{валентність.}$$

$$M_E(Cl) = 35,45 \text{ г/моль-екв, } M_E(S) = 32/2 = 16 \text{ г/моль-екв,}$$

$$M_E(N) = 14/3 = 4,67 \text{ г/моль-екв, } M_E(C) = 12/4 = 3 \text{ г/моль-екв.}$$

**Молярна маса еквівалента кислоти** рівна

$$M_E = M / \text{основність (г/моль-екв).}$$

$$M_E(HCl) = 36,5/1 = 36,5 \text{ г/моль-екв,}$$

$$M_E(H_2SO_4) = 98/2 = 49 \text{ г/моль-екв,}$$

$$M_E(H_3PO_4) = 98/3 = 32,67 \text{ г/моль-екв.}$$

**Молярна маса еквівалента основи**

$$M_E = M / \text{кислотність (г/моль).}$$

$$M_E(NaOH) = 40 \text{ г/моль-екв,}$$

$$M_E(Ba(OH)_2) = 171/2 = 85,5 \text{ г/моль-екв.}$$

**Молярна маса еквівалента солі**

$$M_E = M / \text{Взаг (г/моль-екв).}$$

$$M_E(NaCl) = 58,5 \text{ г/моль-екв,}$$

$$M_E(CaCO_3) = 100/2 = 50 \text{ г/моль-екв,}$$

$$M_E(AlCl_3) = 133,5/3 = 44,5 \text{ г/моль-екв.}$$

### Контрольні запитання

1. Предмет харчової хімії. Яка її мета та завдання?
2. Які напрями входять до сфери інтересів харчової хімії? На що вони спрямовані?
3. Основи складові харчового раціону людини.

4. Класифікація харчових речовин за кількісною потребою. Макро- та мікрокомпоненти.
5. Вкажіть на відмінності між поняттями «атом» та «хімічний елемент».
6. Прості і складні речовини. Відносна молекулярна маса речовини.
7. Кількість речовини. Стала Авогадро. Молярна маса.
8. Основні хімічні закони.
9. Поняття “еквівалент” та “молярна маса еквівалента”.
10. Закон еквівалентів, математичний вираз закону.

## 1.2. Будова атома. Періодичний закон і періодична система елементів. Хімічний зв'язок

### Будова атома. Квантові числа

За сучасними уявленнями *атом* – електронейтральна система, що складається з позитивно зарядженого ядра та негативно зарядженої електронної оболонки.

*Ядро* – це центральна позитивно заряджена частина атома, в якій зосереджена його маса. Основні складові ядра – протони і нейтрони (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Характеристика основних складових частин атома

Назва	Символ	Маса (а.о.м.)	Заряд	Кількість в атомі
1. Ядро				
Протон	${}^1_1p$	1	+1	Z
Нейтрон	${}^1_0n$	1	0	$N = A - Z$
2. Електронна оболонка				
Електрон	$\bar{e}$	1/1836	-1	Z

Загальне число протонів  $Z$  і нейтронів  $N$  дорівнює масовому числу  $A$ , що відповідає атомній масі ізотопу.

**Порядковий номер** елемента вказує на величину позитивного заряду ядра, на число протонів у ядрі та число електронів у нейтральному атомі.

**Електронна оболонка** – це сукупність електронів з однаковим запасом енергії.

Простір навколо ядра, де знаходження електрона найбільш ймовірно, називають **орбіталлю**. Орбіталі розташовуються на певній відстані від ядра, мають певну форму й орієнтацію в просторі.

Стан електронів в атомі характеризують за допомогою набору чотирьох квантових чисел. Три квантових числа:  $n$  – головне,  $l$  – орбітальне (побічне),  $m$  – магнітне, значення яких одержують із рівняння Шредингера, описують

стан електрона під час його руху навколо ядра. Четверте – спінове квантове число  $m_s$ , характеризує рух електрона навколо власної осі.

**Головне квантове число  $n$**  характеризує запас енергії електрона і визначає енергетичний рівень електрона в атомі.

**Енергетичний рівень** – це сукупність орбіталей з однаковим значенням головного квантового числа  $n$ .

Головне квантове число набуває значень:  $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \dots$

Можливе позначення енергетичних рівнів великими латинськими літерами:

$n$	1	2	3	4	5	6	7
	K	L	M	N	O	P	Q

Електрони з однаковим запасом енергії, тобто ті, які мають однакове значення головного квантового числа  $n$  перебувають на одному енергетичному рівні.

Чим далі від ядра, тим вищий за енергією енергетичний рівень.

**Орбітальне (побічне) квантове число** описує форму орбіталі і формує уточнене значення енергії електрона в межах енергетичного рівня. Це квантове число визначає, на якому енергетичному підрівні розташовується електрон. Набуває значень від  $0$  до  $(n-1)$ . Числовим значенням  $l$  відповідають буквенні позначення енергетичних підрівнів:

побічне квантове число  $l$ :  $0, 1, 2, 3$ ;  
енергетичний підрівень:  $s, p, d, f$ .

Кожному значенню  $l$  відповідають орбіталі певної форми. Орбіталь  $s$ -підрівня має форму кулі, орбіталі  $p$ -підрівня – об'ємної «вісімки»,  $d$ -підрівень – комбінація «вісімок» або «вісімки» і тора. Електрони, що перебувають у  $s, p, d, f$ -станах, називають відповідно  $s, p, d, f$ -електронами.

Кожному енергетичному рівню з певним значенням  $n$  відповідає набір енергетичних підрівнів із значенням  $l$  від  $0$  до  $(n-1)$ .

Для електронів, що містяться на одному енергетичному підрівні, притаманна різна взаємодія з магнітним полем атома. Електромагнітні властивості електрона можна описати за допомогою магнітного квантового числа.

**Магнітне квантове число**  $m_l$  показує орієнтацію електронної орбіталі у просторі (рис. 1.7). Для кожного даного значення  $l$   $m_l$  може набувати значень цілих чисел натурального ряду від  $-l$  до  $+l$ :  $m_l = -l...0...+l$ .

Так, за  $l = 0$  (це  $s$ -орбіталь) можливе тільки  $m_l = 0$ . Це означає, що  $s$ -орбіталь має однакову орієнтацію відносно трьох осей координат. При  $l = 1$  ( $p$ -орбіталь)  $m_l$  може набувати трьох значень:  $-1, 0, +1$ .



Електрони на енергетичних рівнях в атомі розподіляються відповідно до наступних принципів і правил.

**Принцип Паулі.** В атомі немає двох електронів з однаковими значеннями всіх чотирьох квантових чисел, тобто кожен електрон має свій унікальний набір квантових чисел.

Орбіталь, на якій міститься два електрони з протилежними спінами, називають квантовою коміркою.

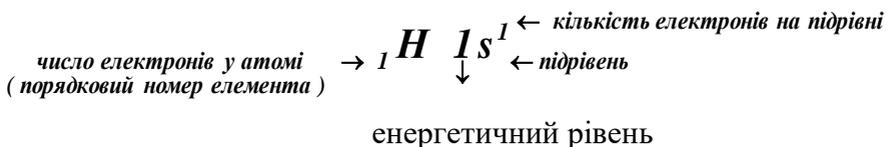
Використовуючи принцип Паулі можна обчислити максимальне число електронів на орбіталі, підрівні, рівні. На кожній орбіталі – по  $2\bar{e}$ , тому на  $s$  - підрівні –  $2\bar{e}$ ; на  $p$  - підрівні –  $6\bar{e}$ ; на  $d$  - підрівні –  $10\bar{e}$ ; на  $f$  - підрівні –  $14\bar{e}$ . Максимальне число електронів на енергетичному рівні  $2n^2$ , де  $n$  – головне квантове число.

**Принцип найменшого запасу енергії.** Електрони в атомах розміщуються на енергетичних рівнях і підрівнях у порядку зростання їх енергії, починаючи від найменшої, тобто в порядку зростання суми  $(n+l)$ . Заповнення відбувається в такій послідовності:

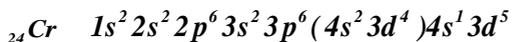
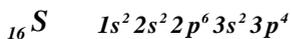
$1s-2s-2p-3s-3p-4s-3d-4p-5s-4d-5p-6s-5d^1-4f-5d^{2-10}-6p-7s-6d^1-5f-6d^{2-10}-7p.$

**Правило Хунда.** У межах кожного підрівня електрони розташовані таким чином, щоб сума їх спінових чисел була максимальною за модулем. Тому електрони на підрівні спочатку розміщуються по одному на орбіталь, а потім – по двоє.

Будову електронних оболонок атомів зображають за допомогою електронних формул у числовому та графічному виглядах. Електронна формула – це умовне зображення розподілу електронів на орбіталах на енергетичних рівнях і підрівнях. Наприклад:



Електронні формули атомів Сульфуру і Хрому мають вигляд:



Графічні зображення враховують значення спінового квантового числа. Наприклад, 2 електрони з антипаралельними спінами на орбіталі  $1s$  зображують наступним чином:



### Періодичний закон і періодична система

Сучасне визначення періодичного закону є наступним: *властивості хімічних елементів, а також сполук утворених ними, перебувають у періодичній залежності від заряду ядра атомів цих елементів.* Отже, зі зростанням заряду ядра атома відбувається періодична зміна властивостей хімічних елементів.

Графічним виразом періодичного закону є періодична система, яка відображає розташування елементів у певному порядку

Періодична система хімічних елементів має дві основні структурні одиниці – періоди і групи.

**Період** - це горизонтальний ряд хімічних елементів, в якому атомні маси (порядкові номери) цих елементів зростають. Період зазвичай починається лужним металом, а завершується інертним газом. Період – послідовний ряд елементів, в атомах яких відбувається заповнення однакового числа електронних шарів. При цьому номер періоду співпадає із значенням головного квантового числа  $n$  зовнішнього енергетичного рівня.

У  $s$ - і  $p$ - елементів відбувається заповнення зовнішнього рівня, у  $d$ -елементів – другого ззовні, а у  $f$ -елементів – третього ззовні.

Усі періоди поділяють на малі та великі. Малі періоди (1 – 3 періоди) – містять 2 або 8 хімічних елементів, складаються з одного

ряду. Великі періоди (4 –7 періоди) – містять 18 або 32 хімічних елементи, складаються з двох рядів.

**Групою** періодичної системи називають вертикальний ряд, який містить подібні за властивостями елементи. У періодичній системі нараховують вісім груп хімічних елементів. Номер групи хімічних елементів у періодичній системі відповідає максимальному числу електронів на зовнішньому енергетичному рівні незбуджених атомів.

В середині групи усі елементи розподіляють на головну (А або а) та побічну (В або b) підгрупу. Серед усіх хімічних елементів виділяють родини s, p, d та f елементів. s- і p-елементи входять до складу головної підгрупи; d та f – елементи містяться переважно у побічній.

В s-елементах, останнім заповнюється s- підрівень. Розміщені вони в головних підгрупах I-II груп. Електронна формула зовнішнього енергетичного рівня атомів  $ns^{1-2}$ .

p-елементи, розміщені в головних підгрупах III-VIII груп. На останньому енергетичному рівні заповнюється p-підрівень. Електронна формула зовнішнього енергетичного рівня їх атомів  $ns^2 np^{1-6}$ .

Елементи, в атомах яких останнім заповнюється d- підрівень, називають d- елементами, вони розташовані у всіх побічних підгрупах. Електронна формула зовнішнього енергетичного рівня їх атомів  $ns^{1-2}(n-1)d^{1-10}$ .

f- елементи – лантаніди й актиноїди, розташовані у побічній групі III групи. Їм відведене окреме місце знизу періодичної системи. Електронна формула зовнішнього енергетичного рівня:  $ns^2(n-1)d^1(n-2)f^{1-14}$ .

Електронна будова зовнішнього енергетичного рівня атома вказує на хімічні властивості елемента. Елементи, атоми яких мають

*I - 2* електрони на зовнішньому *s* - підрівні та *d* – підрівні будуть виявляють металічні властивості.

*s* - елементи – типові метали (крім *H* і *He*), їхні оксиди виявляють основні властивості, а гідрати оксидів є типовими основами. Металічні властивості елементів і основний характер сполук посилюється у групах зі збільшенням порядкового номера. Винятками є берилій оксид і гідроксид, що мають амфотерні властивості.

*p* - елементи: властивості залежать від розташування відносно діагоналі *B – At*. Ця діагональ поділяє *p* - елементи на *p* - метали і *p* - неметали. У верхньому правому куті-неметали, у лівому нижньому – *p* - метали. Оксиди і гідрати оксидів *p* - неметалів виключно кислотні, а *p* - металів, як правило, амфотерні. Виняток становить VIII група – інертні газы, через завершеність зовнішнього енергетичного рівня вони не утворюють сполук валентного характеру.

*d* - елементи та *f* - елементи є перехідними металами. У нижчих ступенях окиснення (+1, +2, +3) їх оксиди і гідроксиди мають основний характер, у вищих ступенях окиснення (+5, +6, +7, +8) – оксиди та гідроксиди володіють кислотними властивостями. У проміжних ступенях окиснення (+3, +4) оксиди та гідроксиди зазвичай амфотерні.

Існує певна періодичність у зміні властивостей простих речовин і хімічних сполук. Періодично змінюються склад структурних елементів і будова простих речовин. Наприклад, у періодичній таблиці зліва направо по періоду періодично змінюється склад структурних елементів, з яких складаються прості речовини: атоми-іони в металах, атоми в неметалах («молекули-гіганти»), двоатомні молекули («малі молекули») (галогени) і одноатомні молекули (інертні газы).

Періодично змінюються типи кристалічних решіток: металічна (приклад: літій, натрій), атомна (приклад: алмаз, алмазоподібна форма силіцію) і молекулярна (приклад: дифлуор, дихлор). У періодах зліва направо металічні властивості простих речовин послаблюються, а неметалічні – зростають. У групах зі зростанням порядкового номера хімічного елемента металічні властивості простих речовин посилюються. Відповідно до цього, найактивніші метали будуть міститися в періодичній системі у лівому нижньому куті таблиці, а найактивніші неметали – у правому верхньому куті.

Найяскравіше металічні властивості виражені у простої речовини цезію, а неметалічні – у простої речовини – фтору.

У групах електропозитивних елементів сила основ зростає. У групах електронегативних елементів сила сполук з кислотними властивостями у водних розчинах зростає.

На основі теорії будови атомів було встановлено причину періодичної зміни властивостей елементів у системі. ***Розвиток атомних структур супроводжується періодичним повторенням подібних електронних утворень, тому властивості елементів змінюються періодично.***

### **Хімічний зв'язок**

У природі будь-яка матеріальна система спонтанно намагається досягти стану, що характеризується мінімальною потенціальною енергією, тобто **стану максимальної стабільності**.

Зв'язок, що утворюється між атомами однакових або різних елементів для досягнення енергетично стабільного стану **називається хімічним зв'язком**.

За рахунок наявності зарядів протилежного знаку між двома атомами виникають сили притягання (ядро-електрони) і відштовхування (ядро-ядро; електрони-електрони)

(рис. 1.8). Зрозуміло, що система буде стійкою, якщо сили притягання переважають над силами відштовхування.

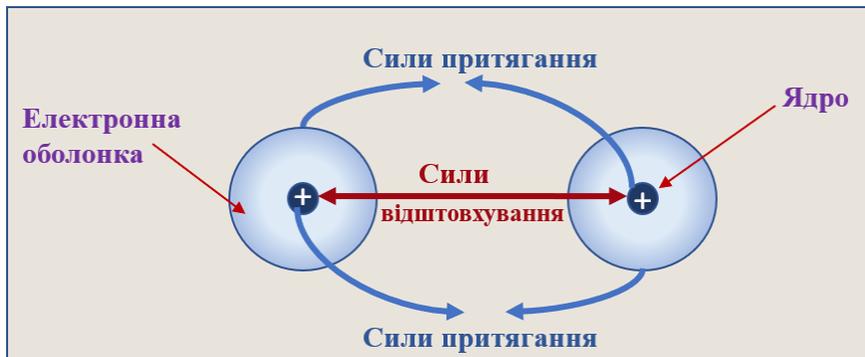


Рис. 1.8. Баланс сил притягання та відштовхування під час утворення хімічного зв'язку.

Отже, рушійною силою утворення хімічного зв'язку є прагнення ізольованих атомів до виграшу в енергії, який досягається при їх об'єднанні в систему; стійкість системи забезпечується виникненням області підвищеної густини негативного електричного заряду в між'ядерному просторі.

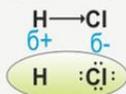
При утворенні хімічного зв'язку найважливішими є електрони зовнішнього шару, тобто валентні електрони, які утримуються ядром найменш міцно. Саме тому будова електронної конфігурації атомів є визначальним чинником при утворенні хімічного зв'язку. Для пояснення причин утворення зв'язку Льюїс запропонував **правило октету**: **Найбільш стабільними й енергетично вигідними є зовнішні оболонки атомів, які мають електронні конфігурації благородних газів, тобто такі, що містять два (у випадку найближчого до ядра енергетичного рівня) або вісім електронів.**

Розрізняють п'ять основних типів зв'язку : ковалентний, йонний, металевий, водневий і ван-дер-ваальсовий (рис.1.9).

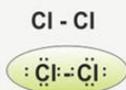
## ХІМІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК

### КОВАЛЕНТНИЙ

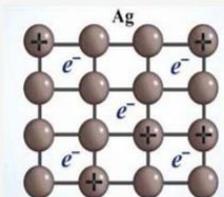
ПОЛЯРНИЙ



НЕПОЛЯРНИЙ



### МЕТАЛІЧНИЙ



### ЙОННИЙ



### ВОДНЕВИЙ

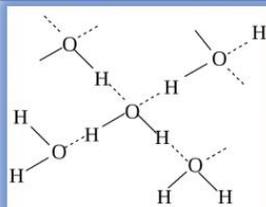


Рис.1.9. Основні типи хімічного зв'язку.

Основним типом внутрішньомолекулярного хімічного зв'язку є **ковалентний**. Це зв'язок, який формується за допомогою спільних електронних пар.

Спільна електронна пара може однаково належати атомам, що взаємодіють між собою або зміщуватись в той чи інший бік, залежно від природи атомів, які взаємодіють між собою. Для оцінки здатності атома елемента відтягувати до себе електрону густину, користуються значенням відносної електронегативності (ЕН). Чим більше значення ЕН атома, тим сильніше він притягує спільні електронні пари. Якщо в сполуці з ковалентним зв'язком спільна електронна пара рівновіддалена від обох атомів, то такий зв'язок називають неполярним. Якщо ж спостерігають несиметричний розподіл електронної густини між атомами з різною ЕН зв'язок стає полярним. З ростом  $\Delta EN$  ступінь ковалентності зв'язку зменшується і зростає ступінь йонності зв'язку. У крайньому випадку такий зв'язок стає йонним.

**Йонний зв'язок** – міцний хімічний зв'язок, що утворюється між атомами, які мають суттєву відмінність у значенні електронегативності ( $\Delta EN > 1,7$  за Полінгом) в результаті зміщення електронної густини до найбільш електронегативного атома. Між утвореними йонами виникає значне електростатичне притягання, утворюється йонний зв'язок.

Повного 100% зміщення електронної густини до атома з більшою ЕН не відбувається навіть в найбільш сполуках, з найбільш вираженим йонним характером. Це пояснюють, зокрема, впливом зарядів йонів, що утворилися, на електронні оболонки один одного, тобто їх взаємною поляризацією.

Основними характеристиками йонного зв'язку, на відміну від ковалентного, є ненапрявленість і ненасичуваність. Усі сполуки йонного типу мають високу розчинність в полярних розчинниках (вода, кислоти і т. д.).

**Металевий зв'язок.** У вузлах кристалічних ґраток металів знаходяться позитивні йони, а в міжвузлях – валентні електрони ("електронний газ", усупільнені електрони), за рахунок яких утримується зв'язок між йонами. Усупільнені електрони здатні легко переміщуватися усередині кристалу. Навіть незначне прикладене збудження призводить до міграції електронів. Цим пояснюють високу тепло- і електропровідність металів.

**Ван-дер-ваальсовий зв'язок** – це найбільш універсальний вид міжмолекулярної взаємодії. Він відноситься до зв'язку невалентного типу, що виникає без передачі атомами електронів. Міжмолекулярні взаємодії здійснюються за допомогою кулонівських сил взаємодії між електронами і ядрами однієї молекули і ядрами та електронами іншої.

Можна виділити наступні сили, які здійснюють міжмолекулярну взаємодію: орієнтаційні (диполь-дипольна між полярними молекулами), індукційні, або поляризаційні (вплив полярної молекули на неполярну) і дисперсійні (проявляються під

час взаємодії частинок за рахунок виникнення миттєвих мікродиполів, індукованих рухом електронів і коливанням ядер). Міжмолекулярна взаємодія не належить до хімічних зв'язків валентного типу. Вона зумовлює тільки зміну агрегатного стану, тобто перетворення речовини із газоподібного стану в рідкий та твердий і навпаки.

**Водневий зв'язок (H-зв'язок)** є важливим типом міжмолекулярної взаємодії. Цей зв'язок виникає між молекулами, в яких атом Гідрогену зв'язаний з атомами, що мають високе значення електронегативності та порівняно невеликий радіус (F, O, N). Між такими молекулами виникають додаткові хімічні зв'язки невалентного типу, що називаються водневими.

Утримуються такі зв'язки за рахунок сил електростатичного притягання. Чим більшою є ЕН елемента-партнера і меншим його розмір, тим міцнішим є утворений водневий зв'язок. H-зв'язок є значно слабшим за ковалентний і тому легко руйнується.

### **Контрольні запитання**

1. Загальні уявлення про будову атома.
2. Квантові числа і взаємозв'язок між ними.
3. Принцип несумісності Паулі, принцип найменшої енергії, правило Гунда.
4. Сучасне формулювання періодичного закону.
5. Структура періодичної системи: періоди, групи, підгрупи.
6. Як пов'язане положення елемента в періодичній системі із будовою його атома.
7. Зміна властивостей елементів у періодах і групах
8. Ковалентний зв'язок (види, характеристика, приклади), механізми його утворення.
9. Йонний зв'язок та його характеристики.
10. Металевий зв'язок. Міжмолекулярні взаємодії.

### 1.3. Основні класи неорганічних сполук

Класифікація речовин передбачає об'єднання різноманітних та багато чисельних сполук певні групи чи класи, яким притаманні подібні чи спільні властивості.

Усі неорганічні речовини поділяють на прості (складаються з одного виду хімічних елементів) та складні (містять та та більше видів хімічних елементів).

Простих речовин та їх алотропних модифікацій на сьогодні налічують біля п'яти сотень. Прості речовини відповідно до своїх властивостей поділяють на метали і неметали. До неметалів відносять: благородні гази, прості сполуки галогенів та халькогенів (крім полонію), а також азот, фосфор, миш'як, кремній, вуглець, бор, водень. Всі інші прості речовини належать до металів.

До основних класів неорганічних речовин відносять оксиди, кислоти, основи, солі та інші ( рис. 1.10).

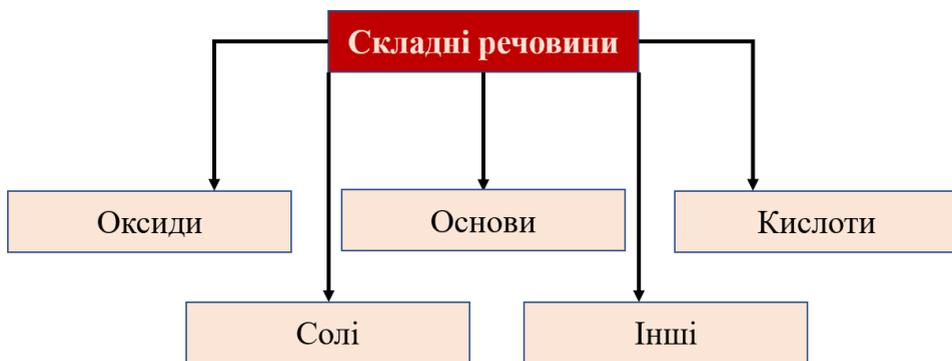


Рис. 1.10. Класифікація складних неорганічних речовин

#### Оксиди. Класифікація, номенклатура, властивості

**Оксидами** називають складні речовини, які складаються з двох елементів, одним з яких є Оксиген зі ступенем окиснення  $-2$ .  
Наприклад,

карбон (IV) оксид:  $CO_2$ , структурна формула  $O=C=O$ ;

бор оксид:  $B_2O_3$ , структурна формула  $O=B-O-B=O$ .

Оксиди поділяють на солетвірні і несолетвірні. Несолетворні (байдужі) оксиди не утворюють солей внаслідок проходження хімічних реакцій:  $CO$ ;  $SiO$ ;  $NO$ ;  $N_2O$ . Оксиди, які під час хімічних реакцій здатні до утворення солей, називаються солетвірними.

За хімічним характером оксиди поділяються на основні, кислотні та амфотерні (рис.1.11).

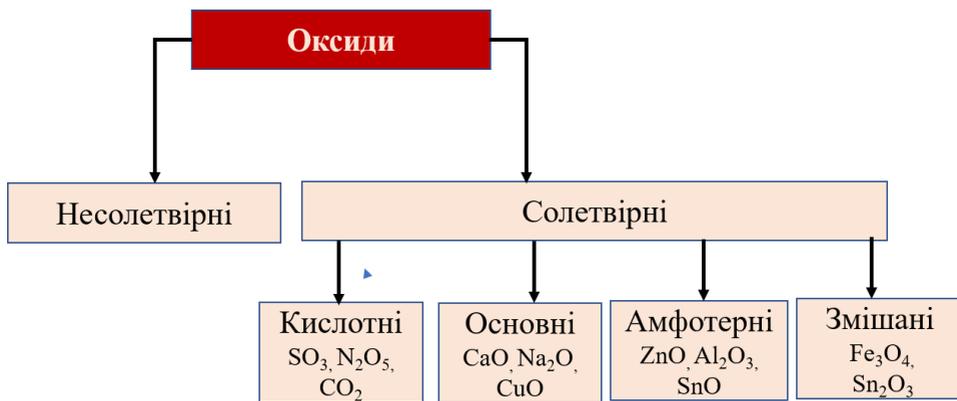
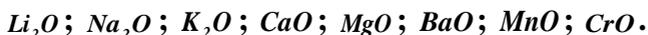


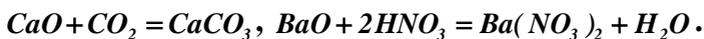
Рис.1.11. Класифікація оксидів.

Назви оксидів утворюють, ставлячи перед словом оксид назву елемента в називному відмінку. Якщо елемент має змінну валентність, то в дужках вказують валентність елемента римською цифрою. До прикладу,  $FeO$  – ферум (II) оксид,  $Fe_2O_3$  – ферум (III) оксид.

*Основними* називають оксиди, яким відповідають основи. Їх утворюють *s*-, *d*-, *f*- метали у низьких ступенях окиснення (+1, +2):



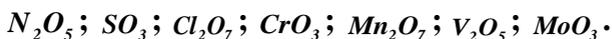
Основні оксиди здатні реагувати з кислотними оксидами та кислотами з утворенням солі та води відповідно:



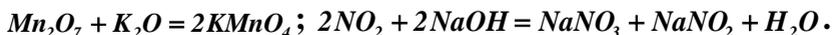
Оксиди, утворені лужними та лужноземельними металами реагують з водою, утворюючи основи:  $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH}$ .

Усі основні оксиди перебувають у твердому агрегатному стані.

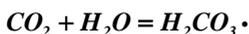
*Кислотними* називають оксиди, яким відповідають кислоти. Оксиди такого типу називають ангідридами кислот (безводними). Їх утворюють неметали у всіх позитивних ступенях окиснення і **d** - та **f** - метали у вищих ступенях окиснення (+5 і вище):



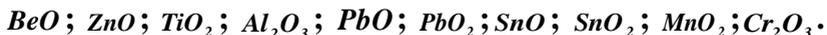
Кислотні оксиди здатні реагувати з основними оксидами і основами:



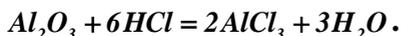
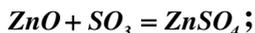
Усі кислотні оксиди, окрім  $\text{SiO}_2$ , реагують з водою з утворенням відповідної кислоти:



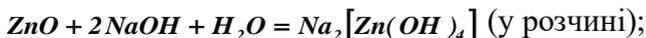
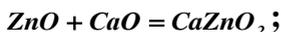
*Амфотерними* називаються оксиди з подвійними властивостями. Вони залежно від умов можуть виявляти як основні, так і кислотні властивості. Їх утворюють **p**-метали, **d** - і **f** - метали у проміжних ступенях окиснення, а також **Be** і **Zn**:



Амфотерні оксиди не взаємодіють з водою, але здатні взаємодіяти з кислотними оксидами і кислотами, як основні оксиди з утворенням солі:



З основними оксидами і основами взаємодіють амфотерні оксиди, як кислотні оксиди:



### Основи. Класифікація, номенклатура, властивості

**Основами** називають сполуки, які складаються з катіонів металу (або  $\text{NH}_4^+$ ) і з гідроксогруп  $\text{OH}^-$ :  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  (рис.1.12). Кількість груп  $\text{OH}^-$ , які здатні заміщуватись на кислотні залишки і утворювати солі, називають кислотністю основи. Із ростом ступеня окиснення металу основні властивості його гідроксиду послаблюються.

Назви основ формують з назви металу, далі в дужках римськими цифрами вказують ступінь окиснення елемента, і слова *гідроксид*:

$\text{Fe}(\text{OH})_2$  – ферум(II) гідроксид;  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  – манган (II) гідроксид.

Якщо елемент у сполуках виявляє єдиний ступінь окиснення, то його не зазначають:

$\text{NaOH}$  – натрій гідроксид;  $\text{La}(\text{OH})_3$  – лантан гідроксид.

Більшість основ є нерозчинними або малорозчинними у воді. Розчинні у воді основи називають *лугами*. До лугів належать гідроксиди лужних та лужноземельних металів. Розчинною у воді є також слабка основа  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

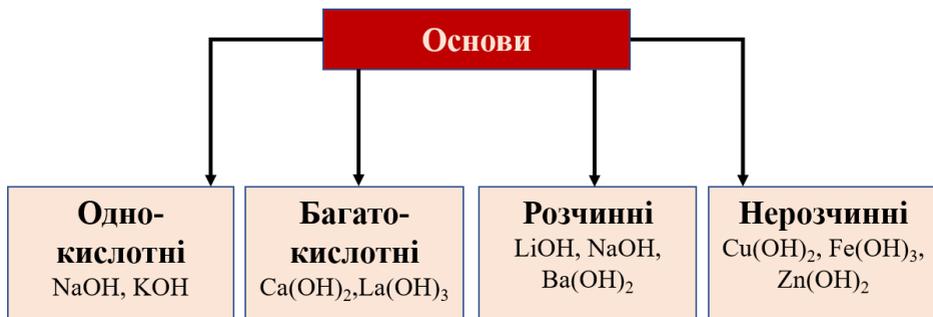
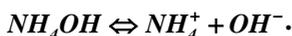


Рис.1.12. Класифікація основ.

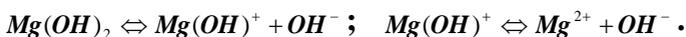
Відповідно до теорії електролітичної дисоціації, основи – це електроліти, які у водному розчині дисоціюють з утворенням катіону металу і гідроксид-йонів. Основи, які утворені лужними і лужноземельними металами, здатні добре розчинятися і дисоціювати у водних розчинах, є сильними основами.



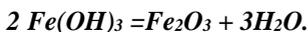
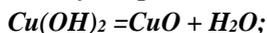
Слабкі основи дисоціюють у водних розчинах незначно. Дисоціація слабкої основи – оборотній процес, під час якого встановлюється рівновага:



Багатокислотні основи дисоціюють ступінчато:

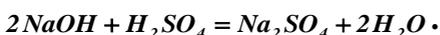
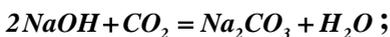


Більшість нерозчинних основ здатні розкладатися під час нагрівання, утворюючи відповідний оксид та воду:

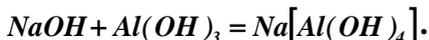
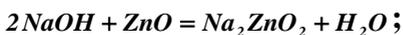


Проте гідроксиди лужних металів стійкі до дії нагрівання.

Основи взаємодіють з кислотними оксидами і з кислотами з утворенням солі та води:



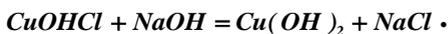
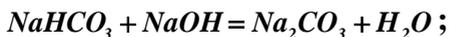
Розчинні основи можуть взаємодіяти з амфотерними оксидами і гідроксидами:



Взаємодія основ з середніми солями можлива за умови випадання осаду:

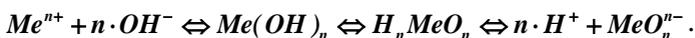


Взаємодія основ з кислими або основними солями відбувається як реакція нейтралізації або витіснення слабкої основи відповідно:

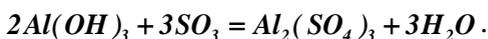
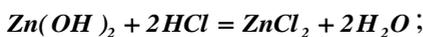


*Амфотерні гідроксиди* – це гідроксиди, які здатні виявляти як основні, так і кислотні властивості залежно від умов реакції: алюміній гідроксид:  $Al(OH)_3$ , або  $H_3AlO_3$ , або  $HAIO_2$ .

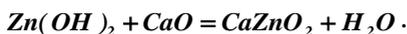
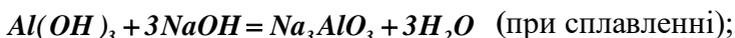
Вони можуть дисоціювати і як основи, і як кислоти:



Усі амфотерні гідроксиди нерозчинні у воді і під час взаємодії з кислотами виявляють основні властивості:



У випадку взаємодії з основами і основними оксидами амфотерні основи виявляють кислотні властивості:



### **Кислоти. Класифікація, номенклатура, властивості**

*Кислотами* називаються сполуки, до складу яких входить Гідроген, і кислотний залишок.рис.1.13). Кількість атомів Гідрогену, здатних до заміщення на метал, називають основністю кислоти. Наприклад:

- одноосновні кислоти: хлороводнева або хлоридна кислота  $HCl$ ; бромідна кислота  $HBr$ ; нітратна кислота  $HNO_3$ ;

- багатоосновні кислоти: сульфідна кислота  $H_2S$ ; сульфатна кислота  $H_2SO_4$ ; ортофосфатна кислота  $H_3PO_4$ .

За вмістом Оксигену кислоти поділяють на оксигеновмісні ( $H_2CO_3$ ;  $H_2SO_4$ ) та безоксигенові ( $HCl$ ;  $H_2S$ ).

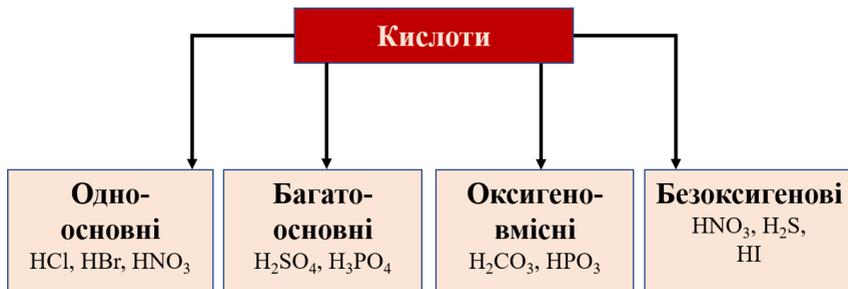


Рис.1.13. Класифікація кислот.

Назви безоксигенових кислот формують наступним чином: спочатку зазначають з назви кислотоутворювального елемента (або радикала) та додають слово кислота, до прикладу, HCl – хлоридна, або хлороводнева, кислота, HBr – бромідна, або бромоводнева, HI – йодидна, або йодоводнева, H<sub>2</sub>S –сульфідна, або сірководнева, кислота.

Назви оксигеновмісних кислот утворюють з кореня латинської назви кислотоутворювального елемента та суфіксів -ат (вищий ступінь окиснення) або -ит (it) (нижчий ступінь окиснення), закінчення -на і слова кислота. Наприклад, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – сульфатна кислота, H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> – сульфитна кислота (табл. 1.3)

Кислоти у водних розчинах дисоціюють з утворенням катіона Гідрогену  $H^+$ . За здатністю до розпаду на йони кислоти поділяються на сильні (дисоціює > 50 % молекул) – сульфатна, нітратна, хлоридна; середньої сили (дисоціює  $\approx$  30 % молекул) – сульфитна, орто-фосфатна; слабкі (дисоціює < 3 % молекул) – сульфідна, карбонатна.

Дисоціація сильної кислоти відбувається практично повністю:



Дисоціація слабкої кислоти – оборотний рівноважний процес:

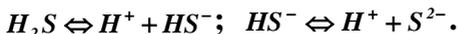


Склад і назви деяких кислот

<i>Назва</i>	<i>Формула</i>	<i>Кислотний залишок, його валентність* та назва</i>
хлоридна (хлороводнева)	HCl	– Cl (хлорид)
бромідна (бромоводнева)	HBr	– Br (бромід)
метафосфатна	HPO <sub>3</sub>	– PO <sub>3</sub> (метафосфат)
нітритна	HNO <sub>2</sub>	– NO <sub>2</sub> (нітрит)
нітратна	HNO <sub>3</sub>	– NO <sub>3</sub> (нітрат)
карбонатна	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	= CO <sub>3</sub> (карбонат)
сульфідна	H <sub>2</sub> S	= S (сульфід)
сульфітна	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	= SO <sub>3</sub> (сульфіт)
сульфатна	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	= SO <sub>4</sub> (сульфат)
ортофосфатна	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	≡ PO <sub>4</sub> (ортофосфат)

\* Кількість рисок біля кислотного залишку відповідає його валентності

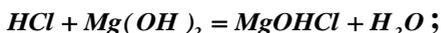
Для багатоосновних кислот дисоціація ступінчатим процесом, причому ступінь дисоціації кислоти на другій та подальших стадіях є значно меншим, порівняно зі ступенем дисоціації кислоти на першій стадії.

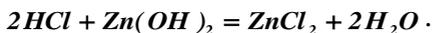
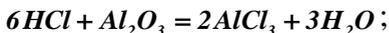
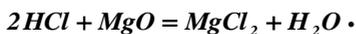


Під час нагрівання оксигеновмісні кислоти можуть відщеплювати воду, утворюючи оксиди або пірокислоти:

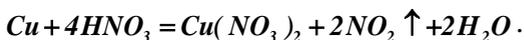
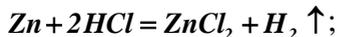


Кислоти взаємодіють з основами і основними оксидами, а також з амфотерними оксидами і гідроксидами з утворенням відповідної солі та води:

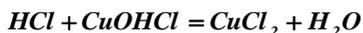
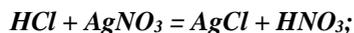
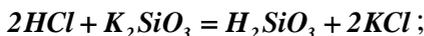




Кислоти взаємодіють з металами. Метали здатні витіснити водень з кислот неокисників.



Кислоти активно взаємодіють з солями за умови випадання осаду, виділення газу, утворення слабшої кислоти або у випадку нейтралізації (для основних солей)



### Солі. Класифікація, номенклатура, властивості

**Солі** – це продукти повного або неповного заміщення атомів Гідрогену в кислоті на метал, або гідроксильних груп в основі на кислотний залишок (рис. 1.14).

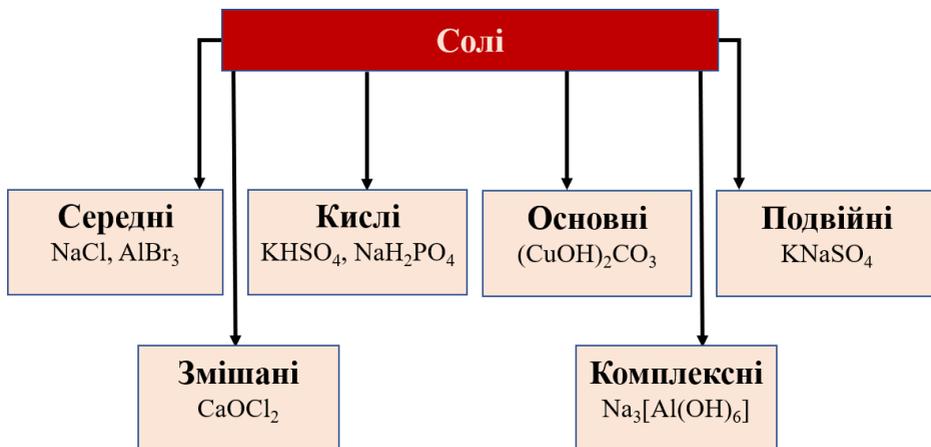


Рис.1.14. Класифікація солей

Солі поділяють на *середні* –  $Na_2SO_4$  (натрій сульфат),  $FeCl_3$  (ферум (III) хлорид); *кислі* (гідросоли) –  $NaHSO_4$  (натрій гідрогенсульфат),  $KHCO_3$  (калій гідрогенкарбонат); *основні* (гідроксоли) –  $MgOHCl$  (магній гідроксид хлорид),  $Fe(OH)_2NO_3$  (ферум (II) дигідроксид нітрат); *подвійні* –  $NaKSO_4$  (калій натрій сульфат); *змішані солі* –  $Ca(OCl)Cl$  (кальцій хлорид гіпохлорит); *комплексні солі* –  $[Cu(NH_3)_4]SO_4$  (тетраамінкупрум (II) сульфат).

*Середні солі* – це продукти повного заміщення атомів Гідрогену в кислоті або гідроксильних груп в основі:  
 $2NaOH + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2H_2O \uparrow$ ;

*Кислі солі* – це продукти неповного заміщення атомів Гідрогену в багатоосновній кислоті на метал:  $H_2SO_4 + NaOH = NaHSO_4 + H_2O$

*Основні солі* – це продукт неповного заміщення гідроксильних груп у багатокислотній основі на кислотний залишок:  $Fe(OH)_3 + 2HCl = FeOHCl_2 + H_2O$ .

*Подвійні солі* – містять кілька різних катіонів. Наприклад:  $KAl(SO_4)_2$ ,  $KCr(SO_4)_2$ . Це продукти заміщення Гідрогену в молекулах кислот на атоми двох різних металів.

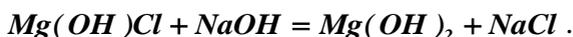
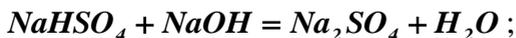
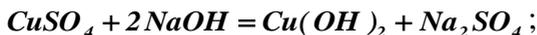
*Змішані солі* – це середні солі, в молекулах яких атом металу сполучений з двома різними кислотними залишками, наприклад:  $CaClOCl$  – хлорне вапно, сіль хлоридної кислоти  $HCl$  і хлорноватистої кислоти  $HClO$ .

До складу *комплексних солей* входить комплексний катіон, наприклад  $[Cu(NH_3)_4]SO_4$ , або комплексний аніон, наприклад  $[Ag(CN)_2]$ .

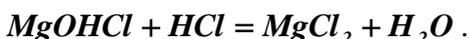
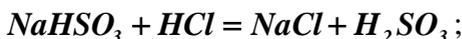
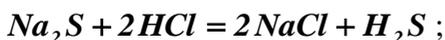
Назви солей утворюють наступним чином: вказують почергово назву катіона й аніона у називному відмінку (для металів зі змінною валентністю у дужках зазначають валентність металу).

Назви кислих солей будують додавання до назви аніона префікса гідроген-, а основних – префікс-гідроксид.

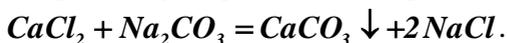
Солі взаємодіють з лугами з утворенням основи і води або солі і води (для кислих солей)



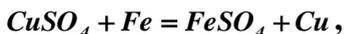
Солі взаємодіють взаємодія з кислотами. Продукти взаємодії залежать від кількісного співвідношення компонентів та типу солі:



Взаємодія солей між собою відбувається тільки тоді, якщо в результаті реакції утворюється малорозчинна сіль:



Сіль реагує з металом тоді, коли метал активніший, ніж той, що входить до складу солі:



але  $FeSO_4 + Cu \rightarrow$  не взаємодіють.

### Контрольні запитання

1. Загальні принципи класифікації речовин. Головні класи неорганічних речовин.
2. Оксиди. Основні групи оксидів та їхні особливості.
3. Дайте визначення понять “кислота”, “основа”, “сіль”.
4. Які основи називають лугами. Охарактеризуйте властивості лугів.
5. Охарактеризуйте властивості нерозчинних основ. Опишіть їх властивості.

6. Які основи називають амфотерними. Охарактеризуйте властивості амфотерних основ.
7. Класифікація кислот. Дисоціація одноосновних та багатоосновних кислот.
8. Хімічні властивості кислот. Взаємодія з лугами та солями, металами.
9. Класифікація солей. Номенклатура різних типів солей.
10. Охарактеризуйте хімічні властивості солей.

#### 1.4. Основні закономірності перебігу фізико-хімічних процесів

##### Енергетика хімічних процесів і хімічна спорідненість

Енергетичний стан системи під час хімічних, фазових та структурних перетворень і хімічну спорідненість оцінюють за допомогою таких основних термодинамічних функцій: ентальпія ( $H$ ), ентропія ( $S$ ) та ізобаро-ізотермічний потенціал ( $G$ ).

Ці термодинамічні функції є функціями стану, тобто вони не залежать від шляху перебігу процесу і залежать лише від початкового і кінцевого станів системи.

Під час хімічних реакцій руйнуються зв'язки між атомами у молекулах вихідних речовин (енергія поглинається) і виникають нові зв'язки у молекулах продуктів реакції (енергія виділяється). Як правило, це енергія теплова.

Величину теплової енергії  $Q$  що виділяється чи поглинається під час хімічних реакцій називають *тепловий ефект хімічної реакції*. Реакції, що відбуваються з виділенням тепла – *екзотермічні*.  $A + B \rightarrow D + Q$ .

Реакції, що відбуваються з поглинанням тепла – *ендотермічні*.  $L + M \rightarrow N - Q$ .

Розділ термодинаміки, що вивчає енергетичні ефекти хімічних реакцій, називають *термохімією*.



Рис. 1.15. Зв'язок між ентальпією та теплотою хімічної реакції.

За постійного тиску і температури *тепловий ефект хімічної реакції* виражають зміною ентальпії ( $\Delta H_{x.p.}$ , *кДж*). Для екзотермічної реакції  $\Delta H_{x.p.} < 0$ , для ендотермічної реакції  $\Delta H_{x.p.} > 0$ . Ентальпія – це тепловміст системи (рис. 1.15).

Якщо умови проведення реакції стандартні – температура **298 K (25 °C)**, тиск **101,325 кПа (1 атм)**, то зміну ентальпії називають стандартною ( $\Delta H^0_{x.p.}$ ).

Тепловий ефект реакції утворення *1 моля* хімічної сполуки з елементів називається *ентальпією утворення сполуки* ( $\Delta H^0_{утв.}$ , *кДж/моль*). Стандартна ентальпія утворення є мірою термодинамічної стійкості сполуки, кількісним вираженням тепловмісту речовини. Більш стійкою за стандартних умов є та речовина, що має менше алгебраїчне значення  $\Delta H^0_{утв.}$ . Ентальпії утворення простих речовин ( $H_2$ ;  $Cl_2$ ;  $Fe$ ) рівні нулю.

Тепловий ефект реакції розкладу сполуки називають *ентальпією розкладу* ( $\Delta H^0_{розкладу}$ ).

**Перший закон термохімії** (Лавуазьє, Лаплас, 1780-1784 рр.) – *зміна ентальпії прямої хімічної реакції рівна за абсолютним значенням і протилежна за знаком зміні ентальпії зворотної реакції*. Зокрема при розкладі сполуки на прості речовини відбувається зміна ентальпії, рівна за модулем, але протилежна за знаком зміні ентальпії при утворенні цієї сполуки з тих же простих речовин:

$$\Delta H_{\text{утв.}}^0 = -\Delta H_{\text{розкладу}}^0$$

**Другий закон термодинаміки** (закон Гесса). Ентальпія – функція стану системи. Тому *тепловий ефект хімічної реакції  $\Delta H_{x.p.}$  залежить лише від природи і фізичного стану реагуючих речовин і продуктів реакції і не залежить від шляху її проведення.*

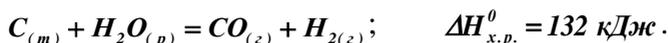
Під час термодинамічних розрахунків використовують наслідок з закону Гесса:

*Тепловий ефект хімічної реакції рівний різниці між сумою ентальпій утворення продуктів реакції і сумою ентальпій утворення реагуючих речовин з урахуванням їх коефіцієнтів у рівнянні реакції:*

$$\Delta H_{x.p.}^0 = \sum n \Delta H_{\text{утв.}(прод.)}^0 - \sum n \Delta H_{\text{утв.}(реаг.реч.)}^0$$

де  $\Delta H_{\text{утв.}}^0$  – стандартні ентальпії утворення продуктів і реагуючих речовин.

Рівняння хімічної реакції, в якому вказані агрегатні стани реагуючих речовин (т – твердий, р – рідкий, г – газоподібний) і величина її теплового ефекту, має назву *термодинамічне рівняння*:



Під час реакцій або фазових перетворень система може переходити у більш впорядкований або у менш впорядкований стан.

*Ентропія  $S$ , Дж/К·моль* – це термодинамічна функція, що є кількісною мірою неупорядкованості системи, хаотичності руху частинок, з яких вона складається.

$$S = k \cdot \ln W,$$

де  $k$  – стала Больцмана,  $k = R / N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж / К}$ ;

$w$  – термодинамічна ймовірність, число мікростанів, якими може бути здійснено даний макростан системи.

Зміна ентропії реакції  $\Delta S_{x.p.}^0$  обчислюється як різниця між сумою ентропій утворення продуктів та сумою ентропій утворення реагентів:

$$\Delta S_{x.p.}^0 = \sum n S_{утв.(прод.)}^0 - \sum n S_{утв.(реак.реч.)}^0 ,$$

де  $S_{утв.}^0$  – стандартні ентропії утворення продуктів і реагуючих речовин, *Дж/моль·К*.

Ентропія зростає із збільшенням інтенсивності руху частинок і ступеня безладності в системі: при нагріванні, плавленні, випаровуванні, збільшенні числа моль газоподібних речовин, у процесах хімічного розкладу. Для таких процесів  $\Delta S^0 > 0$ .

Процеси, пов'язані із впорядкуванням системи, наприклад, процеси конденсації, кристалізації, стиснення, полімеризації, переходу до більш впорядкованої кристалічної структури, синтезу – ведуть до зменшення ентропії,  $\Delta S^0 < 0$ .

Рушійною силою хімічної реакції у ізобарно-ізотермічному процесі є *вільна енергія Гіббса (ізобаро-ізотермічний потенціал) G*, *кДж/моль*, яка залежить від природи речовин, їх кількості і від температури.

Самовільно можуть проходити лише процеси, які супроводяться зменшенням вільної енергії Гіббса, при цьому  $\Delta G < 0$ . Отже, енергія Гіббса – це міра хімічної спорідненості.

Зміна вільної енергії Гіббса визначається двома факторами: енергетичним ( $\Delta H_{x.p.}$ ) і термодинамічним (ентропійним) ( $T \cdot \Delta S_{x.p.}^0$ ):

$$\Delta G = \Delta H_{x.p.}^0 - T \cdot \Delta S_{x.p.}^0 .$$

Для стандартних умов зміну енергії Гіббса хімічного процесу можна визначити як різницю між сумою вільних енергій продуктів реакції та реагуючих речовин:

$$\Delta G^0 = \sum n \Delta G_{утв.(прод.)}^0 - \sum n \Delta G_{утв.(реак.реч.)}^0 ,$$

де  $\Delta G_{утв.}^0$  – стандартні енергії Гіббса утворення продуктів і реагуючих речовин, *кДж/моль* (додаток 1).

Характер зміни енергії Гіббса дає можливість зробити висновки про термодинамічну ймовірність перебігу оборотної реакції:

$\Delta G < 0$  – відбувається пряма реакція;

$\Delta G > 0$  – відбувається зворотна реакція;

$\Delta G = 0$  – стан термодинамічної рівноваги.

Відповідно температура, при якій система перебуває в рівновазі ( $\Delta G = 0$ ) визначиться з відношення:

$$T = \frac{\Delta H_{x.p.}^0}{\Delta S_{x.p.}^0}.$$

Цю температуру вважають температурою початку реакції.

### Хімічна рівновага

Всі хімічні реакції поділяють на оборотні і необоротні. Реакції, що відбуваються лише в одному напрямку з повною витратою однієї з реагуючих речовин називають *необоротними*.

*Оборотними* називаються реакції, які відбуваються і в прямому, і в зворотному напрямках. Більшість відомих хімічних реакцій є оборотними.

*Хімічною рівновагою* називають стан системи, за якого швидкість прямої реакції дорівнює швидкості зворотної ( $v_{np.} = v_{zv.}$ ). Концентрації вихідних речовин і продуктів реакції у стані рівноваги називають *рівноважними концентраціями* і позначаються так:  $c_{A\text{ рівн.}} = [A]$ . Вони залишаються постійними за даної температури. З умови рівності швидкостей прямої і зворотної реакції можна вивести *константу рівноваги*:



$$v_{np.} = k_1 \cdot C_A^a \cdot C_B^b; \quad v_{zv.} = k_2 \cdot C_C^c \cdot C_D^d; \quad v_{np.} = v_{zv.}$$

$$K_p = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}.$$

Стан хімічної рівноваги за сталих умов може зберігатись тривалий час. У випадку зміни умов (температури, концентрації, тиску) рівновага зміщується відповідно до принципу Ле Шательє:

*якщо на систему, що перебуває у стані хімічної рівноваги, подіяти ззовні, то прискориться та реакція, що протидіє цій зміні.*

*Вплив концентрації.* Збільшення концентрації будь-якої речовини у рівноважній системі, призводить до прискорення реакції, яка призводить до витрати цієї речовини. Зі зменшенням концентрації будь-якої з речовин рівновага зміщується в сторону утворення цієї речовини.

*Вплив температури.* Підвищення температури в рівноважній системі призводить до зміщення рівноваги в сторону ендотермічної реакції, зниження – в сторону екзотермічної реакції.

*Вплив тиску (при  $t, V = \text{const}$ ).* Зміна тиску зміщує рівновагу системи, якщо хоч одна з реагуючих речовин знаходиться в газовій фазі і коли число моль газоподібних речовин в правій і лівій частині рівняння різне. За таких умов підвищення тиску приводить до зміщення рівноваги в сторону реакції утворення меншого числа моль газоподібних речовин, а зниження тиску зміщує рівновагу в сторону утворення більшого числа моль газоподібних речовин.

### **Швидкість хімічних реакцій. Каталіз**

Для гомогенних процесів, що відбуваються без зміни об'єму, швидкість хімічної реакції визначають як зміну концентрацій реагуючих речовин або продуктів реакції за одиницю часу. Швидкістю гетерогенної реакції називають кількість речовини, що вступає в реакцію або утворюється під час реакції за одиницю часу на одиниці поверхні фаз.

Швидкість хімічних реакцій залежить від природи реагуючих речовин, їх концентрацій, температури, наявності каталізатора і деяких інших зовнішніх факторів.

***Залежність швидкості реакції від концентрації.***

***Закон діючих мас*** (Гульдберг і Вааге): *за сталої температури швидкість хімічних реакцій пропорційна добутку*

концентрацій реагуючих речовин в степенях, що є їх коефіцієнтами в рівнянні хімічної реакції.

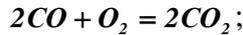
Для гомогенної реакції:  $aA + bB = cC + dD$  швидкість реакції:

$$v_{x.p.} = k \cdot C_A^a \cdot C_B^b,$$

де  $C_A$  і  $C_B$  – концентрації речовин  $A$  і  $B$  в моль/л;

$k$  – константа швидкості хімічної реакції, залежить від температури, природи реагуючих речовин і від наявності каталізатора, але не залежить від концентрації. Константа швидкості кількісно рівна швидкості реакції, коли  $C_A = C_B = 1$  моль/л.

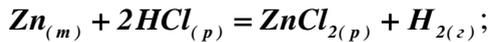
Якщо реагують гази, то концентрації можна замінити парціальними тисками газів. Наприклад, для реакції у газовій фазі:



$$v_{x.p.} = k \cdot C_{CO}^2 \cdot C_{O_2} \text{ або } v_{x.p.} = k \cdot P_{CO}^2 \cdot P_{O_2}.$$

Швидкість гетерогенних хімічних реакцій залежить лише від концентрації речовин у рідкій чи газоподібній фазі. Тверді речовини у рівняння швидкості не включаються.

Наприклад:



$$v_{x.p.} = k \cdot C_{HCl}^2.$$

### ***Залежність швидкості хімічної реакції від температури***

Вплив температури на підвищення швидкості хімічної реакції пояснює *теорія активації*.

Надлишкова енергія, яку повинні мати молекули, щоб їх зіткнення могло призвести до утворення нової речовини, називається *енергією активації* ( $E_a$ , кДж/моль). Молекули, енергія яких досягає енергії активації, називаються *активними*.

Підвищення температури збільшує кінетичну енергію і кількість активних молекул, а це призводить до зростання швидкості хімічної реакції.

Взаємозв'язок між температурою, енергією активації та швидкістю хімічної реакції визначається рівнянням Арреніуса:

$$k = A \cdot e^{-E_a / RT},$$

де  $k$  – константа швидкості;

$A$  – множник Арреніуса, який оцінює кількість ефективних зіткнень;

$e$  – основа натурального логарифма;

$E_a$  – енергія активації;

$T$  – температура.

Наближено залежність швидкості реакції від температури визначають за **правилом Вант-Гоффа**: із підвищенням температури на кожні 10 градусів швидкість більшості гомогенних реакцій зростає в 2-4 рази.

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}},$$

де  $v_{t_1}, v_{t_2}$  - швидкості реакції при температурах  $t_1$  і  $t_2$ ;

$t_1$  і  $t_2$  - початкова і кінцева температури;

$\gamma$  - температурний коефіцієнт швидкості: показує, у скільки саме разів змінюється швидкість даної реакції при зміні температури на кожні 10 градусів. Для більшості хімічних реакцій  $\gamma = 2...4$ .

**Каталізатори** – це речовини, що збільшують швидкість реакції, кількісно і якісно при цьому не змінюючись. Речовини, що зменшують швидкість реакцій, називаються від'ємними каталізаторами, або інгібіторами.

Реакції, що відбуваються під дією каталізаторів, називаються **каталітичними**.

Механізм дії каталізаторів дуже складний і не до кінця вивчений. Однак достовірно відомо, що вони здатні зменшувати

енергію активації системи, який і хімічний процес у присутності каталізаторів протікає через інші проміжні стани.

У випадку *гомогенного* каталізу всі реагуючі речовини і каталізатор утворюють одну фазу (газоподібну або рідку).

Механізм гомогенного каталізу полягає в утворенні проміжних сполук між каталізатором і реагентами. Це сприяє зменшенню енергії активації. Наприклад, взаємодія між реагентами А і В, з утворенням активованого комплексу АВ\* , відбувається за схемою



за наявності каталізатора протікає через два (чи більше) проміжні стани:



До гомогенних каталітичних процесів належать численні природні процеси, що прискорюються ферментами – біологічними каталізаторами (зазвичай білковими молекулами), які прискорюють реакції у клітинах в десятки тисяч разів. Такі процеси мають назву *ферментативний каталіз*. Наприклад, під час обробки ран гідроген пероксидом відбувається його розклад на кисень і воду під дією каталази – ферменту, що регулює оптимальну концентрацію пероксидів у тканинах людини і тварин. Для порівняння: каталаза збільшує швидкість реакції розкладання  $H_2O_2$  у  $10^{10}$  разів, у той час як платина – у  $1,2 \cdot 10^5$  разів.

Ферментативний каталіз широко використовують у харчовій промисловості та кулінарії під час виробництва і переробки продукції.

Під час *гетерогенного* каталізу каталізатор перебуває в іншому агрегатному стані, ніж реагуючі речовини. Це, як правило, тверда речовина, на поверхні якої відбуваються каталітичні процеси. Загальна швидкість перетворення на гетерогенному каталізаторі залежить від площі його поверхні, тому найширше

застосовують каталізатори з розвиненою поверхнею або наносять їх тонким шаром на пористий носій (вугілля, силікагель тощо).

### Контрольні запитання

1. Основні термодинамічні функції.
2. Що називається ентальпією утворення хімічної сполуки?
3. Екзотермічні, ендотермічні реакції.
4. Дати визначення закону Гесса. Наслідок з закону Гесса.
5. Ентропія, вільна енергія Гіббса. Напрямок хімічної реакції.
6. Швидкість хімічної реакції. Вплив різних чинників на швидкість хімічної реакції.
7. Оборотно та необоротно хімічні реакції.
8. Закон діючих мас. Його виведення.
9. Хімічна рівновага. Правило Ле Шательє.
10. Каталіз, каталізатори, каталітичні реакції.

### 1.5. Розчини

#### Загальна характеристика розчинів та їх утворення

*Істинними* розчинами називають стійкі рідкі або тверді гомогенні дисперсні системи, склад яких може змінюватися в досить широких межах.

Розчини є рівноважними однорідними системами, які мають мінімум енергії Гіббса за рахунок усіх можливих типів взаємодії між складовими частинками. *Основною характерною особливістю істинних розчинів є відсутність поверхні поділу між компонентами*, що зумовлює прозорість і високу стійкість розчинів протягом тривалого часу.

Основними компонентами розчину є розчинена речовина та розчинник, тобто середовище, в якому молекули або йони рівномірно розподілені.

Відповідно до агрегатного стану розчини поділяються на газоподібні, рідкі та тверді.

**1. Газоподібні розчини** – це газова суміш, компоненти якої не взаємодіють між собою природний газ, повітря.

**2. Рідкі розчини** – це однофазні гомогенні системи, що утворюються під час розчинення газоподібних, рідких або твердих речовин у рідкому розчиннику. Розчинник може мати як неорганічну природу (вода, рідкий амоніак, безводна сульфатна чи нітратна кислоти) так і органічну (спирти, ацетон, бензен, тетрахлорометан тощо).

**3. Тверді розчини**, які можуть утворювати солі, метали чи оксиди. Тверді розчини бувають двох типів:

**Тверді розчини заміщення**, компоненти яких мають однотипну кристалічну решітку і близькі розміри частинок;

**Тверді розчини включення** утворюються внаслідок закріплення молекул, атомів чи йонів однієї речовини у порожнинах кристалічної решітки іншої речовини.

Спочатку процес розчинення пояснювала *фізична теорія розчинів* (Вант-Гофф, Арреніус), яка розглядала процес розчинення як просте розподілення (диспергування) однієї речовини в усьому об'ємі іншої. Згідно з цією теорією властивості розчинів повинні залежати лише від концентрації розчиненої речовини. Відповідно до фізичної теорії, розчинник – це індиферентне середовище, в якому хаотично розподілені частинки розчиненої речовини.

Однак, відповідно до *хімічної теорії розчинів* (Д.І.Менделєєв) розчин є динамічною системою, між рівноцінними компонентами якої – розчинником і розчиненою речовиною – відбувається хімічна взаємодія.

Сучасна теорія розчинів (Каблуков, Кістяковський) є поєднанням фізичної і хімічної теорій. Відповідно до неї процес розчинення є складною сукупністю фізико-хімічних явищ, серед яких виділяють три основні етапи.

1. Руйнування структури речовини, що розчиняється.

2. Хімічна взаємодія розчинника з частинками речовини – так звана сольватація (або гідратація, якщо розчинником є вода). При цьому утворюються сольвати (або гідрати) – нестійкі хімічні сполуки частинок розчиненої речовини з молекулами розчинника (або води).

3. Самочинний процес рівномірного розподілення сольватів (гідратів) у розчиннику.

Отже, процес розчинення є сукупністю послідовних процесів: руйнування структури розчиненої речовини і утворення іонів, молекул або атомів; взаємодія молекул розчинника з часточками розчиненої речовини – процес сольватації; розподіл гідратованих часточок в об'ємі розчинника – процес дифузії.

Здатність речовини рівномірно розподілятися у всьому об'ємі розчинника називають розчинністю. Розчинність речовин виражають максимальним числом грамів речовини, які можна розчинити в 100г розчинника ( коефіцієнт розчинності  $\gamma$ ).

За розчинністю у воді усі речовини поділяються на три групи.

1. *Добре розчинні речовини*, наприклад, цукор, натрій хлорид, натрій гідроксид (тверді); етиловий спирт, ацетон (рідкі); хлороводень, амоніак (гази).

2. *Малорозчинні*: кальцій сульфат, свинець (тверді речовини); діетиловий етер, бензен (рідини); кисень, азот, метан (гази).

3. *Практично нерозчинні*: скло, срібло, золото (тверді речовини); гас, рослинні масла (рідини); гелій, неон, аргон (гази).

Розчинення речовин перебігає самочинно і завершується утворенням *насиченого розчину*, в якому міститься максимально можлива за даної температури кількість розчиненої речовини. Насичений розчин знаходиться в рівновазі з осадом розчиненої речовини. У ненасиченому розчині міститься менше розчиненої речовини, ніж у насиченому, а в пересиченому – більше. Останній є

нестійкою системою, з якої розчинена речовина випадає у вигляді кристалів.

### Способи вираження концентрації розчинів

Основною кількісною характеристикою розчинів є концентрація, тобто кількісне співвідношення між основними компонентами розчину: розчинником і розчиненою речовиною. Існують різні способи вираження концентрації розчинів.

Під час обчислення концентрації розчинів використовують позначення:

$m_{p.p.}$  – маса розчиненої речовини, г;

$m_{p-ny}$  – маса розчину, г;

$M_{p.p.}$  – молярна маса розчиненої речовини г/моль;

$M_{Ер.p.}$  – еквівалентна маса розчиненої речовини, г/моль·екв;

$v_{p.p.}$  – кількість розчиненої речовини, моль;

$v_{екв.p.p.}$  – кількість еквівалентів розчиненої речовини, моль;

$V_{p.p.}$  – об'єм розчиненої речовини, л;

$V_{p-ny}$  – об'єм розчину, л.

1. **Масова частка** (відсоток, процент) розчиненої речовини,  $\omega$  – це відношення маси розчиненої речовини до маси розчину.

$$\omega = \frac{m_{p.p.}}{m_{p-ny}} \cdot 100\% ; [\%]$$

2. **Об'ємна частка** розчиненої речовини  $\omega_{об.}$  - це відношення об'єму розчиненої речовини до об'єму розчину.

$$\omega_{об.} = \frac{V_{p.p.}}{V_{p-ny}} \cdot 100\% ; [\text{об. \%}]$$

3. **Молярність** (молярна концентрація)  $C_M$  – визначає кількість розчиненої речовини (моль) в 1л (1000 см<sup>3</sup>) розчину.

$$C_M = \frac{v_{p.p.}}{V_{p-ny}} = \frac{m_{p.p.}}{M_{p.p.} \cdot V_{p-ny}} ; [\text{моль/л}]$$

Наприклад, якщо в одному літрі розчину сульфатної кислоти міститься 1 моль (98 г)  $H_2SO_4$ , то молярна концентрація розчину  $C_M = 1 \text{ моль/л}$ .

Прийняті позначення:

- одномолярний розчин 1  $M$  (1 моль/л);
- децимолярний розчин 0,1  $M$  (0,1 моль/л);
- сантимольярний розчин 0,01  $M$  (0,01 моль/л);
- мілімолярний розчин 0,001  $M$  (0,001 моль/л);

4. **Нормальність** (молярна концентрація еквівалента),  $C_n$  – визначає число моль еквівалентів розчиненої речовини в 1 л (1000  $cm^3$ ) розчину.

$$C_n = \frac{v_{екв.р.р.}}{V_{р-ну}} = \frac{m_{р.р.}}{M_{Ер.р.} \cdot V_{р-ну}}; \text{ [моль} \cdot \text{екв/л]}$$

Наприклад, якщо в 1 л розчину сульфату натрію міститься 71 г (1 моль еквівалентів)  $Na_2SO_4$ , то нормальність розчину  $C_n = 1$  моль-екв/л, розчин однонормальний /1Н/.

5. **Моляльність** (моляльна концентрація),  $C_m$  – визначає кількість розчиненої речовини на 1 кг розчинника.

$$C_m = \frac{v_{р.р.}}{m_{р-ка}} \cdot 1000 = \frac{m_{р.р.}}{M_{р.р.} \cdot m_{р-ка}} \cdot 1000; \text{ [моль/кг]}$$

6. **Мольна частка**,  $N$  – визначає частку моль одного з компонентів розчину від загального числа моль всіх компонентів розчину.

$$N_1 = \frac{v_1}{v_1 + v_2 + v_3 + \dots},$$

де  $v_{1,2,3}$  – кількість речовини компонентів 1,2,3, і т.д.

Для обчислення концентрації розчинів часто використовується густина. Густина ( $\rho$ , [г/см<sup>3</sup>], [кг/дм<sup>3</sup>], [г/мл]) - це маса одиниці об'єму. Густина води – найпоширенішого розчинника – рівна наближено 1 г/см<sup>3</sup>. Густина розчину відрізняється від густини розчинника. Залежність між масою / $m$ /, об'ємом / $V$ / та густиною / $\rho$ / розчину виражається формулою:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Для обчислень, пов'язаних із взаємодією між розчинами, зручно користуватись законом еквівалентів для розчинів:

$$C_{H_1} \cdot V_1 = C_{H_2} \cdot V_2,$$

де  $C_{H_1}, C_{H_2}$  - нормальні концентрації реагуючих розчинів, *моль екв/л*;

$V_1, V_2$  - об'єми реагуючих розчинів, *л*.

### **Теорія електролітичної дисоціації. Водневий показник**

Під час утворення багатьох розчинів *електроліти*, тобто ті речовини, розчини або розплави яких проводять електричний струм, розпадаються на йони. Процес розпаду електроліту на йони називають *електролітичною дисоціацією*.

Основні положення сучасної *теорії електролітичної дисоціації*:

– розчинення електроліту в полярному розчиннику супроводжується його розпадом на йони (катіони і аніони);

– процес розпаду молекул на іони називається дисоціацією; дисоціація – це процес ступінчастий і оборотний;

– усі йони в розчині знаходяться у сольватованому стані, тобто вони оточені оболонками, які складаються з полярних молекул розчинника;

– йони у розчині перебувають у хаотичному русі, але в електричному полі набувають напрямленого руху: катіони рухаються до негативного електроду (катода), аніони – до позитивного електроду (анода) (рис.1.16).

Кількісною характеристикою процесу дисоціації є *ступінь дисоціації  $\alpha$* . Ступінь дисоціації визначається як відношення концентрації молекул, що розпалися на йони, до загальної концентрації молекул у розчині. Вимірюється ступінь дисоціації у

частках одиниці або відсотках і залежить від природи електроліту, концентрації розчину і температури.

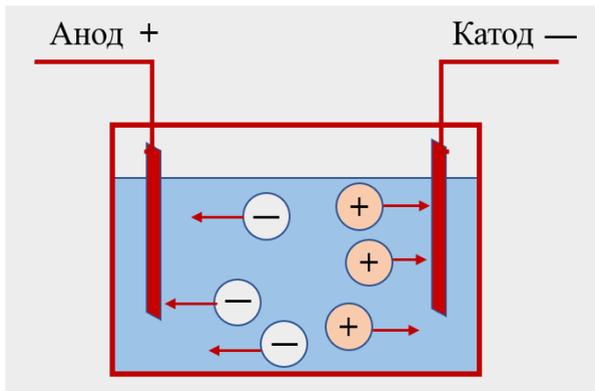


Рис. 1.16. Напрямок руху катіонів й аніонів в електричному полі.

За величиною ступеня дисоціації електроліти поділяються на сильні і слабкі. До сильних електролітів відносять речовини, які в розчинах повністю дисоціюють на йони: ступінь їх дисоціації в розбавлених розчинах дорівнює 1. До сильних електролітів належать луги, розчинні у воді солі, сильні кислоти. До слабких електролітів належать більшість органічних і неорганічних кислот, основи (крім лугів), вода. Вода – дуже слабкий амфотерний електроліт, який дисоціює:



Добуток концентрацій іонів  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$  називають **йонним добутком води**. За сталої температури це величина стала, як для чистої води, так і для водних розчинів будь-яких електролітів:

$$K_w = C_{\text{H}^+} \cdot C_{\text{OH}^-} = 10^{-14}.$$

Розчини, в яких концентрація іонів  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$  дорівнює  $10^{-7}$  моль/л, називають **нейтральними**. Розчини, в яких концентрація іонів  $\text{H}^+$  більша, ніж концентрація іонів  $\text{OH}^-$  називають **кислими**, і

навпаки *лужними* називають розчини, де більша концентрація іонів  $\text{OH}^-$ . Вміст у розчинах іонів  $\text{H}^+$  і  $\text{OH}^-$  показує *водневий показник рН* – від’ємний десятковий логарифм концентрації іонів  $\text{H}^+$ :

$$pH = -\lg C_{\text{H}^+}.$$

Якщо  $pH > 7$ , то середовище лужне; якщо  $pH < 7$ , то середовище кисле; у нейтральному середовищі  $pH = 7$ .

Залежність між величиною рН і реакцією водного розчину можна зобразити наступним чином:



Точне значення рН розчинів можна розрахувати або експериментально визначити за допомогою спеціальних електрхімічних методів. Однак для наближеного знаходження величини рН користуються *індикаторами* (від лат. слова indicator – той, хто вказує).

*Індикатор* – це хімічна сполука, яка дозволяє візуалізувати досягнення системою певного стану з відповідною величиною рН середовища, що виявляється у виникненні помітної ознаки (змінення забарвлення, випадіння осаду, поява люмінесценції тощо).

Існує декілька груп індикаторів, кожна з яких має своє призначення. Так, для визначення рН розчину використовують здебільшого кислотно-основні індикатори – найчастіше це складні органічні кислоти чи основи, які змінюють своє забарвлення залежно від реакції середовища (рис.1.17). До основних кислотно-основних індикаторів відносять фенолфталеїн, метиловий оранжевий, лакмус та універсальний індикатор.

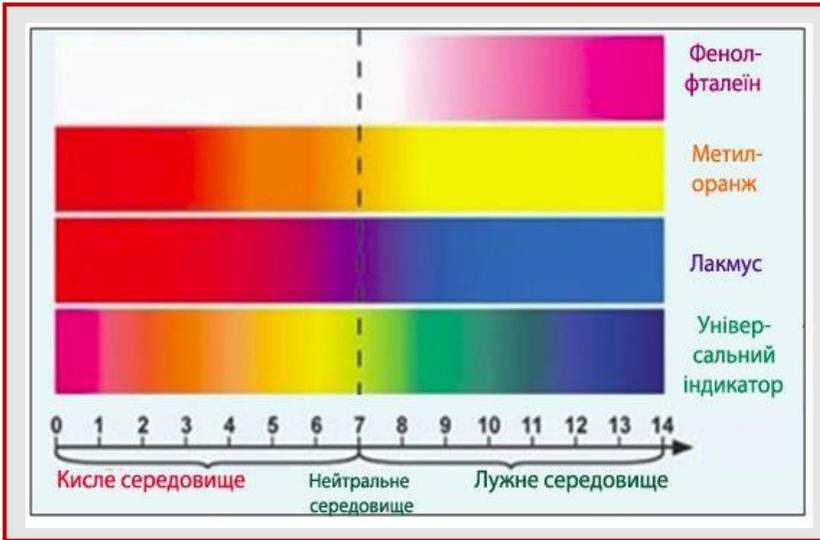


Рис.1.17. Зміна забарвлення основних індикаторів залежно від рН-середовища.

### Властивості розчинів. Закони Рауля

Властивості розчинів, які залежать лише від числа частинок в розчині і не залежать від природи розчиненої речовини, називаються колігативними. Це зміна осмотичного тиску, температури кипіння, температури кристалізації розчину порівняно з чистим розчинником, які зумовлені зниженням тиску насиченої пари.

**Відносне зниження тиску насиченої пари розчинника над розчином** пропорційне мольній частці розчиненої речовини. (І закон Рауля).

$$\frac{p_0 - p}{p_0} = N_2, \text{ де } N_2 = \frac{v_2}{v_1 + v_2}, \text{ } p_0 - p = \Delta p,$$

де  $p_0$  – тиск насиченої пари розчинника над чистим розчинником;

$p$  – тиск насиченої пари розчинника над розчином;

$\Delta p$  – зниження тиску пари;

$N_2$  – мольна частка розчиненої речовини;

$v_1, v_2$  – кількість речовини розчинника та розчиненої речовини відповідно, моль;

**Підвищення температури кипіння ( $\Delta t_{\text{кип}}$ ) і зниження температури кристалізації ( $\Delta t_{\text{кр}}$ ) розчину прямо пропорційне моляльній концентрації розчиненої речовини (наслідки з закону Рауля).**

$$\Delta t_{\text{кр.}} = K_{\text{к}} \cdot C_{\text{м}} = K_{\text{к}} \cdot \frac{m_{\text{р.р.}} \cdot 1000}{M_{\text{р.р.}} \cdot m_{\text{р-ка}}}$$
$$\Delta t_{\text{кип.}} = K_{\text{Е}} \cdot C_{\text{м}} = K_{\text{Е}} \cdot \frac{m_{\text{р.р.}} \cdot 1000}{M_{\text{р.р.}} \cdot m_{\text{р-ка}}},$$

де  $K_{\text{Е}}$  – ебуліоскопічна константа розчинника;

$K_{\text{к}}$  – криоскопічна константа розчинника

$C_{\text{м}}$  – моляльна концентрація розчину;

$M_{\text{р.р.}}$  – молярна маса розчиненої речовини;

$m_{\text{р.р.}}, m_{\text{р-ка}}$  – маса розчиненої речовини та розчинника

відповідно.

**Осмотичний тиск розчину** пропорційний його молярній концентрації і температурі (закон Вант - Гоффа):

$$P_{\text{осм}} = C_{\text{М}} \cdot R \cdot T,$$

де  $C_{\text{М}}$  – молярна концентрація;

$R$  – універсальна газова стала;

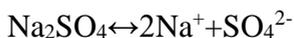
$T$  – температура, К.

На відміну від розчинів неелектролітів у розчинах електролітів число частинок не відповідає числу молекул, воно збільшується за рахунок електролітичної дисоціації розчиненої речовини. Тому експериментальні значення величин  $\Delta p, \Delta t_{\text{кр.}}, \Delta t_{\text{кип.}}, P_{\text{осм}}$  для розчинів кислот, основ і солей більші за теоретично обчислені за відповідними законами Рауля і Вант-Гоффа. Для оцінки міри відхилення Вант-Гофф запропонував ввести так званий ізотонічний

коефіцієнт  $i$ , який є відношенням відповідних експериментальних значень величин  $\Delta p$ ,  $\Delta t_{кр.}$ ,  $\Delta t_{кип.}$ ,  $P_{осм}$  до теоретичного обчислених:

$$i = \frac{\Delta p_{експ}}{\Delta p_{теор}} = \frac{\Delta t_{кип.експ}}{\Delta t_{кип.теор}} = \frac{\Delta t_{кр.експ}}{\Delta t_{кр.теор}} = \frac{P_{експ}}{P_{теор}}$$

Ізотонічний коефіцієнт  $i$  пов'язаний із ступенем дисоціації електроліту  $\alpha$  співвідношенням:  $\alpha = \frac{i-1}{k-1}$ , де  $i$  – ізотонічний коефіцієнт;  $k$  – число іонів, на які дисоціює молекула електроліту: для  $KCl$   $k=2$ , для  $Na_2SO_4$   $k=3$ .



Для розчинів електролітів:

$$\Delta p = i \cdot p_o \cdot \frac{V_2}{V_1 + V_2};$$

$$\Delta t_{кр.} = i \cdot K_k \cdot C_m;$$

$$P_{осм} = i \cdot C_M \cdot R \cdot T.$$

### Контрольні запитання

1. Що таке розчини? Чим відрізняється розчин від суміші?
2. Що означають поняття «концентрація розчину», «розчинність», «насичений розчин»?
3. Класифікація розчинів за агрегатним станом, розчинністю тощо.
4. Теорії утворення розчинів: фізична, хімічна, сучасна.
5. Основні способи вираження концентрації розчинів.
6. Теорія електролітичної дисоціації. Основні положення.
7. Ступінь дисоціації. Сильні та слабкі електроліти.
8. Йонний добуток води. Водневий показник розчинів.
9. Основні колігативні властивості розчинів.
10. Закони Рауля та відхилення від них. Ізотонічний коефіцієнт.

## 1.6. Дисперсні системи

### *Загальне уявлення про дисперсні системи. Класифікація дисперсних систем*

**Дисперсною системою** – називають дво- або багатофазну, тобто гетерогенну систему, в якій одна із фаз є у вигляді маленьких частинок, розміри яких більші за молекулярні. Отже, дисперсна система містить щонайменше два компоненти, тому розрізняють два поняття: дисперсна фаза і дисперсійне середовище (рис. 1.18).

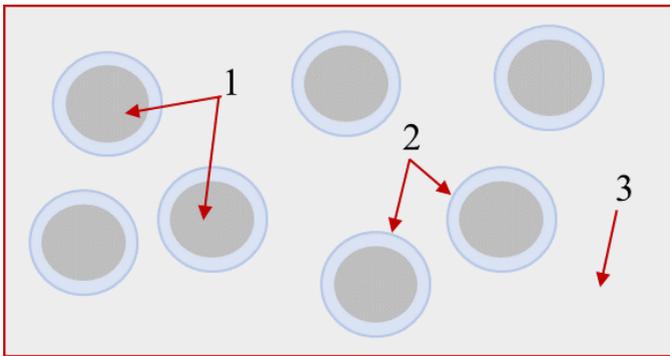


Рис.1.18. Дисперсна система: 1 – частинки дисперсної фази (у вигляді дрібних твердих кристаликів, крапель рідини, бульбашок газу тощо), 2 – адсорбційний шар, 3 –дисперсійне середовище.

**Дисперсна система** – гетерогенна система, в якій подрібнені частинки однієї речовини рівномірно розподілені в об’ємі іншої.

**Дисперсна фаза** – це диспергована речовина, тобто та частина дисперсної системи, яка рівномірно розподілена в об’ємі іншої речовини.

**Дисперсійне середовище** – це середовище, в якому рівномірно розподілені частинки дисперсної фази. Ознакою дисперсійного середовища є його безперервність.

У таких системах завжди будемо спостерігати поверхневі явища. До поверхневих явищ відносять процеси, які відбуваються на межі розділу фаз, в між фазовому поверхневому шарі і виникають внаслідок взаємодії спряжених фаз. Поверхневі явища проявляються найсильніше в тілах, які мають розвинуту поверхню, яка і надає їм нові важливі властивості. Зокрема, до таких тіл відносять поверхневі шари, плівки, нитки, капіляри, дрібні частинки.

Сукупність таких тіл з середовищем, в яке вони поміщені, утворює дисперсну систему. Дисперсні системи є достатньо типовими і одночасно дуже складними об'єктами, оскільки саме в них проявляється вся багатоманітність поверхневих явищ. Саме такими системами є більшість реальних тіл, які нас оточують. Ґрунти, тіла рослинного та тваринного світу, хмари і тумани, будівельні матеріали, метали, полімери, папір, шкіра, продукти харчування – це все дисперсні системи.

Дисперсні системи класифікують за дисперсністю, агрегатним станом, міжфазною взаємодією та за характером зв'язаності структурних елементів.

#### **За дисперсністю:**

- грубодисперсні  $d > 10^{-3}$  см ;
- системи з проміжною дисперсністю  $10^{-5} < d < 10^{-3}$  см;
- високодисперсні (колоїдні)  $10^{-7} < d < 10^{-5}$  см.

**За агрегатним станом.** Дисперсні системи у найпростішому випадку складаються із двох фаз, кожна з яких має свою назву. Фаза, яка є неперервною, називається дисперсійним середовищем, а інша дискретна фаза, яка розподілена у першій фазі, називається дисперсною фазою. Поєднання трьох агрегатних станів для двох фаз дає можливість виділити дев'ять типів дисперсних систем (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

## Класифікація дисперсних систем за агрегатним станом фаз

Дисперсійне середовище	Дисперсійна фаза	Умовне позначення	Назва системи і типові приклади
Тверде	Тверда	Т/Т	Тверді гетерогенні системи: мінерали, сплави, бетон
	Рідка	Ж/Т	Капілярні системи: рідини в пористих тілах, ґрунти, клітини живих організмів
	Газоподібна	Г/Т	Пористі тіла: адсорбенти, пінопласти, каталізатори в газах
Рідке	Тверда	Т/Ж	Суспензії та золі: промислові суспензії, пасти, мул
	Рідка	Ж/Ж	Емульсії: природна нафта, креми, молоко, мастила
	Газоподібна	Г/Ж	Газові емульсії, піни: флотаційні, протипожежні, мильні піни
Газоподібне	Тверда	Т/Г	Аерозолі: дим, пил
	Рідка	Ж/Г	Аерозолі: тумани, хмари
	Газоподібна	Г/Г	Дисперсні системи не утворюються внаслідок необмеженої взаємної розчинності газів. Можливі флуктуації густини газів, які призводять до неоднорідності систем (атмосфера Землі)

Усі системи в колоїдному стані називають золями. Тому системи, типу Р/Г і Т/Г – називаються аерозолі. Системи з рідким дисперсним середовищем називають ліозолі ( від грецького ліос – рідина). Мікрогетеро системи з твердою дисперсною фазою і рідким дисперсним середовищем називають суспензіями.

**За міжфазною взаємодією.** За цим принципом класифікують лише системи із рідким дисперсійним середовищем. В основу цієї класифікації покладено взаємодію дисперсної фази із рідиною.

– Ліофільні (ліо – розчиняю, філею – люблю). Характерна сильна міжмолекулярна взаємодія рідини і дисперсної фази. Ліофільні системи термодинамічно стійкі і для них характерне самочинне диспергування.

– Ліофобні ( ліо – розчиняю, фобос – боюсь). Для цих систем притаманна слабка міжмолекулярна дія. У цих системах не відбувається самочинне диспергування.

Між цими граничними системами існує широкий клас дисперсних систем з проміжним характером взаємодії фаз, для яких характерна ліофільно-ліофобна мозаїчність поверхні.

**За характером зв'язаності структурних елементів** дисперсні системи поділяють на вільнодисперсні та зв'язанодисперсні. Для вільнодисперсних систем характерна рухливість структурних елементів або фаз. До зв'язанодисперсних відносять системи, в яких дисперсійне середовище є твердим.

Усі дисперсні системи характеризують певною дисперсністю – величиною оберненою до характерного розміру структурних елементів. Очевидно, що класифікація вільно- та зв'язанодисперсних систем за дисперсністю відрізняються між собою. Вільнодисперсні системи поділяють на ультрамікрогетерогенні, розмір частинок яких лежить у межах від 1 до 100 нм, мікрогетерогенні з розміром частинок від 0,1 до 10 мкм і грубодисперсні з частинками, розмір яких більший 10 мкм. Зв'язанодисперсні системи, точніше капілярні системи та пористі тіла, класифікують за розмірами пор: мікропористі – з розміром пор

до 2 нм, проміжної пористості – від 2 до 200 нм і макропористі – більше 200 нм.

Дисперсні системи з однаковими за розмірами структурними елементами називають монодисперсними, а з різними розмірами – полідисперсними. Реальні дисперсні системи, зазвичай, полідисперсні.

### **Одержання дисперсних систем**

Колоїдні системи за розмірами частинок ( $10^{-7}$  –  $10^{-5}$  см) займають проміжне положення між грубо дисперсними і молекулярними системами. Тому їх можна отримати двома шляхами:

– Шляхом з'єднання окремих молекул або іонів розчиненої речовини в агрегати – **конденсація**;

– Шляхом подрібнення порівняно великих частинок до необхідної дисперсності – **диспергування**.

Відповідно до цього існують конденсаційні методи та методи диспергування для одержання колоїдних систем. Але існують інші методи одержання золів, які відрізняються від попередніх – це метод пептизації і самочинне диспергування дисперсної фази в дисперсійному середовищі.

Незалежно від методів, які застосовують для одержання колоїдних систем існують дві обов'язкові умови синтезу:

– Дисперсна фаза повинна не розчинятись або володіти незначною розчинністю відносно дисперсійного середовища;

– Наявність в системі, в якій утворюються частини, речовин, які здатні стабілізувати частинки, а у випадку конденсаційних методів – зупинити ріст агрегатів. Ці речовини можуть або спеціально вводиться в систему, або ж утворюватися під час взаємодії дисперсної фази із дисперсійним середовищем.

**Методи диспергування.** До цих методів перш за все належить механічне подрібнення речовини, в якому подолання

міжмолекулярних сил і накопичення вільної поверхневої енергії відбувається за рахунок зовнішньої механічної роботи.

Подрібнення проводять у дробарках, млинах і млинах різної конструкції та інших апаратах, де тверді тіла подрібнюються, розтираються, розтискуються або розщеплюються, а рідкі збовтуються, енергійно перемішуються або видаляються в дисперсійне середовище під великим тиском. Найбільш поширені кульові млини. Більш тонкого подрібнення досягають у колоїдних млинах.

Високої дисперсності можна досягти ультразвуковим і електричним диспергуванням. Диспергуюча дія ультразвуку пов'язана з кавітацією — утворенням і захопуванням порожнин у рідині. Захопування порожнин супроводжується виникненням кавітаційних ударних хвиль, які руйнують матеріал.

При електричному диспергуванні створюють вольтову дугу між поміщеними у дисперсійне середовище електродами з металів, які диспергують.

Для одержання стійких дисперсних систем методами диспергування в систему необхідно додавати третій компонент — стабілізатор. Стабілізаторами є йони електролітів, або поверхнево-активні речовини, які перешкоджають злипанню роздрібнених частинок і випаданню їх в осад.

До методів диспергування відносять і *пептизацію* — хімічне диспергування. Свіжий осад, утворений при коагуляції колоїдного розчину, можна перевести у золь, обробляючи його пептизатором: розчинником, розчином електроліту або розчином поверхнево-активної речовини.

Методи диспергування не дозволяють досягнути достатньо високої дисперсності речовини. Системи із розмірами  $10^{-6} - 10^{-7}$  см отримують конденсаційними методами.

В основі конденсаційних методів отримання колоїдних систем лежать процеси виникнення нової фази шляхом укрупнення молекул, йонів або атомів у гомогенному середовищі. Методами

конденсації можуть бути отримані системи будь-якої дисперсності, з частинками будь-якого розміру.

Конденсація може протікати як фізичний і як хімічний процес.

Найважливішими методи фізичної конденсації є конденсація пари та заміна розчинника. Прикладом конденсації пари є утворення туману. Під час зміни параметрів системи, а саме пониженні температури тиск пари може стати вищим за рівноважний тиск пари над рідиною чи твердим тілом і в газовій фазі виникає нова рідка чи тверда фаза. В результаті система стає гетерогенною – починає утворюватись туман (дим). Таким шляхом отримують маскувальні аерозолі, які утворюються під час охолодження парів  $P_2O_5$ ,  $ZnO$  та інших речовин.

Метод заміна розчинника базується на такій зміні параметрів системи, коли хімічний потенціал компонента в дисперсійному середовищі стає вищим за рівноважний. Для цього змінюють склад дисперсійного середовища. Розчин речовини (наприклад сірки в етиловому спирті) додають до рідини, яка добре змішується з розчинником (вода), але в якій розчинена речовина не розчиняється. Тоді розчинена речовина виділяється у вигляді високо дисперсійної фази. Методом заміни розчинника отримують золі сірки, фосфору, каніфолі.

У випадку хімічної конденсації нова фаза виникає під час протікання реакцій, внаслідок яких утворюються нерозчинні в даному середовищі речовини. Це можуть бути реакції відновлення, окиснення, обміну, гідролізу.

### **Фізико-хімічні властивості дисперсних систем**

**Молекулярно-кінетичні властивості.** Частинки дисперсної фази одночасно зазнають дію сили земного тяжіння і **архімедові** сили; залежно від співвідношення щільності дисперсійного середовища і

дисперсної фази рівнодіюча цих сил змушуватиме частинки осідати або спливати. Процес осідання або спливання колоїдних частинок називають седиментацією. Однак **седиментації** завжди протидіє інший процес, який прагне до рівномірного розподілу колоїдних частинок в об'ємі розчину, – дифузія. Дифузія завжди відбувається під дією броунівського руху частинок. Броунівський рух – це хаотичний рух часточок дисперсної фази в золях. Він властивий будь-яким часточкам: чим вони менші, тим він інтенсивніший. У своїх теоріях Ейнштейн і Смолуховський замість швидкості руху часточки застосували поняття "зсув часточки" – відрізок прямої, що з'єднує вихідну точку руху часточки з її положенням у момент часу  $t$ . Середній зсув часточок визначають за рівнянням:

$$\Delta \bar{X} = \sqrt{\frac{RT\tau}{3\pi \cdot \eta \cdot r \cdot N_a}}$$

де  $\eta$  – в'язкість дисперсійного середовища;  $r$  – радіус часточок;  $N_a$  – число Авогадро;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – абсолютна температура.

**Оптичні властивості.** Під час проходження світла через дисперсні системи спостерігається розсіювання світла (зміна променями світла свого напрямку внаслідок огинання часточок дисперсної фази). З розсіюванням світла пов'язане явище опалесценції (поява каламутності і зміни забарвлення золю у відбитому світлі). Для золів з сферичними часточками інтенсивність розсіяного світла визначають за рівнянням Релея:

$$I = \frac{K \cdot I_0 \cdot n \cdot V^2}{\lambda^4},$$

де  $I$  – інтенсивність розсіяного світла;  $I_0$  – інтенсивність падаючого світла;  $K$  – коефіцієнт, який залежить від співвідношення показників заломлення дисперсної фази і дисперсійного середовища;  $V$  – об'єм часточки;  $n$  – концентрація часточок у золі;  $\lambda$  – довжина хвилі падаючого світла.

З рівняння видно, що, чим менша довжина хвилі падаючого випромінювання, тим більше буде розсіяння. Отже, якщо на частинку падає біле світло, найбільше розсіювання матимуть сині і фіолетові компоненти. Тому в світлі, що проходить, колоїдний розчин буде забарвлений в червонуватий колір, а в бічному, відображеному – в блакитній.

**Стійкість дисперсний систем. Коагуляція.** Проблема стійкості є центральною проблемою колоїдної хімії, бо це проблема «життя та смерті» дисперсної системи.

Практично існують дві задачі: зберегти дисперсну систему чи її зруйнувати. Стійкість визначає здатність дисперсних систем зберігати свій склад незмінним, тобто залишати концентрацію дисперсної фази і розподіл частинок за розмірами постійними у часі.

*Коагуляцією* називають зменшення дисперсності системи в результаті злипання частинок дисперсної фази. Коагуляція може відбуватися внаслідок старіння системи, зміни температури, механічної дії, дії електромагнітного поля та ін. Однак найбільш важливе теоретичне і практичне значення має коагуляція під дією електролітів. Коагуляцію викликають будь-які електроліти, але з помітною швидкістю вона починається при досягненні певної концентрації. Мінімальна концентрація електроліту, при перевищенні якої спостерігається коагуляція, називається «*порогом коагуляції*». Поріг коагуляції у виражають у ммоль/л.

Коагулюючу дію має лише той іон електроліту, заряд якого протилежний заряду колоїдної частинки. Коагулююча здатність йона тим більша, чим більший його заряд. Цю залежність називають правилом Шульце—Гарді.

Додавання до ліофобних золів високомолекулярних речовин значно підвищує їх стійкість. Це явище називають колоїдним захистом. Механізм захисної дії полягає в утворенні адсорбційного шару з високомолекулярної речовини. Захисний шар забезпечує сольватацію частинки, сольватні шари створюють значний

розклинюючий тиск і перешкоджають злипанню частинок. Захисна дія підсилюється при утворенні в дисперсійному середовищі достатньо міцної об'ємної структури.

### Контрольні запитання

1. Поясніть поняття «дисперсна система», «дисперсна фаза», «дисперсійне середовище».
2. Класифікація дисперсних систем за агрегатним станом та міжфазною взаємодією.
3. Охарактеризуйте методи одержання колоїдних систем. У чому їхня суть?
4. Методи диспергування одержання дисперсних систем.
5. Методи конденсації одержання дисперсних систем.
6. Фізико-хімічне диспергування (пептизація). Умови проведення пептизації.
7. Молекулярно-кінетичні властивості дисперсних систем.
8. Оптичні властивості дисперсних систем. Рівняння Релея.
9. Поняття стійкості дисперсних систем.
10. Явище коагуляції. Правило Шульце–Гарді.

## 1.7. Високомолекулярні речовини

### Класифікація ВМС за походженням, будовою і формою макромолекул

*Високомолекулярні сполуки (ВМС)* – речовини, молекули яких складаються з великої кількості атомів (тисячі і десятки тисяч), а молярна маса сягає  $10^4 \dots 10^6$  г/моль і більше. *Полімери* – ВМС, молекули яких побудовані шляхом багаторазового повторення однакових структурних одиниць.

Класифікувати полімери можна за великою кількістю ознак. Розглянемо деякі з них.

### Класифікація полімерів за походженням

– природні, ті, що отримані з природних матеріалів (целюлоза, натуральний каучук, пектин);

– штучні, ті, що одержані під час модифікування природних полімерів (нітроклітковина);

– синтетичні, ті, які одержані шляхом синтезу з мономерів (поліетилен, полістирол).

Для природних ВМС (біополімерів) притаманне постійне значення молекулярної маси. На відміну від природних, синтетичні полімери є завжди полідисперсними системами, оскільки складаються із суміші макромолекул, різних за довжиною та масою. Тому молекулярна маса таких полімерів є середнім значенням молекулярної маси усіх ланцюгів, що входять до складу макромолекули.

### **Класифікація полімерів за будовою та геометричною формою макромолекул:**

За геометричною формою та будовою усі полімери поділяють на лінійні, розгалужені та сітчасті (рис.1.19):

– лінійні, коли молекули полімеру представляють собою довгі лінійні ланцюги з високою асиметрією (асиметрія дорівнює  $n$ -ступеню полімеризації), наприклад, поліетилен, капрон та ін.;

– розгалужені, коли молекули – довгі ланцюги з боковими відгалуженнями, при цьому  $n_{\text{гол. ланцюга}} > n_{\text{біч. ланцюга}}$ , наприклад, крохмаль, прищеплені полімери, фенолформальдегідна смола;

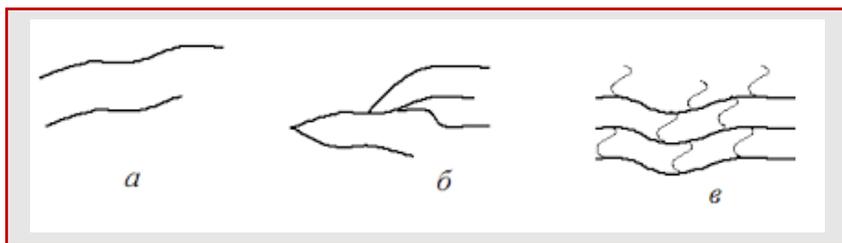


Рис.1.19. Схематичне зображення будови полімерів: 1 – лінійних; 2 – розгалужених; 3 – сітчастих.

– сітчасті (зшиті), вони побудовані з лінійних ланцюгів, які з'єднані між собою короткими поперечними зв'язками, при цьому  $n_{\text{гол. ланцюга}} > n_{\text{зшивки}}$ , наприклад, тверді фенолформальдегідні та епоксидні смоли.

Трьохмірні сітчасті полімери, наприклад, резит, вулканізований каучук, називають просторовими. Для них поняття молекулярної маси втрачає зміст, так як увесь полімер одна гігантська макромолекула.

**За формою макромолекул** розрізняють глобулярні і фібрилярні ВМС. У глобулярних ВМС, наприклад у білках, макромолекули звернуті у кулясті утворення – глобули. Фібрилярні ВМС складаються з випрямлених лінійних або слабо розгалужених макромолекул, що об'єднуються за рахунок міжмолекулярної взаємодії у пачки молекул – фібрили. Прикладом таких ВМС є клітковина.

#### **Набухання ВМС. Обмежене і необмежене набухання.**

ВМС можуть утворювати як істинні так і колоїдні розчини. Характер утвореного розчину залежить від спорідненості ВМС до розчинника. У розчинах, в яких полярність розчинника близька до полярності ВМС, відбувається істинне розчинення з утворенням молекулярних розчинів (наприклад, агар-агар або желатин у воді, каучук у неполярному розчиннику тощо). У випадку значної різниці у полярності розчинника та ВМС утворюються золі або дисперсії.

Істинному розчиненню полімерів зазвичай передує процес набухання, який полягає у збільшенні маси та об'єму полімеру за рахунок поглинання ним деякої кількості розчинника. Під час контакту полімеру з розчинником відбувається взаємна дифузія молекул розчинника в полімер і навпаки, однак швидкість дифузії в одному та іншому напрямках буде відрізнятися пропорційно розмірам та рухливості частинок. Різка відмінність у розмірах і рухливості молекул ВМС та розчинника і є причиною набухання. Кількісною характеристикою набухання є ступінь набухання  $\alpha$

$$\alpha = \frac{V - V_0}{V_0} \text{ або } \alpha = \frac{m - m_0}{m_0},$$

де  $V_0$  і  $V$ ,  $m_0$  і  $m$  – об'єми та маси вихідного полімеру до і після набухання.

Залежно від структури полімеру та температури набухання може бути обмеженим або необмеженим. Набрякання просторових ВМС звичайно закінчується утворенням драглів: такий тип набухання називають **обмеженим**. У випадку обмеженого набухання  $\alpha$  досягає певного граничного значення (рис. 1.20 крива 1), після якого набухання не залежить від часу (желатин у холодній воді, гума у бензолі).

Під час набухання лінійних полімерів відстань між макромолекулами збільшується, макромолекули починають відриватися від зразка і розподілятися в об'ємі розчинника, утворюючи розчин ВМС. Цей процес називають **необмеженим набуханням**. Для необмеженого набухання ступінь набухання спочатку набуває максимального значення (рис. 1.20. крива 2), а потім падає до нуля у наслідок поступового розчинення полімеру (наприклад, желатин у гарячій воді).

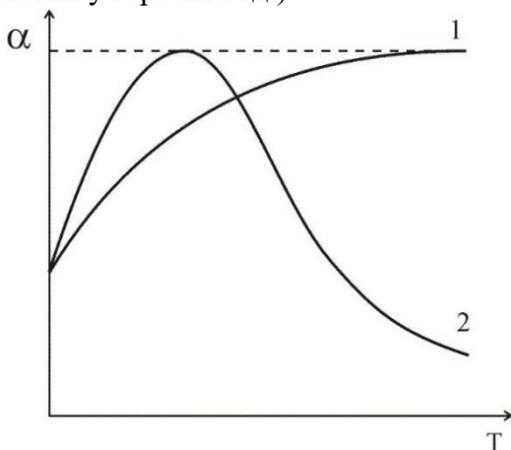


Рис. 1.20. Кінетичні криві набухання: 1 – обмежене набухання; 2 – необмежене набухання.

В основі процесу набухання лежить сольватація макромолекулярних ланцюгів. Про такий механізм набухання свідчить виділення теплоти та контракція (зменшення загального об'єму системи). Причиною контракції є орієнтація молекул розчинника в сольватних шарах.

Процес набухання проходить у дві стадії. На першій відбувається виділення теплоти набухання, спостерігають контракцію системи, однак ступінь набухання  $\alpha$  не набуває високих значень. Друга стадія майже не супроводжується контракцією та виділенням теплоти, однак спостерігають значне збільшення  $\alpha$  і об'єму полімеру, що набухає.

На процес набухання впливають ряд факторів: форма частинок,  $pH$  середовища, температура. Ступінь набухання ВМС залежить від будови (найкраще набрякають лінійні ВМС із гнучкими ланцюгами), форми макромолекул (найкраще набрякають ВМС з витягнутими макромолекулами), хімічної природи полімеру і розчинника (чим більша хімічна спорідненість розчинника і полімеру тим краще останній набухає), фізико-хімічних властивостей розчинника.

### **Фізико-хімічні властивості розчинів ВМС. Поліелектроліти**

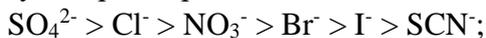
Специфічні властивості полімерів зумовлені головним чином двома особливостями: існуванням двох типів зв'язків – хімічних і міжмолекулярних, які утримують макромолекулярні ланцюги один біля одного, та гнучкістю ланцюгів, пов'язаною з внутрішнім обертанням ланок.

Найбільша *гнучкість* притаманна для полімерів, які утворені з неполярних незаміщених вуглеводнів. Введення полярних замісників (-CONH-, -CO-NH<sub>2</sub>-, -COOH, -OH, -Cl та ін.) збільшує жорсткість ланцюгів. Отже, гнучкість залежить від хімічної будови ланцюга, числа ланок у ланцюзі, а також від температури, природи розчинника і міжмолекулярних взаємодій макромолекул.

Розчини високомолекулярних сполук є істинними розчинами, вони агрегативно стійкі й зворотні, не потребують стабілізатора. Частинки в таких розчинах, складаються не з безлічі малих молекул або йонів, як у колоїдів, а є окремими молекулами. Однак розміри таких молекул є майже такими самими як і колоїдних частинок, а у деяких випадках перевершують їхні розміри. Порушити стійкість розчинів полімерів можна введенням електролітів або таких розчинників, у яких даний полімер малорозчинний (нерозчинників).

Під впливом електролітів або нерозчинників відбуваються процеси виділення ВМС із розчину – *висолювання*. Цей процес подібний до коагуляції, однак якщо для коагуляції золів потрібні незначні кількості електролітів і процес є необоротним, то для руйнування розчину ВМС потрібні великі концентрації електролітів, процес втрати стійкості є оборотним і правило Шульце-Гарді для таких систем не виконується. Концентрацію електроліту, за якої відбувається швидке осадження полімеру, називають порогом висолювання ВМС.

За висолюючою здатністю аніони та катіони можна розташувати у ліотропні ряди:



Характерною особливістю розчинів ВМС є їхнє старіння, яке виявляється у поступовій самочинній зміні в'язкості розчинів з часом.

Поліелектролітами називають ВМС, які містять у своєму складі йоногенні групи. За характером йонів, які утворюються під час дисоціації, поліелектроліти поділяють на 3 групи:

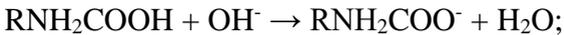
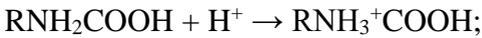
1. Поліелектроліти кислотного типу, що містять групи –  $\text{COO}^-$  (гуміарабік, альгінати, розчинний крохмаль) або  $-\text{OSO}_3^-$  (агар-агар).

2. Поліелектроліти основного типу, які містять, наприклад, групу  $-\text{NH}_3^+$ . Такі полімери одержують синтетичним шляхом.

### 3. Поліамфоліти (білки та синтетичні полімери).

Серед поліамфолітів властивості білків вивчені найбільш повно. Залежно від рН розчину макроїони білків мають позитивний заряд (в кислому середовищі за рахунок утворення груп  $-\text{NH}_3^+$ ) або негативний заряд (в лужному середовищі за рахунок утворення груп  $-\text{COO}^-$ ). Між цими станами білка існує стан, за якого число іонізованих основних груп рівне числу іонізованих кислотних груп. Такий рівнозарядний стан називають ізоелектричним, а значення рН розчину, яке відповідає такому стану – ізоелектричною точкою (ІЕТ).

Дисоціацію білка в кислому та лужному середовищах й в ізоелектричній точці відображають наступні схеми:



У зарядженому стані ланцюги білків мають витягнуту форму, а у стані ІЕТ – згортаються в клубки. В ІЕТ зменшується в'язкість розчинів білків, погіршується набухання, зменшується розчинність, електрична рухливість падає до нуля. Положення ізоелектричної точки визначають із залежності в'язкості полімеру від рН розчину (рис. 1.21).

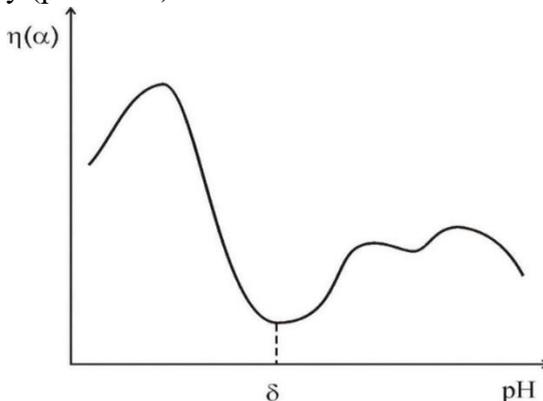


Рис. 1.21. Залежність в'язкості та набухання желатину від рН середовища.

Внаслідок теплового руху між окремими ділянками різних макромолекул утворюються зв'язки, що приводять до виникнення асоціатів. Ці зв'язки обумовлені різними взаємодіями: це можуть бути іонні, ковалентні, водневі зв'язки, а також гідрофобна взаємодія.

Асоціати не існують постійно: вони виникають в одному місці, потім розпадаються й знову утворюються в іншому. Утворення асоціатів є основною причиною аномальної в'язкості розчинів ВМС: вона набагато більша, ніж у істинних і колоїдних розчинів.

**В'язкість** можна визначити, як опір рідини взаємному переміщенню її шарів. Закон в'язкої течії рідин відкрив Ньютон: «Сила внутрішнього тертя, що виявляється під час взаємного переміщення шарів рідини, прямо пропорційна градієнту відносної швидкості цього переміщення і площині поверхні шарів». Математично **закон Ньютона** можна записати так:

$$F = \eta S \frac{dw}{dx},$$

де  $F$  – сила тертя, що діє на поверхню шару рідини у напрямку протилежному його руху;  $w$  – відносна швидкість шарів рідини площиною  $S$ , що знаходяться на відстані  $x$ ;  $\eta$  – коефіцієнт пропорційності, який називають в'язкістю.

Високу в'язкість мають полімери з довгими лінійними макромолекулами (каучук). Розчини полімерів з тією ж молекулярною масою, але сферичною формою макромолекул (глобулярні ВМР) мають меншу в'язкість. Звідси випливає, що в'язкість розчинів полімерів зростає пропорційно асиметрії їхніх молекул. В'язкість залежить також від концентрації полімеру і міжмолекулярних сил взаємодії. Для розбавлених розчинів залежність в'язкості від молекулярної маси полімеру описують рівнянням Марка – Куна – Хаувінка

$$[\eta] = kM^\alpha,$$

де  $[\eta]$  – характеристична в'язкість;  $M$  – молекулярна маса полімеру;  $k$  – константа, яка залежить від природи полімеру та розчинника;  $\alpha$  – параметр, який характеризує форму макромолекули в розчині та гнучкість ланцюгів, а також залежить від природи розчинника ( $\alpha \rightarrow 1$ , якщо молекула жорстка;  $\alpha \rightarrow 0$ , якщо молекула розгорнута).

### **Структуровані розчини ВМС. Драгли.**

Розчини ВМС, а також деякі колоїдні розчини за певних умов втрачають текучість і переходять у гелі (драгли). Драгли – це структуровані розчини ВМС з властивостями еластичних твердих тіл. Драгли утворюються під час обмеженого набряканні полімерів. Однак гель може утворитися й з розчину при збільшенні його концентрації, зниженні температури, додаванні електролітів.

Раніше вказувалося на можливість утворення зв'язку між окремими ділянками різних макромолекул з утворенням асоціатів. Якщо період існування зв'язків між макромолекулами стає більшим (наприклад, при вповільненні теплового руху або збільшенні числа зіткнень), то утвориться сітчаста структура, осередки якої заповнені розчинником.

Процес драглювання залежить від форми макромолекул, концентрації розчину, температури, рН розчину. Легше всього гелі утворюють полімери з різко вираженою асиметрією частинок.

Зі збільшенням концентрації розчину збільшується число зіткнень і, отже, можливість утворення зв'язків між макромолекулами з утворенням гелів.

Підвищення температури приводить до посилення теплового руху молекул, що перешкоджає драглюванню.

Драглювання розчинів білків легше всього йде при значенні рН, що відповідає ІЕТ, тому що при цьому по всій довжині молекулярного ланцюга розташоване однакове число протилежно заряджених груп. Зі зміною рН (в обидва боки від ІЕТ)

макромолекули здобувають однойменний заряд, що перешкоджає утворенню зв'язків між ними.

Більшість гелів при перемішуванні можуть розріджуватися, а потім у стані спокою знову драгливатись. Це явище називається тиксотропією (від грецьких слів *tixis* - струшування й *tropo* - зміна). Тиксотропні перетворення можуть бути повторені багато разів і протікають за постійної температури.

Із часом кількість зв'язків між полімерними ланцюгами в гелях збільшується. Структурна сітка гелю стискається й з нього виділяється частина розчинника, що містить незначну кількість розчиненого полімеру. Процес старіння гелю з утворенням більше щільних драглів й розбавленого розчину полімеру називається синерезисом (від грецького *sinereiso* - стягати). Вплив різних факторів на процес синерезису такий ж, як на драгливання.

### Контрольні запитання

1. Високомолекулярні сполуки. Класифікація ВМС за походженням.
2. Класифікація полімерів за будовою та формою макромолекул.
3. Особливості властивостей розчинів ВМС.
4. Набухання полімерів. Особливості процесу.
5. Обмежене та необмежене набухання. Кінетичні криві.
6. Істинні розчини ВМС. Висолювання високомолекулярних сполук.
7. Класифікація поліелектролітів. Ізоелектрична точка.
8. В'язкість розчинів полімерів. Залежність в'язкості від молекулярної маси полімеру.
9. Процес гелеутворення (драгливання).
10. Явище тиксотропії та синерезису.

## РОЗДІЛ 2

### ХІМІЯ ХАРЧОВИХ РЕЧОВИН

#### 2.1. Мінеральні речовини

##### Вода

Основною неорганічною речовиною живого організму є вода. Клітина містить від 40 % (механічна тканина рослин, жирова тканина тварин) до 99 % води (клітини медузи). Завдяки унікальним фізико-хімічним властивостям вода здійснює різноманітні функції. Півторамісячний ембріон людини містить 97,5 % води, восьмимісячний – 83 %, у немовляти вода становить 74 %, а у дорослої людини – близько 60 % маси тіла.

Уся вода, що є в організмі, поділяється на внутрішньоклітинну й позаклітинну. Обидва види води існують у двох варіантах: а) фракція води, здатна до обміну; б) фракція води, зв'язана в колоїдних системах із молекулами органічних речовин (білків, жирів, вуглеводів). У внутрішньоклітинному просторі знаходиться приблизно 28 л води, а у позаклітинному – 14 л (плазма займає 4 л, а мезенхімальна рідина, що заповнює міжклітинний простір, – 10 л). Таким чином, близько 20 % загальної маси тіла складає позаклітинна рідина.

Добове споживання води становить у середньому 2,5 л, і стільки ж води виділяється назовні головним чином із сечею. Тканини й клітини використовують два види води: екзо- та ендогенну. Потреба організму у воді залежить від низки факторів, серед яких основними є вік, інтенсивність обмінних процесів, м'язова діяльність, функціональний стан нирок, температура навколишнього середовища та тіла, склад їжі тощо. Доросла людина потребує в середньому 40 г води на 1 кг маси тіла, для дитячого організму ця величина приблизно втричі вища — від 70 до 150 г на 1 кг маси тіла. За добу до організму в нормальних умовах надходить близько 2,5 л води, включаючи екзо- й ендогенну. Екзогенна

(зовнішня) надходить із продуктами харчування та напоями. Ендогенна (внутрішня) засвоюється в організмі при розпаді білків, вуглеводів і особливо жирів. Зокрема, при окисненні 100 г жиру утворюється 107 мл води, 100 г білка – 41 мл води, 100 г вуглеводів – 55 мл води.

Вода не є поживною речовиною, але вона життєво необхідна, як стабілізатор температури тіла, переносник нутрієнтів (поживних речовин) і травних відходів, реагент і реакційне середовище в ряді хімічних перетворень. Крім того, вода формує органолептичні показники продукту.

Вміст вологи (%) у харчових продуктах змінюється в широких межах: від 5 – 15% в борошні, сухому молоці, маслі, маргарині до 85 – 95% у молоці, фруктах, овочах, пиві, соках.

Питна вода повинна мати наступні властивості, визначені державними стандартами:

- хороші органолептичні властивості (прозорість, відносно низька температура, хороший освіжаючий смак, відсутність запахів, неприємних присмаків, забарвлень, видимих неозброєним оком включень та ін.);
- оптимальний природний мінеральний склад, який забезпечує хороші смакові якості води, отримання деяких необхідних організму макро- і мікроелементів;
- токсикологічна нешкідливість (відсутність токсичних речовин в шкідливих для організму концентраціях);
- епідеміологічна безпечність (відсутність збудників інфекційних захворювань, гельмінтозів тощо);
- радіоактивність в межах встановлених рівнів.

### **Мінеральні речовини**

В організмі людини виявлено понад сімдесят хімічних елементів (рис. 2.1). Загальна кількість мінеральних речовин в організмі людини складає близько 4,5 % його маси.

За кількісним вмістом вирізняють 2 групи хімічних елементів, поділені на підгрупи:



Рис. 2.1. Основні макро- і мікроелементи (<https://mega-mass.ua/uk/blog/scho-take-makro-ta-mkroelementi-hnya-rol-v-organzm-ta-chi-mozhna-nimi-nehtuvati/>).

1. Макроелементи із вмістом в організмі більше 0,01% маси тіла.

А. Макробиогенні, вміст більше 1% (Оксиген, Карбон, Гідроген, Нітроген, Кальцій, Фосфор).

Б. Олігобиогенні, вміст від 0,01 до 1% (Натрій, Калій, Хлор, Сульфур, Магній).

2. Мікроелементи із вмістом менше 0,01% маси тіла.

А. Мікробіогенні, вміст їх в організмі менше 0,01% (Ферум, Цинк, Манган, Купрум, Фтор, Бром, Йод, Кобальт).

Б. Ультрабіогенні, вміст їх в організмі складає 10-4-10-6% від маси тіла (Бор, Літій, Алюміній, Кремній, Хром та ін.).

Організм людини містить мінеральні солі. Ці неорганічні речовини підтримують в середині клітини стан рН, забезпечують її нормальне функціонування, утворюють опорні органи, хітиновий панцир, кістки. В цитоплазмі клітин більшість солей знаходиться в дисоційованому стані в вигляді катіонів і аніонів.

В організмі мінеральні речовини містяться в протоплазмі і біологічних рідинах, відіграють основну роль у забезпеченні сталості осмотичного тиску в клітинах і тканинах. Вони входять до складу органічних сполук (наприклад гемоглобіну, гормонів, ферментів), є пластичним матеріалом для побудови кісткової і зубної тканини. У вигляді іонів мінеральні речовини беруть участь у передачі нервових імпульсів та інших фізіологічних процесах організму.

Залежно від кількості мінеральних речовин в організмі людини і харчових продуктах їх поділяють на макро- і мікроелементи. Так, якщо масова частка елемента в організмі перевищує  $10^{-2}$  %, то його слід вважати **макроелементом**. Частка **мікроелементів** в організмі становить  $10^{-5}$ – $10^{-3}$  %. Якщо вміст елемента нижче  $10^{-5}$  %, його вважають ультрамікроелементом.

До найбільш дефіцитних мінеральних речовин у харчуванні сучасної людини відносяться кальцій і залізо, до надлишкових – натрій і фосфор.

Дефіцит мінеральних речовин, як правило, пов'язаний з незбалансованим харчуванням. Однак порушення обміну мінеральних речовин може мати місце навіть при їх достатній кількості в їжі. Це відбувається у разі:

а) застосування методів кулінарної обробки харчових продуктів, які обумовлюють втрати мінеральних речовин,

наприклад, при розморожуванні в гарячій воді або при видаленні відварів овочів і фруктів, куди переходять розчинні солі;

б) відсутність своєчасної корекції складу раціонів при зміні потреби організму в мінеральних речовинах, пов'язаної з фізіологічними причинами. Так, наприклад, у людей, що працюють в умовах підвищеної температури зовнішнього середовища, збільшується потреба в калії, натрії, хлорі та інших мінеральних речовинах у зв'язку з тим, що більша їх частина виводиться з організму з потом;

в) порушення процесу всмоктування мінеральних речовин в шлунково-кишковому тракті або підвищення втрат рідини (наприклад, крововтрати).

### **Фізіологічна роль окремих макроелементів**

*Кальцій.* Це основний структурний компонент кісток і зубів; необхідний для згортання крові, бере участь у регуляції проникності клітинних мембран, в молекулярному механізмі м'язових скорочень. Кальцій належить до елементів, які важко засвоюються.

При недостатньому споживанні кальцію або при порушенні всмоктування його в організмі спостерігається підвищене виведення його з кісток і зубів. У дорослих розвивається остеопороз – демінералізація кісткової тканини, у дітей порушується становлення скелета, розвивається рахіт.

Кращими джерелами кальцію є молоко і молочні продукти, різні сири, зелена цибуля, петрушка, квасоля.

*Магній.* Цей елемент необхідний для активності ряду ключових ферментів, бере участь у підтримці нормальної функції нервової системи і м'яза серця; має судинорозширюючу дію; стимулює жовчовиділення; підвищує перистальтику (рухову активність) кишковика. При нестачі магнію порушується засвоєння

їжі, затримується ріст, в стінках судин відкладається кальцій, розвивається ряд інших патологічних явищ.

Магнієм багаті в основному рослинні продукти: пшеничні висівки, різні крупи, бобові, урюк, курага, чорнослив.

*Калій.* Він разом з іншими солями забезпечує осмотичний тиск; бере участь у регуляції водно-сольового обміну; кислотно-лужної рівноваги; сприяє виведенню води і шлаків з організму; бере участь у регуляції діяльності серця та інших органів. Він добре всмоктується з кишковика, а надлишок калію швидко видаляється з організму з сечею. Багатими джерелами калію є рослинні продукти: урюк, чорнослив, родзинки, шпинат, морська капуста, квасоля, горох, картопля та ін.

*Натрій.* Він бере участь у підтримці осмотичного тиску в тканинних рідинах і крові; водно-сольового обміну; кислотно-лужної рівноваги. Цей нутрієнт легко всмоктується з кишковика. Іони натрію викликають набухання колоїдів тканин. В основному іони натрію надходять в організм за рахунок кухонної солі – NaCl. При надмірному споживанні хлористого натрію відбувається затримка води в організмі ускладнюється діяльність серцево-судинної системи, підвищується кров'яний тиск.

Доросла людина щодня споживає до 15 г кухонної солі. Цей показник без шкоди для здоров'я можна знизити до 5 г на добу.

*Фосфор.* Цей елемент бере участь у всіх процесах життєдіяльності організму: регуляції обміну речовин; входить до складу нуклеїнових кислот; необхідний для утворення АТФ. У тканинах організму і харчових продуктах фосфор міститься у вигляді фосфорної кислоти та її органічних сполук (фосфатів). Основна його маса знаходиться в кістковій тканині у вигляді фосфорнокислого кальцію. При тривалому дефіциті фосфору в харчуванні знижується розумова і фізична працездатність.

Велика кількість фосфору міститься в продуктах тваринного походження, особливо в печінці, ікрі, а також в зернових і бобових.

*Сульфур.* Значення цього елемента в харчуванні визначається, в першу чергу, тим, що він входить до складу білків у вигляді сірковмісних амінокислот (метіоніну та цистеїну), а також є складовою частиною деяких гормонів і вітамінів.

Вміст сірки зазвичай пропорційний вмісту білків у харчових продуктах, тому її більше в тваринних продуктах, ніж у рослинних.

*Хлор.* Цей елемент бере участь в утворенні шлункового соку, формуванні плазми. Цей нутрієнт легко всмоктується з кишковика. Надлишок хлору накопичується в шкірі. Добова потреба в хлорі становить приблизно 5г. Хлор надходить в організм людини в основному у вигляді хлористого натрію.

### **Роль окремих мікроелементів**

*Ферум.* Цей елемент необхідний для біосинтезу сполук, забезпечує дихання, кровотворення; він бере участь в окисновідновних реакціях; входить до складу цитоплазми, клітинних ядер. Потреба дорослої людини у Ферумі з надлишком задовольняється звичайним раціоном. У легкозасвоюваній формі залізо міститься тільки в м'ясних продуктах, печінці, яєчному жовтку.

*Купрум.* Купрум відіграє роль в утворенні еритроцитів, розвитку скелета, центральної нервової системи та сполучної тканини. Зазвичай Купрум сполучений з білками, що входять до складу еритроцитів і плазми крові.

Купрум широко поширений в харчових продуктах і в достатку забезпечується добовим раціоном. Надмірне споживання Купрум призводить до подразнення і роз'їдання слизових оболонок, ураження капілярів, печінки і нирок.

*Йод.* Йод є необхідним елементом, бере участі в утворенні гормону тироксину. При недостатності йоду розвивається зобна хвороба – захворювання щитовидної залози. Добова потреба в йоді

часто не забезпечується добовим раціоном. Найбільш багаті йодом продукти моря.

*Фтор.* Фтор бере участь у формуванні зубної емалі і входить до складу скелета. Для людини і нестача і надлишок фтору погано. У першому випадку відбувається руйнування зубної емалі. При надлишку фтору в організмі його солі накопичуються в кістках, що призводить до остеохондрозу, тобто огрубінню суглобів, утворення кісткових наростів.

Для профілактики і лікування карієсу зубів використовують різні зубні пасти, порошки, еліксири, жувальні гумки тощо, які містять фтор.

*Цинк.* Даний мікроелемент бере участь у біосинтезі білка і метаболізмі нуклеїнових кислот. Цинк дуже важливий для процесів травлення і засвоєння поживних речовин, так як цинк забезпечує синтез найважливіших травних ферментів у підшлунковій залозі. Добова потреба в цинку цілком задовольняється звичайним раціоном. Переважно міститься в тваринних продуктах, а також у бобових.

*Селен і молібден* входять до складу ферментів оксидоредуктаз, селен сприяє засвоєнню йоду. Молібден гальмує розвиток карієсу.

Селеном багаті зернові продукти, м'ясо (особливо субпродукти), продукти моря. Найбільш багаті молібденом різні види овочів (наприклад бобові) і внутрішні органи тварин.

### **Вплив технологічної обробки харчових продуктів на їх мінеральний склад**

Під час технологічної переробки харчової сировини зменшується вміст мінеральних речовин (крім випадків з додаванням харчової солі).

Деяка частина мінеральних речовин втрачається з відходами. Наприклад, у крупах і борошні після відповідної

обробки зерна вміст мінеральних речовин зменшується так як у видалених оболонках і зародку цих компонентів більше, ніж у цілому зерні.

Так, в зерні пшениці і жита вміст вільних елементів складає біля 1,7%, а в борошні в/с – 0,5%, обойному – 1,5%.

При очищенні овочів і картоплі втрачається 10-30% мінеральних речовин.

Якщо їх піддають тепловій кулінарній обробці, то в залежності від технології (варіння, тушкування, смаження) втрачається від 5 до 30%.

М'ясні, рибні і пташині продукти, в основному, втрачають макроелементи (Са і Р) під час відділення м'якоти від кісток.

У випадку теплової кулінарної обробки (варіння, смаження, тушкування) м'ясо втрачає від 5 до 50% мінеральних речовин. Але якщо обробку вести в присутності кісток, вміст Са можливо підвищити на 20%.

В технологічних процесах за рахунок неякісного металу устаткування в кінцевий продукт може переходити деяка його кількість. Так, під час виробництва хліба, а саме тістоприготування в результаті його контакту з устаткуванням вміст феруму може підвищуватися до 30%. Це процес небажаний, оскільки із ферумом можуть переходити і токсичні елементи, які є в цьому устаткуванні.

Тривале зберігання консервів у жерстяних банках (спаяних) приводить до переходу в продукт таких токсичних елементів як плюмбум, станум, кадмій. Але це відбувається у разі неякісного припою, чи порушенні захисного шару лаку.

Слід пам'ятати, що ряд металів (Fe, Cu) навіть у невеликих кількостях можуть визвати небажане окиснення продуктів, особливо це стосується жирів і жировмістних продуктів. Наприклад, при концентрації заліза 1,5 мг/кг і міді 0,4 мг/кг за тривалого зберігання вершкового масла і маргаринів ці метали викликають їх згіркнення.

## Контрольні запитання

1. Вкажіть значення води для життєдіяльності організму людини.
2. Проаналізуйте вміст води у продуктах харчування.
3. Які вимоги до якості питної води.
4. Які зміни відбуваються при кип'ятінні води?
5. Скільки води потрібно споживати щоденно?
6. Назвіть основні макро- і мікроелементи.
7. Які патології зумовлює дефіцит окремих мінеральних елементів у харчовому раціоні?
8. Яке значення має кухонна сіль (натрій хлорид)?
9. Проаналізуйте вміст мікроелементів у вашому щоденному раціоні.
10. Як впливає на організм людини надлишок мікроелементів.

## 2.2. Жири

### Жири: класифікація і будова

Жири або ліпіди – різноманітні за своєю будовою та функціями біоорганічні сполуки, що належать до класу естерів. Основною фізичною властивістю жирів є нерозчинність у полярних розчинниках, зокрема у воді (гідрофобність) і добра розчинність в неполярних органічних розчинниках (ацетоні, хлороформі, діетиловому ефірі тощо). Специфічними характеристиками жирів є зовнішній вигляд, колір, запах, консистенція.

Під час змішування жирів із водою утворюються емульсії, стійкість яких залежить від низки факторів. Речовини-емульгатори (наприклад, мила, жовчні кислоти, карбонати лужних металів) збільшують стійкість емульсій. Утворення емульсій зумовлене тим, що в поверхневий водяний шар, який оточує жирові краплинки, спрямовуються поверхнево-активні частинки жовчних кислот,

мила, карбонату, котрі обволікають краплинки жиру і перешкоджають їх злиттю.

Ліпіди переважно є складними естерами спиртів та вищих аліфатичних (жирних) кислот (ВЖК). До їхнього складу входять насичені і ненасичені жирні кислоти (найбільш часто зустрічаються пальмітинова, стеаринова і олеїнова кислоти). Вищі жирні кислоти містять понад десять атомів Карбону, можуть бути насиченими або мати у своєму складі подвійні зв'язки (рис. 2.2). ВЖК, що знаходяться у природі, мають парну кількість атомів Карбону, зигзагоподібну конформацію радикала, для ненасичених подвійні зв'язки розділені метиленовими групами. Саме від подвійних зв'язків у молекулі залежать всі основні властивості ненасичених жирних кислот. Лінолева, ліноленова і араходонова кислоти є незамінними (есенціальними) для організму людини, входять до складу вітаміну F. Арахідонова кислота – поліненасичена ВЖК, з якої в організмі синтезуються тканинні гормони.

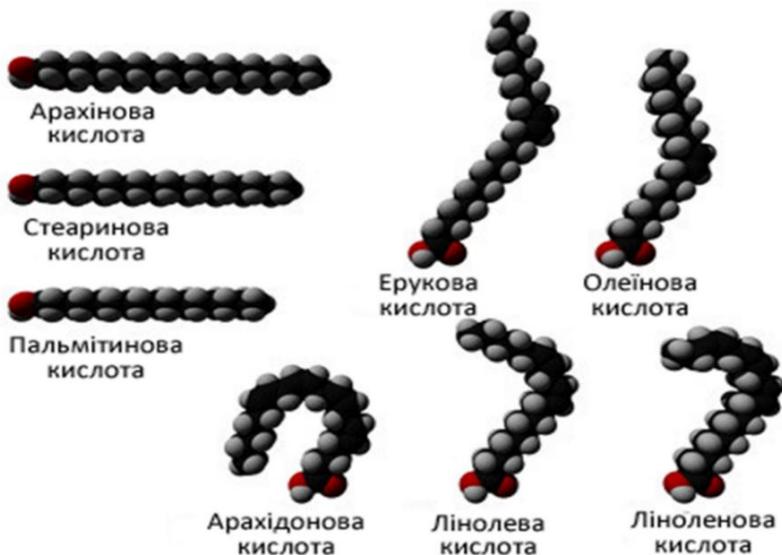
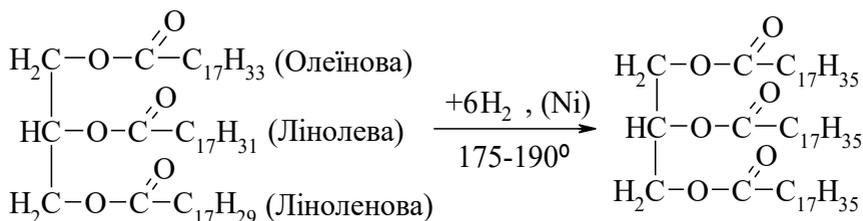


Рис. 2.2. Структурні моделі вищих жирних кислот.

Тваринні жири (яловичий, баранячий, свинячий) – тверді, вони містять в основному залишки насичених кислот (пальмітинової і стеаринової). Рослинні жири (олії) – рідини, молекули яких містять переважно залишки ненасичених кислот (олеїнової, лінолевої, ліноленової) та деяких інших. Консистенція жирів, тобто ступінь їх густини або м'якості залежить від співвідношення насичених і ненасичених кислот, які входять до складу жирів.

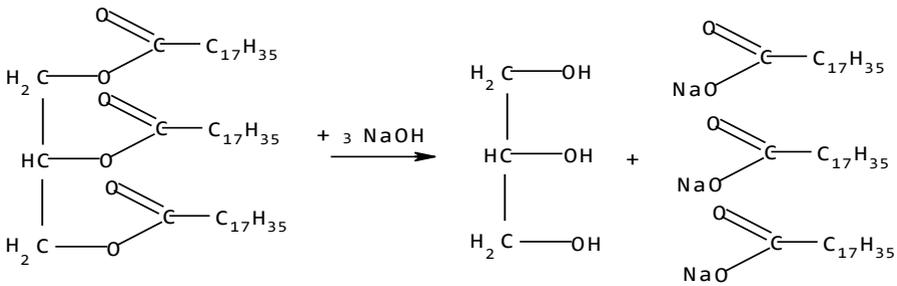
Гідрогенізація жирів – це процес приєднання водню до залишків ненасичених кислот, які входять до складу жирів, в результаті чого ці залишки переходять в залишки насичених кислот. А жири при цьому з рідких перетворюються на тверді. Найчастіше гідрують соняшникову, соєву, арахісову олії. Гідрування приводить до зміни жирнокислотного складу жирів та олій і дозволяє одержати продукт із більшою температурою топлення, твердістю, стійкістю до окиснення, пластичністю.

Реакцію здійснюють воднем під час нагрівання до 180...240 °С за наявності каталізаторів (подрібнений нікель). Змінюючи відповідно умови реакції, можливо здійснювати гідрування селективно, тобто гідрувати спочатку залишки ліноленової кислоти, потім лінолевої і, якщо треба – олеїнової кислоти.



Жири під дією луку гідролізуються, утворюючи мила та гліцерол:





Ліпіди поділяються на прості (побудовані лише зі спирту та ВЖК) та складні (містять ще додаткові компоненти – фосфат, вуглеводи, аміноспирти, амінокислоти). Нейтральні ліпіди (тригліцериди, триацилгліцероли) побудовані з трьохатомного спирту гліцерину та ВЖК. За хімічною будовою та властивостями вирізняють три групи ліпідів: нейтральні ліпіди, фосфоліпіди, сфінголіпіди. За іншою класифікацією ліпіди поділяють на прості (нейтральні жири (ацилгліцероли), воски, ефіри холестеролу), складні (фосфоліпіди – гліцерофосфоліпіди й сфінгофосфоліпіди, та гліколіпіди – гліцерогліколіпіди й сфінгогліколіпіди) та похідні ліпідів (жирні кислоти, жовчні кислоти, стероїдні гормони, холекальциферол, ейкозаноїди).

Похідні гліцеролу та вищих жирних кислот, спиртів і альдегідів належать до нейтральних ліпідів, або жирів. Це триацилгліцероли, алкілацилгліцероли, нейтральні плазмалогени, діольні ліпіди, гліколіпіди та інші ліпіди, молекули яких не містять заряджених чи полярних функціональних груп. До цієї ж групи належать і етери холестеролу. Нейтральні ліпіди (триацилгліцероли) виконують в організмах низку функцій, основною з яких є резервна, або енергетична. Жири, що синтезуються рослинами, зберігаються в цитоплазмі їхніх клітин у формі дрібнодисперсних емульгованих маслянистих крапельок завдяки гідрофобності.

## Біологічна цінність ліпідів та функції

В організмі дорослої людини середньої ваги майже 15% маси тіла припадає на жирову тканину, яка може акумулювати до 9-10 кг триацилгліцеролів. При повному окисненні такої кількості жиру звільнилося би більше 350 тисяч кДж енергії. Окрім енергетичної, нейтральні ліпіди виконують в організмі тварин ще низку важливих функцій. Утворюючи амортизаційний і теплоізолюючий шар під шкірою та навколо внутрішніх органів, жири здійснюють захисну функцію. Похідні холестеролу, вищих жирних кислот чинять регуляторну дію. При окисненні 1 г жиру утворюються 38,9 кДж (9 ккал) енергії і 1 г ендогенної води, що забезпечує потреби організму. Це має особливе значення в екстремальних умовах (наприклад, при недостатньому надходженні питної води з продуктами харчування). Тому ліпіди є важливими компонентами регулювання обміну води в організмі.

Жири є розчинниками гідрофобних вітамінів А, D, Е, К та сприяють їх засвоєнню. Із харчовими жирами в організм людини надходить багато біологічно активних речовин: фосфатиди, поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК), стерини й ін. Жири, що входять до складу їжі, поліпшують її смакові якості, а також підвищують поживну та енергетичну цінність.

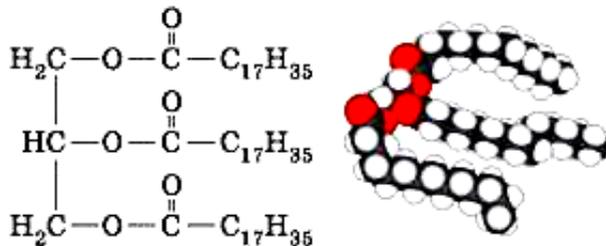


Рис. 2.3. Структура молекули тристеарату гліцеролу.

У організмі людини неможливий синтез лінолевої і ліноленової кислот, тому вони повинні надходити з їжею. Тому їх

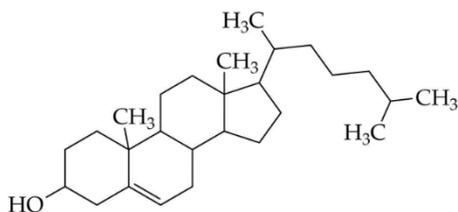
відносять до есенціальних факторів харчування. Всі інші поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК) утворюються шляхом подовження ланцюга або введення нових подвійних зв'язків.

ПНЖК беруть участь як структурні елементи у фосфатидах, ліпопротеїнах клітинних мембран, входять до складу оболонки нервових волокон, сполучної тканини, впливають на обмін холестерину, підвищуючи його окислювання і сприяючи перетворенню в лабільну сполуку. ПНЖК також нормалізують стан стінок кровоносних судин. Ці кислоти сприяють обміну вітамінів групи В (піридоксину і тіаміну), стимулюють захисні механізми організму, підвищують його стійкість до інфекційних захворювань і дії радіації, впливають на стан шкірного і волосяного покриву.

Завдяки наявності у молекулах гліцерофосфоліпідів гідрофобних (радикали жирних кислот) і гідрофільних (фосфорна кислота, азотиста основа) груп вони взаємодіють і з жирами, і з водорозчинними сполуками. У комплексі з білками ці речовини входять до складу нервової тканини, печінки, серцевого м'яза, статевих залоз. Вони беруть участь у побудові клітинних мембран, забезпечують ступінь їхньої проникності для гідрофобних речовин, беруть участь в активному транспорті складних речовин і окремих іонів у клітині і з них, підвищують активність протромбіну в процесах згортання крові.

Гліцерофосфоліпіди сприяють кращому використанню білка і жиру в тканинах, беруть участь у біосинтезі білка, попереджають жирову інфільтрацію печінки. Вони запобігають окислюванню інших сполук, у тому числі вітамінів А і Е, тобто є антиоксидантами. Добова потреба людини у фосфоліпідах становить 5...6 г. Вони містяться в таких харчових продуктах, як нерафіновані рослинні олії, вершкове масло, яєчний жовток.

До стероїдів належать естери, утворені при взаємодії високомолекулярних циклічних спиртів і вищих жирних кислот. Найвідомішим представником стероїдів є холестерол (холестерин).



В організмі він є попередником багатьох біологічно важливих сполук (стероїдних гормонів, жовчних кислот, вітаміну D), входить до складу клітинних мембран, підвищує стійкість еритроцитів до гемолізу, бере участь у проведенні нервових імпульсів. Однак надлишок холестеролу може призвести до утворення холестеролових бляшок в судинах і зумовити їх закупорку при інфаркті чи інсульті.

### **Пероксидне окиснення ліпідів. Антиоксиданти.**

Мононенасичені (олеїнова) та поліненасичені (лінолева і ліноленова) кислоти, що входять до складу клітинних мембран, є першочерговими мішенями для дії вільних радикалів. У результаті реакцій біотрансформації відбувається низка перетворень, у результаті яких утворюється дві родини ПНЖК:

Родина  $\omega$ -3: ліноленова – ейкозапентаєнова – докозапентаєнова – докозагексаєнова, які мають перший подвійний зв'язок у 3-му положенні від метильного кінця молекули.

Родина  $\omega$ -6: лінолева -  $\gamma$ -лінолева – арахідонова, які мають перший подвійний зв'язок у 6-му положенні від метильного кінця молекули.

Олеїнова кислота, що має лише один подвійний зв'язок, найбільш стійка до вільнорадикального окислення. Інші кислоти легко окислюються під впливом кисню, світла, тепла, іонів важких металів. Чим вищий ступінь ненасиченості жирних кислот (докозагексаєнова має 6 подвійних зв'язків), тим менший рівень їхнього антиоксидантного захисту і тим швидше вони вступають у реакції перекисного окислення ліпідів.

Внаслідок цих реакцій утворюються токсичні продукти – перекиси ліпідів, альдегіди, кетони, які вступають в реакції з біологічно активними речовинами організму людини (ферментами, гормонами, вітамінами) та інактивують їх. Кислоти родин  $\omega$ -3 і  $\omega$ -6 особливо важливі як у раціоні харчування, так і в складі біологічних мембран. Країни Європейського союзу останніми роками нормують не кількість жирів у раціоні, а лише найбільш біологічно цінні ПНЖК. За цими нормами вміст кислот родини Омега-шість у харчовому раціоні має становити 2 % від його енергетичної цінності, а кислот родини Омега-три 0,5 %.

Основним джерелом перекисів ліпідів є харчові жири, що окислились під час зберігання та при термічному обробленні. І що більший ступінь ненасиченості кислот, то краще вони окислюються. Такі трансформовані жири корисні організму не приносять, а можуть навіть становити загрозу для здоров'я. Тобто, з одного боку, організм потребує ненасичених жирних кислот (лінолевої, ліноленової, арахідонової), а з іншого – надмірне їх споживання значно підвищує здатність ліпідів тканин до окислення.

### **Жири як продукти харчування**

Цінність жиру визначається такими важливими показниками, як незамінність, перетравлення та всмоктування. Важливим технологічним та споживчим показником є також температура плавлення. Жири, які містять незамінну лінолеву кислоту та інші, мають найбільшу біологічну цінність, оскільки в організмі вони практично не синтезуються.

Важливим показником біологічної цінності жирів є їхнє перетравлення, яке визначається кількістю тригліцеридів, що всмокталися в лімфу та кров. Більшість природних жирів в організмі людини характеризується високим коефіцієнтом перетравлення.

Усмоктуваність жиру залежить від складу жирних кислот. Засвоюваність жирів з температурою плавлення, нижчою, ніж температура людського тіла, дорівнює 97...98%, якщо ж цей

показник вище 37 °С, то засвоюваність жирів дорівнює 90%. Жири з температурою плавлення 50...60 °С засвоюються тільки на 70...80%.

У випадку змішаного харчування засвоюється 96...98% свинячого жиру, 94...98% маргарину, 93...98% вершкового масла, 86...90% соняшникової олії, 80...94% яловичого жиру.

Показниками біологічної цінності жирів є також наявність в їхньому складі вітамінів А, D, Є. Тому вершкове масло, яке містить ці вітаміни, є продуктом високої біологічної цінності. Воно може бути замінене тільки риба'чим жиром, бо до його складу також входять ретинол та кальциферол.

В оліях містяться токофероли, в інших жирах вони практично відсутні. Отже, не існує природного харчового жиру, який містив би всі потрібні ліпіди. Біологічна цінність жирової частки раціону може бути забезпечена тільки відповідною сумішшю жирів. Якість і чистоту жирів визначають фізичні та хімічні константи. До фізичних констант належать густина, температура плавлення та застигання, коефіцієнт рефракції (для рідких жирів); а до хімічних констант — числа омилення, йодне, кислотне, пероксидне та деякі інші показники.

### **Контрольні запитання**

1. До якого класу органічних сполук належать жири?
2. Фізичні властивості жирів.
3. Які речовини сприяють емульгуванню жирів?
4. Які харчові продукти містять жири?
5. Вкажіть відмінності у будові рідких і твердих жирів.
6. Які жирні кислоти є незамінними?
7. Які речовини утворюються у результаті омилення жирів?
8. Кислоти родини  $\omega$ -6 і  $\omega$ -3, їх значення для організму людини.
9. Які процеси відбуваються при старінні жирів?
10. Процеси гідрогенізації жирів.

## 2.3. Вуглеводи

### Загальна характеристика вуглеводів, роль у живій природі.

Вуглеводи – біохімічні сполуки, первинні продукти фотосинтезу, що утворюються у рослинах з вуглекислого газу і води під дією сонячного світла. У зелених частинах рослин вміст вуглеводів становить 2,5...6 %, у бульбах картоплі і коренеплодах – 10...20 %, у зернах злаків – до 70 %. Загалом вуглеводи становлять 80...90 % рослин у сухому вигляді. У складі організму людини і тварин вуглеводи становлять усього приблизно 2 % від маси сухих речовин, що значно менше, аніж білків та ліпідів.

Вуглеводи відкладаються в організмі у вигляді глікогену, який в основному зосереджений у печінці й м'язах. Це резервний вуглевод, що витрачається за необхідності при недостатньому надходженні вуглеводів у кров. При повноцінному харчуванні в печінці може накопичуватися до 10 % глікогену від маси печінки, у м'язах – до 2 %, а під час голодування запаси глікогену знижуються до 0,2 %.

Вуглеводи на 60% забезпечують організм енергією, тому є основним компонентом харчування людини. При окиснюванні 1 г вуглеводів виділяється близько 4 ккал енергії. Вуглеводи беруть участь у синтезі багатьох речовин, необхідних для життєдіяльності організму, таких, як нуклеопротейни, ліпоїди, складні ферменти, мукополісахариди й ін. Численні залози продукують густі секрети (слизи), багаті на мукополісахариди. Вони охороняють стінки органів від механічних ушкоджень та від проникнення патогенних бактерій і вірусів.

Важливе значення у харчуванні має клітковина, яка не перетравлюється організмом людини. Потрапляючи з їжею в шлунково-кишковий тракт, вона завдяки волокнистій структурі викликає механічне подразнення стінок шлунка і кишечника, підвищує їхню активність і сприяє спорожнюванню. Добова

потреба людини у харчових волокнах складає 20 – 25 г. Недостатність у раціоні харчових волокон призводить до порушення обміну речовин, погіршення травлення та загального ослаблення організму.

Вуглеводи за харчовою цінністю поділяються на ті, що перетравлюються в організмі, і баластні речовини. До першого типу вуглеводів відносяться моносахариди, олігосахариди і полісахариди – глікоген, декстрини, крохмаль. До баластних речовин або харчових волокон відносяться такі полісахариди, як клітковина, геміцелюлози, пектинові речовини, інулін, гуми, слизи.

Під час зберігання харчової сировини, її технологічної переробки у готові продукти моносахариди та олігосахариди підлягають різним перетворенням. Це процеси кислотного, ферментного гідролізу оліго- та полісахаридів, бродіння моносахаридів, мелаїдиноутворення та карамелізація моносахаридів і дисахаридів.

За хімічною будовою вуглеводи поділяють на три основні групи: моносахариди, олігосахариди й полісахариди.

### **Моносахариди.**

Моносахариди є похідними багатоатомних спиртів і мають склад  $C_nH_{2n}O_n$ . Вуглеводи, окрім гідроксильних, містять карбонільну групу (альдегідну або кетонну). За функціональними групами вони поділяються на альдози і кетози. Моносахариди відрізняються різним характером будови і просторовим розташуванням функціональних груп.

Моносахариди зазвичай містять від 3 до 9 атомів вуглецю, причому найбільш поширеними у природі є пентози  $C_5H_{10}O_5$  і гексози  $C_6H_{12}O_6$ . Серед моносахаридів найпоширенішими є глюкоза, фруктоза, галактоза, арабіноза, ксилоза і D-

рибоза. Структурні формули окремих моносахаридів наведено на рис. 2.4.

Завдяки наявності у молекулах моносахаридів гідроксильних і карбонільної груп вони знаходяться зазвичай в таутомерній рівновазі зі своєю циклічною формою. Таутомерні циклічні форми цукрів є внутрішніми напівацеталами. У результаті утворення циклічної молекули з'являється новий асиметричний атом Карбону, який називають глікозидним (або аномерним). Гідроксильна група біля цього атома має більшу реакційну здатність, аніж інші.

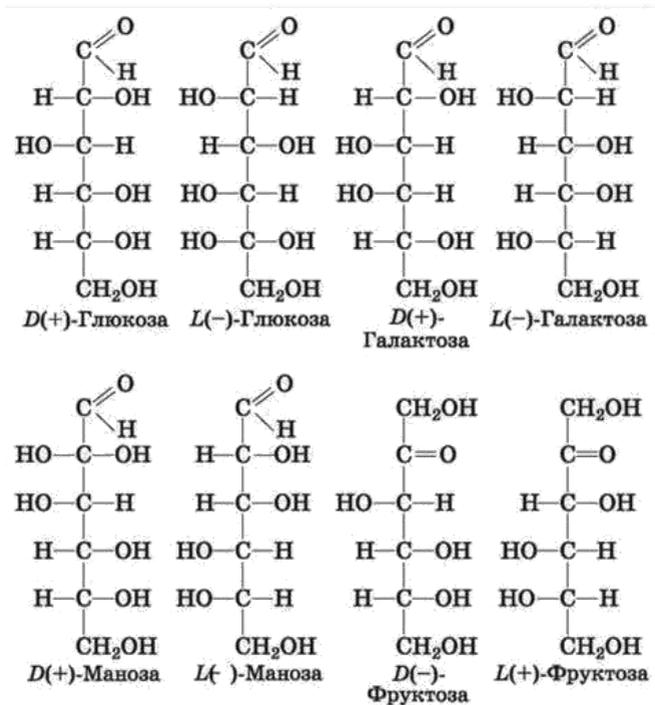


Рис. 2.4. Найпоширеніші моносахариди.

*Глюкоза* (виноградний цукор) – альдогексоза, що у вільному стані міститься в ягодах і фруктах (у винограді до 8%; у

сливі, черешні – 5...6 %; у меді – 36 %). З молекул глюкози побудовані крохмаль, глікоген, мальтоза; глюкоза є складовою частиною сахарози, лактози.

*Фруктоза* (плодовий цукор) – кетогексоза, міститься у бджолиному меді (до 37%), винограді (7,7%), яблуках (5,5%); є складовою частиною сахарози.

*Галактоза* – складова частина молочного цукру (лактози), яка міститься в молоці ссавців, рослинних тканинах, насінні.

*Арабіноза* міститься в хвойних рослинах, у буряковому жомі, входить до складу пектинових речовини, слизу, гуми (камедь), геміцелюлози.

*Ксилоза* (деревний цукор) міститься у бавовняному лушпинні, кукурудзяних початках. Ксилоза входить до складу пентозанів.

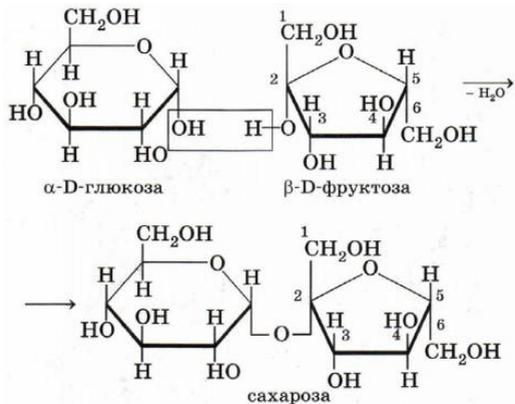
Серед моносахаридів особливе значення має Д-рибоза – універсальний компонент рибонуклеїнової (РНК) і дезоксирибонуклеїнової (ДНК) кислот – головних біологічно активних молекул, відповідальних за передачу спадкової інформації. Рибоза є складовою частиною аденозинтрифосфату АТФ і аденизидифосфату АДФ, молекул, які акумулюють і переносять хімічну енергію у будь-якому живому організмі. Заміна в АТФ одного з фосфатних залишків на піридиновий фрагмент призводить до утворення речовини, що бере безпосередню участь в перебігу життєво важливих окиснювально-відновних процесів.

## **Олігосахариди**

Молекули олігосахаридів утворені конденсацією від 2 до 10 залишків моносахаридів, які з'єднані глікозидними зв'язками. До них належать дисахариди, трисахариди і т.п.

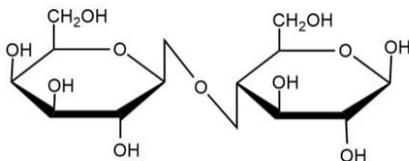
Дисахариди – складні цукри, кожна молекула яких при гідролізі розпадається на дві молекули моносахаридів. Емпірична формула дисахаридів, утворених гексозами,  $C_{12}H_{22}O_{11}$ . Серед

дисахаридів найбільше значення мають мальтоза, лактоза, сахароза, целобіоза. Разом із полісахаридами дисахариди є основними вуглеводами в їжі людини і тварин.



Сахароза – дисахарид, молекула якого складається з одного залишку  $\alpha$ -D-глюкози і одного залишку  $\beta$ -D-фруктози. На відміну від більшості дисахаридів, сахароза не має вільного напівацетального гідроксилу, тому й не проявляє відновлювальних властивостей. Харчовий цукор (тростинний або буряковий) – це сахароза.

Лактоза (лат. lactis — молоко) молочний цукор, вуглевод групи дисахаридів, міститься в молоці і молочних продуктах. Молекула лактози складається із залишків молекул  $\alpha$ -D-глюкози і  $\alpha$ -D-галактози, має відновлювальні властивості.



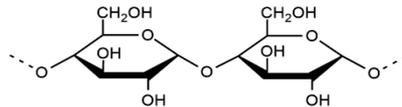
Серед природних трисахаридів найбільш відомою є рафіноза, до складу якої входять залишки фруктози, глюкози і галактози. У значних кількостях вона міститься в цукровому буряку і у багатьох інших рослинах, зокрема у бобових. Загалом олігосахариди присутні в рослинних тканинах.

## Полісахариди

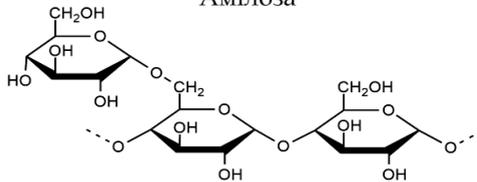
Полісахариди належать до високомолекулярних речовин. Це вуглеводи, що складаються з великого числа моносахаридів. Вони мають гідрофільні властивості і при розчиненні у воді утворюють колоїдні розчини. За функціональним призначенням полісахариди поділяють на структурні (целюлоза) і резервні (глікоген у тварин і крохмаль у рослин).

Гомополісахариди містять моносахариди одного типу. Найбільш важливими гомополісахаридами є крохмаль, глікоген, клітковина (целюлоза), що складаються із залишків молекул глюкози, а також пектинові речовини. Із залишків молекул фруктози побудований полісахарид інулін, манани містять залишки молекул манози, галактани – галактози.

Крохмаль належить до резервних полісахаридів рослин. Його найменше у листі, у цибулинах, серцевині стеблини та бульбах – до 30%, а найбільше накопичується у насінні – до 70% (зерна злаків – пшениця, рис, кукурудза). Серед овочів, що містять найбільшу кількість крохмалю, картопля, батат, пастернак. Крохмаль – найбільш важливий за харчовою цінністю вуглевод. Він відкладається у клітинах у вигляді гранул, за розміром і формою яких можна визначити їх походження.



Амілоза



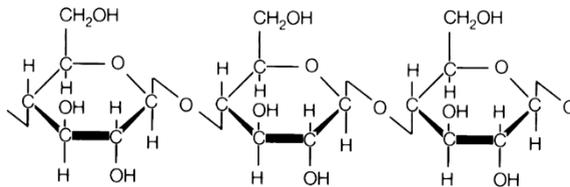
Амілопектин

Крохмаль має загальну формулу  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Це суміш лінійного полісахариду – амілози (10...30 %) і розгалуженого

амілопектину (70...90 %). Гідролітичне розщеплення крохмалю відбувається поступово, з утворенням проміжних продуктів – декстринів і мальтози, при повному гідролізі виділяється глюкоза. Глікоген ("тваринний крохмаль") – головний резервний полісахарид людини і вищих тварин. Крім печінки та м'язів, глікоген відкладається в незначних кількостях в усіх тканинах та органах. За наявності надлишку вуглеводів в їжі та наявності великої кількості глікогену в печінці та м'язах спостерігається перетворення вуглеводів в жири.

Інулін – полісахарид, що складається із залишків  $\beta$ -D-фруктофуранози, поєднаних 2,1-глікозидним зв'язком причому, на одному кінці ланцюга і в середині розміщується по одному залишку глюкопіранози. Міститься в бульбах жоржин (10 – 12%), корені цикорію (10%), топінамбурі, артишоках, кок-сагізі, девясилі та інших речовинах. Розчин інуліну йодом не забарвлюється.

Целюлоза (клітковина)  $(C_6H_{10}O_5)_n$  – це найбільш поширений в світі біополімер, є основною структурою стінок клітин, обумовлюючи їхню міцність і еластичність. Клітковина має молекулярну масу від 100 тис. до 1 млн. Вона не розчиняється у воді, але здатна набрякати. Характерною особливістю клітковини, яка визначає в основному її механічні, фізико-хімічні та хімічні властивості, є лінійна конформація її молекул, яка зміцнена внутрішньо молекулярними водневими зв'язками.



Пектинові речовини, полісахариди рослинного походження, містяться у великій кількості в ягодах, фруктах і овочах. Це високомолекулярні сполуки, що складаються із мономерних залишків D-галактуронової кислоти. Вони входять до

складу рослинних клітин і виконують важливі фізіологічні функції – регулюють водний баланс, приймають участь в утворенні скелету рослини.

В рослинах пектинові речовини містяться у формі водорозчинного пектину, протопектину, а також у формі кальцієвих і магнієвих солей пектинової кислоти. Розчинна форма пектинових речовин – вільний пектин – знаходиться в клітинному соці рослин.

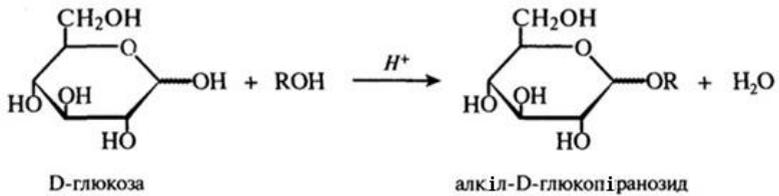
Гетерополісахариди побудовані залишками моносахаридів (глюкози, галактози) і їхніх похідних (аміносахарів, гексуринових кислот). Вони містять також інші речовини: азотисті основи, органічні кислоти.

Мукополісахариди є желеподібними липкими речовинами. Вони виконують різні функції, у тому числі структурну, захисну, регуляторну. Мукополісахариди складають основу міжклітинної речовини тканин, входять до складу шкіри, хрящів, синовіальної рідини. В організмі людини мукополісахариди утворюють комплекси з білками (глікопротеїни) і жирами (гліколіпіди). У рослинах до цього класу належать камеді.

Гіалуронова кислота також є гетерополісахаридом. Вона входить до складу сполучної тканини в якості основного зв'язуючого компонента клітин і міжклітинної речовини. Завдяки цьому їй належить важлива роль у формуванні бар'єрних функцій організму. Гіалуронова кислота сприяє захисту від інфекцій, іонізуючої радіації, вона також бере участь в обміні води в організмі.

У рослинах целюлозу супроводжують геміцелюози. Це гетерополісахариди, при гідролізі яких утворюється суміш різних моносахаридів (D-галактоза, D-ксилоза, D-арабіноза, уронові кислоти, D-маноза, D-глюкоза).

У результаті реакції етерифікації вуглеводів у кислому середовищі утворюються глікозиди:



Ці природні речовини мають потужну фізіологічну дію. Деякі глікозиди є сильними піноутворювачами і стабілізаторами, флавоноїдні глікозиди можуть надавати гіркою смаку і (або) певного аромату і кольору харчовому продукту. У природі в насінні гірчиці і коренях хрону містяться S-глікозиди, або глікозинолати. Найбільш відомий з класу S-глікозидів алїл-глікозинолат називається синїгрин. Він надає певного аромату їжі, але є автори, які вважають, що S- глікозиди і продукти їх розпаду можуть бути віднесені до харчових токсикантів.

До глікозидів належить левоглюкозан, невелика кількість якого утворюється в умовах піролізу за високої температури в процесах обжарювання панїрувальних сухарів, випічки борошняних виробів і нагріванні цукрів, цукрових сиропів. Великі кількості цієї речовини в їжі є небажаними через гіркий смак.

Ціаногенні глікозиди – це сполуки, які в результаті природної деградації виділяють синильну (ціановодневу) кислоту. Вони містяться у насінні гіркою мигдалю, манїоці, сорго, кісточках персиків, абрикосів та ін. Ціанїд, що утворюється в результаті деградації цих глікозидів, зазвичай при подальшому перетворенні в тїоціанат детоксидується. Проте, за великої концентрації глікозиду процес детоксикації пригнічується, і продукт може бути токсичним. Відомі випадки отруєння людей в результаті вживання манїоки, гіркою мигдалю.

### Контрольні запитання

1. Значення і умови проходження фотосинтезу.
2. Класифікація вуглеводнів.
3. Найпоширеніші моносахариди.

4. Які функції вуглеводів в організмі людини?
5. Чому вуглеводи є основним продуктом харчування?
6. Вкажіть відмінності у будові і властивостях сахарози і лактози.
7. Яку функцію виконують харчові волокна?
8. Які перетворення відбуваються з вуглеводами при кулінарній обробці?
9. Опишіть основні полісахариди.
10. Основні джерела харчових вуглеводів.

## 2.4. Білки

### **Амінокислоти як структурні компоненти білків, їхня класифікація, властивості.**

Амінокислоти – це похідні карбонових кислот, що містять також аміногрупу. У природі зустрічається близько 300 амінокислот. Їх відносять до двох груп:

1) вільні амінокислоти (непротеїногенні), що не входять до складу білків;

2) протеїногенні, ковалентно зв'язані одна з одною у складі пептидів і білків.

Непротеїногенні амінокислоти більш різноманітні та численніші порівняно з протеїногенними. Зокрема, багато амінокислот міститься в пептидних антибіотиках або є проміжними продуктами обміну білків.

Лише двадцять амінокислот входять до складу білків у різній, але строго визначеній для кожного білка послідовності. Протеїногенні амінокислоти містять аміногрупу біля атома Карбону, пов'язаного з карбоксильною групою (див. рис. 2.5) та відрізняються одна від одної структурою і складом групи R (бічний ланцюг).

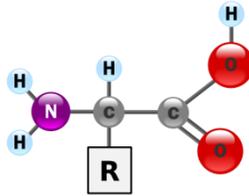


Рис. 2.5. Загальна структурна формула білкових амінокислот

За хімічною будовою вирізняють амінокислоти:

аліфатичні – гліцин (Глі), аланін (Ала), валін (Вал), лейцин (Лей), ізолейцин (Ілей);

оксикислоти – серин (Сер), треонін (Тре);

дикарбонові – аспарагінова кислота (Асп), глютамінова кислота (Глу);

двоосновні – лізин (Ліз), гістидин (Гіс), аргінін (Арг);

ароматичні – фенілаланін (Фен), тирозин (Тир), триптофан (Три);

сіркоутримуючі – цистеїн (Цис), цистин (Цит), метіонін (Мет);

За біохімічним призначенням амінокислоти бувають:

глюкогенні – через ряд хімічних перетворень надходять на шлях гліколізу (окислення глюкози) – Глі, Ала, Тре, Вал, Асп, Глу, Арг, Гіс, Мет.

кетогенні – беруть участь в утворенні кетонових тіл – Лей, Іле, Тир, Фен.

За харчовою цінністю виокремлюють групу незамінних амінокислот, які не синтезуються в організмі людини – Гіс, Іле, Лей, Ліз, Мет, Фен, Тре, Три, Вал, а у дітей – Арг, Гіс.

Завдяки наявності в молекулі амінокислот одночасно амінної (основної) і карбоксильної (кислотної) груп цим сполукам властиві кислотно-основні властивості (амфотерність). У нейтральному середовищі вони перебувають у вигляді біполярних іонів.

Фізико-хімічні властивості амінокислот. За хімічними властивостями амінокислоти, що мають у своєму складі амінні і карбоксильні групи, є амфотерними електролітами. Амінокислотам властиві висока розчинність у воді, високі значення діелектричних постійних і температури плавлення.

Амінокислоти містять також різноманітні функціональні групи, більшість яких можна виявляти за допомогою дуже чутливих і специфічних кольорових реакцій. Їх виявляють навіть в малих кількостях у складі складних сумішей, білковій сировині рослинного і тваринного походження. В основі кількісного визначення амінокислот і білків лежить реакція з нінгідрином.

Аміногрупи амінокислот (пептидів, білків) можуть вступати в реакцію з карбонільними групами альдегідів і цукрами, що відновлюються. Це реакції меланоїдиноутворення.

Одержувані з амінокислот альдегіди мають приємний запах. Поєднання запахів різних альдегідів визначає аромат багатьох харчових продуктів.

Амінокислоти з органічної сировини одержують ферментативним (амінокислоти утворюються в процесі життєдіяльності мікроорганізмів) та гідролітичним методом (гідроліз відходів, переважно, м'ясної промисловості). Методами органічного синтезу (ціангідринним, амінуванням галогенозаміщених карбонових кислот, приєднанням амоніаку до ненасичених кислот, відновленням нітропохідних карбонових кислот) отримують синтетичні амінокислоти.

Карбоксильна група однієї амінокислоти може взаємодіяти із аміногрупою іншої, у результаті утворюється амідний зв'язок, який називають пептидним. Білки – це полімерні сполуки, які утворені з залишків  $\alpha$ -амінокислот, з'єднаних між собою пептидним зв'язком (рис. 2.6). Даний зв'язок достатньо стабільний і розрив його відбувається лише за участю каталізаторів – специфічних ферментів. За допомогою такого зв'язку амінокислоти об'єднуються в достатньо довгі ланцюжки, які носять назву поліпептидних.

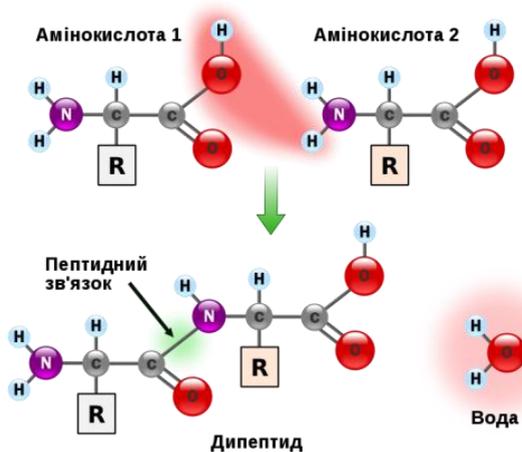


Рис. 2.6. Схема утворення пептидного зв'язку

У білковій молекулі крім поліпептидних є ще дисульфідні зв'язки – S – S-, які з'єднують між собою окремі пептидні ділянки одного і того ж поліпептидного ланцюга, утворюючи спіраль.

### Структура білкової молекули

Білки – лінійні природні полімери, що не розгалужуються, мінімальна структурна одиниця яких – амінокислота (АК). Амінокислоти з'єднані між собою пептидним зв'язком у певній нерегулярній послідовності. До білків відносять поліпептиди, які здатні мимоволі формувати і утримувати певну просторову структуру, яка називається конформацією. Стабілізація такої структури можлива лише при досягненні поліпептидами певної довжини. Тільки маючи певну просторову будову, білок може функціонувати.

Виокремлюють чотири рівні організації білкової молекули (див. рис. 2.7). **Первинним рівнем** (або первинною структурою) називають унікальну послідовність амінокислотних залишків, з'єднаних між собою пептидним зв'язком.

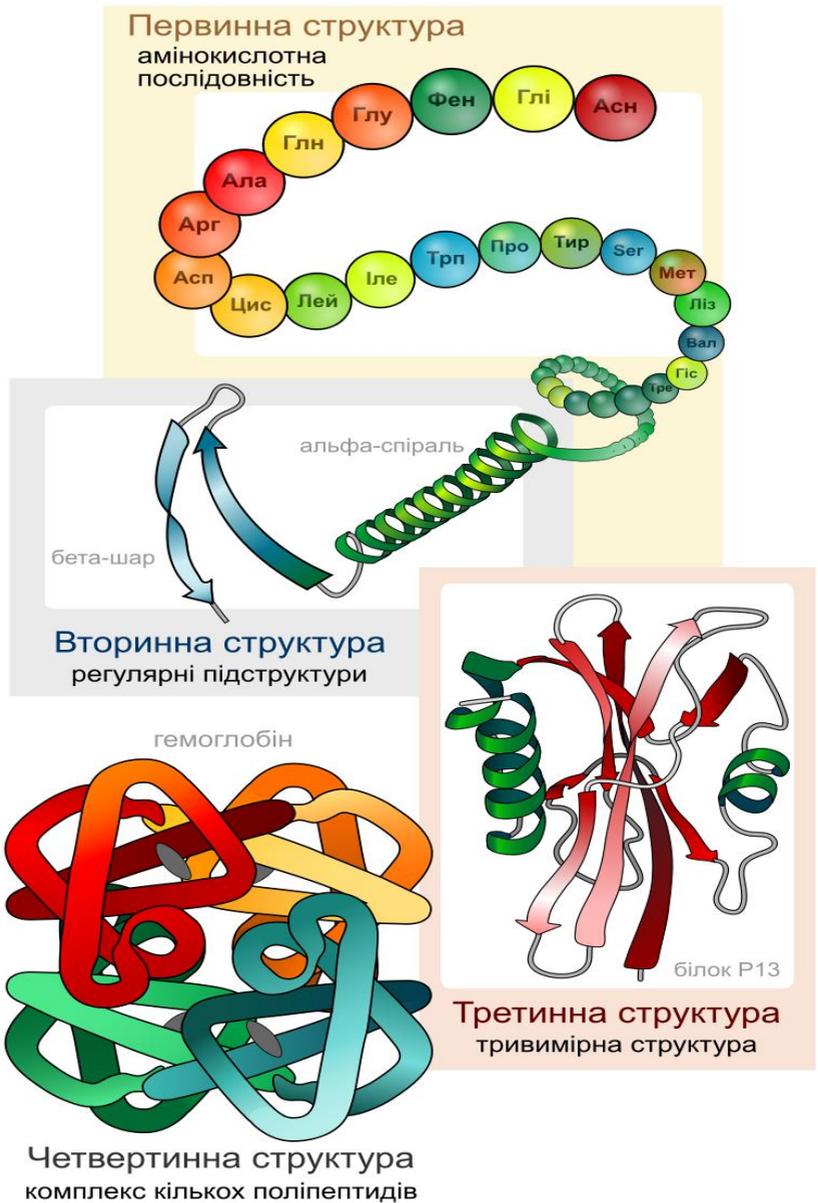


Рис. 2.7. Рівні структурної організації білків  
([https://uk.wikipedia.org/:Main\\_protein\\_structure\\_levels\\_uk.svg](https://uk.wikipedia.org/:Main_protein_structure_levels_uk.svg))

**Вторинна структура** – це просторове розташування атомів головного ланцюга молекули білка, згортання у спіраль або іншу компактнішу структуру. Вона утворюється і утримується в просторі за рахунок утворення водневих зв'язків між боковими угрупованнями амінокислот основного ланцюга. Виділяють два основні способи утворення вторинної структури – альфа-спіралі і бета-листи.

**Третинна структура** – це властивий даному білку спосіб укладання поліпептидного ланцюга у просторі. Вона забезпечує стабільність окремих великих ділянок білків, що складаються з безлічі амінокислотних залишків та бокових груп. Такі впорядковані в просторі ділянки білка формують активні центри ферментів або зони зв'язування. Третинна структура є визначальною у житті білкової молекули, а її пошкодження приводить до втрати функціональної активності білка. Стабільність третинної структури залежить в основному від водневих зв'язків і ван-дер-ваальсових сил, що виникають між певними ділянками пептидного ланцюга.

**Четвертинна структура** – розміщення в просторі взаємодіючих між собою субодиниць, утворених окремими поліпептидними ланцюгами. У формуванні четвертинної структури беруть участь не пептидні ланцюги, а глобули, які утворені з кожного з цих ланцюгів окремо. Четвертинна структура – це вищий рівень організації білкової молекули і він властивий далеко не всім білкам. Така структура утворена водневими зв'язками та силами електростатичної взаємодії.

За просторовою структурою білки поділяють на глобулярні і фібрилярні. Глобулярні білки складаються з одного чи декількох поліпептидних ланцюгів, щільно згорнутих завдяки нековалентним чи ковалентним зв'язкам у компактну частинку – глобулу. Зазвичай вони добре розчиняються у воді. До цієї групи належать ферменти, антитіла, багато гормонів, білки-переносники кисню (міоглобін,

гемоглобін, сиворотковий альбумін). Більшість білків мають глобулярну форму.

Фібрілярні білки утворені витягнутими чи спіралізованими поліпептидними ланцюгами, що утримуються паралельно за рахунок зв'язків. Поліпептидні ланцюги об'єднані у волокна (фібрили). Такі білки не розчиняються у воді. Із них побудовані волосся, нігті, пір'їни (кератини), сухожилля (колаген), зв'язки (еластин), шовк, павутина (фіброїн).

### **Класифікація білків**

За розчинністю білки поділяються на водорозчинні, сольворозчинні, спирторозчинні, нерозчинні і ін.; за конформаційною структурою – на фібрілярні, глобулярні. Прості білки – протеїни – складаються тільки з амінокислот, складні білки – протеїди – крім амінокислот містять в складі небілкові включення (вуглеводи, ліпіди, метали, нуклеїнові кислоти).

До протеїнів належать такі групи білків:

1. Альбуміни – розчинні у воді, не розчинні у концентрованих сольових розчинах. рН їхніх розчинів становить 4,6...4,7. Існують альбуміни молока, яєць, сироватки крові.

2. Глобуліни – не розчинні у воді, але розчинні у сольових розчинах. До цієї групи належать імуноглобуліни.

3. Гістони – розчинні у воді, у слабкокислотних розчинах. Проявляють основні властивості. Це білки ядра клітини, вони пов'язані з ДНК і РНК.

4. Склеропропротеїни – білки опорних тканин (хрящів, кісток), шерсті, волосся. Не розчинні у воді, слабких кислотах і лугах. До цієї групи належать:

а) колагени – фібрілярні білки сполучної тканини, які при тривалому кип'ятінні розчиняються у воді і при застиганні утворюється желатин;

б) еластини – білки зв'язок і сухожиль. За властивостями схожі на колаген, але піддаються гідролізу під дією ферментів травного соку;

в) кератин – входить до складу волосся, пір'я, копит;

г) фіброїн – білок шовку, в своєму складі містить багато серину;

д) проламіни і глутеніни – білки рослинного походження.

Протеїди класифікують залежно від хімічної природи простетичної групи. До них належать:

1. Нуклеопротеїди, у яких пептидні ланцюги з'єднані з нуклеїновими кислотами. Серед численних класів нуклеопротеїдів найбільш вивченими є рибосоми, що складаються з декількох молекул РНК і рибосомних білків, і хроматин – який складається з ДНК і структурообrazуючих білків – гістонов (містяться в клітинному ядрі і мітохондріях).

2. Гемопротеїди – небілковий компонент цих протеїдів – гем. До таких білків відносяться: гемоглобін, міоглобін, цитохроми. Цей клас білків ще називають хромопротеїди, оскільки гем є забарвленою сполукою. Вони здійснюють важливі функції. Гемоглобін транспортує кисень. Міоглобін забезпечує запасання кисню в м'язах. Цитохроми (ферменти) здійснюють каталіз окислювально-відновлювальних реакцій і електронний транспорт у дихальному ланцюзі.

3. Металопротеїди – до складу простетичної групи входять метали. Хлорофіл містить гем, але в ньому замість заліза знаходиться магній, а цитохроми містять мідь.

4. Ліпопротеїди – крім білка містять ліпіди. Вони входять до складу клітинних мембран.

5. Фосфопротеїди містять залишок фосфорної кислоти.

6. Глюкопротеїди містять вуглеводи.

Молекула білка має строго визначений генетично закодований амінокислотний склад, специфічні фізико-хімічні

властивості, специфічну біологічну функцію у живій клітині, що обумовлює цільове призначення білка, не властиве жодному іншому класу біологічно-активних речовин. Строга специфічність біологічних функцій білків – основа обміну речовин у живій клітині.

Кожна біологічна реакція в організмі людини відбувається із прямою чи побічною участю білків. Перерахуємо лише основні біологічні функції білків.

1. Ферментативна (каталітична) функція. Без неї не протікає ні одна біохімічна реакція у живій клітині. Ферменти – функціональний тип білків. Синтез і розкладання речовин, регуляція хімічних процесів, перенесення хімічних груп і електронів від однієї речовини до іншої здійснюється за допомогою цих специфічних білків. На сьогодні відкрито біля 3 тисяч різних ферментів, кожний із яких каталізує певну хімічну реакцію. Зокрема,  $\alpha$ -амілаза впливає на процеси гідролізу крохмалю; пепсин (шлунковий фермент) руйнує молекули білків.

2. Гормональна функція. Білки-гормони забезпечують регулювання обміну речовин в середині клітини та інтеграцію обміну речовин різних клітин цілого організму. Наприклад, гормон інсулін регулює вуглеводний, білковий, жировий обміни.

3. Транспортна функція полягає у зв'язуванні і транспортуванні речовин між тканинами через мембрани. До таких білків відносяться ліпопротеїни, які переносять кисень у м'язеві тканини; гемоглобін (джерело вільної хімічної енергії), який зв'язує кисень повітря при проходженні його через легені і подає його до периферійних тканин, де відбувається окиснення компонентів їжі; пермеази, що зв'язують глюкозу, амінокислоти та інші харчові речовини і переносять їх через мембрани всередину клітини.

4. Хіміко-механічна (скорочувальна) функція. Білки перетворюють вільну хімічну енергію в механічну роботу. Таку функцію виконують білки м'язових тканин: міозин, що закріплений

у нитках м'язових волокон – міофібрилах, і актин, який міститься у рухливих міофібрилах.

5. Структурна функція. Цю функцію виконують білки, які беруть участь у будові різних мембран (плазматичних, мітохондріальних). До них відносяться також білки, які забезпечують міцність опорних тканин: колаген – структурний елемент опорного каркаса кісткової тканини, хрящів, сухожиль – має дуже високу міцність на розрив; кератин – структурна основа шерсті, волосся, пір'я, копит, рогів; еластин – білок здатний розтягуватися у двох вимірах.

6. Захисна функція. Антитіла, які утворюються під час надходження в організм сторонніх речовин, також є білки. Ці сполуки утворюють із токсинами малоактивні комплекси, які виводяться із організму, виконують антитоксичну функцію.

7. Резервна функція. Використання білків у якості запасних матеріалів для живлення клітин, що розвиваються. До них відносяться проламіни, глютеїни – білки хлібних культур; альбумін – яєчний білок, що використовується для розвитку зародка; казеїн молока – білок, що використовується для годування новонароджених ссавців.

8. Спеціальні функції. До цієї групи належать рецепторні білки, які забезпечують передачу імпульсів між нервовими клітинами і передачу сприйняття світла; білки, що захищають від замерзання кров риб у холодних водах.

9. Енергетична. При дефіциті вуглеводів і жирів у раціоні білок є джерелом енергії. При окисненні 1 г білка виділяється 4 ккал енергії.

### **Якісне та кількісне визначення білків**

Присутність білків у харчових об'єктах встановлюється за допомогою якісних реакцій, які умовно поділяють на дві групи:

а) кольорові реакції;

б) реакції осадження.

Серед першої групи розрізняють універсальні реакції (біуретова реакція на пептидні зв'язки та нінгідринова на  $\alpha$ -амінокислоти) та специфічні, зумовлені реакціями функціональних груп певних амінокислот присутніх в білках. Так, ксантопротеїнова реакція свідчить про наявність в білках залишків ароматичних амінокислот, реакція Паулі – гістидину і тирозину, Адамкевича і Вуазене – триптофану, нітропрусидна – цистеїну, а реакція Сакагучи – аргініну. За результатами специфічних реакцій орієнтовно можна судити про харчову цінність білків.

*Біуретова реакція.* У лужному середовищі в присутності йонів купруму (II) розчини білків і пептидів набувають фіолетового забарвлення з червоним або синім відтінком залежно від кількості пептидних зв'язків.

*Ксантопротеїнова реакція на ароматичне кільце* циклічних амінокислот. В результаті нітрування бензольного кільця утворюється жовтий осад, який в надлишку лугу переходить в оранжеве забарвлення.

У другій групі реакцій білки осаджують дією солей, органічних розчинників, концентрованих кислот, лугів, йонів важких металів, температури і в ізоелектричній точці. Білки в розчиненому стані вкрай нестійкі, тому при додаванні органічних розчинників (спирт, ацетон), концентрованих розчинів нейтральних солей лужних металів і впливі фізичних факторів (нагрівання, опромінення, ультразвук) гідратна оболонка руйнується і вони випадають в осад.

Для кількісного визначення білків у лікарських засобах і біологічному матеріалі найчастіше застосовують фотоколориметричні і спектрофотометричні методи, у деяких випадках використовують визначення білка за вмістом загального нітрогену (азотометрія), а також фотонейфелометричні методи.

## Функціональні властивості білків

Під функціональними властивостями мають на увазі ті властивості, які визначають їх зміни під час переробки у харчові продукти та забезпечують певну структуру, технологічні та споживні властивості. До найбільш важливих функціональних властивостей білків належать: водозв'язувальні; жирозв'язувальні; структуроутворювальні (піноутворювальні та драглеутворювальні).

Здатність білків зв'язувати на своїй контактній поверхні воду – одна із характерних фізико-хімічних властивостей, що відіграє важливу роль у технології харчових продуктів.

З гідрофільністю пов'язані такі процеси, як набухання і розчинність білків, їх осадження і денатурація при дії жорстких фізико-хімічних факторів середовища.

Гідрофільність являє собою наслідок дії електростатичних сил протягування, що розвиваються між йоногенними і полярними групами білкової глобули і диполями води.

Контактуючи з водою сухий білок набухає, молекули води проникають у білкову масу і в результаті гідратації молекули білка роз'єднуються. Важливу роль тут відіграють не тільки електростатичні сили, але і сили осмосу. Набухлий білок можна вважати розчином води у білку; енергія набухання велика. Подальше поглинання води призводить до розчинення білка.

Розчинення пов'язане з хімічною структурою білка. Оскільки амінокислотний склад білків різний, розчинність білків коливається у широких межах і буде визначатись співвідношенням гідрофільних (іоногенних і полярних) і гідрофобних (неполярних) R – груп, специфікою укладання їх у трьохвимірну структуру; чим більше гідрофільних R – груп на поверхні білкової молекули, тим вища її гідрофільність і тим вища розчинність білка; поверхневі гідрофобні R – групи зменшують розчинність.

Глобулярні білки краще розчинні, ніж фібрилярні. Кількість зв'язаної води для різних білків складає біля 0,15-0,35 г на 1 г білка.

Явище набухання широко розповсюджено у харчових технологіях; воно, наприклад, відіграє важливу роль в утворенні пшеничного тіста. Обмежено набухає колаген – основний компонент сировини і напівфабрикатів м'ясної промисловості. Частково деструктурований колаген називають желатином, який легко набухає у теплій воді. Під час набухання об'єм і маса зразків збільшується у 10-15 разів.

Вплив електростатичних сил на розчинність білків залежить від рН середовища. Білки є амфотерними електролітами, оскільки вони містять карбоксильні і амініні групи та можуть дисоціювати і як кислоти, і як луги. Але за рН, яке близьке до ізоелектричної точки, розчинність білків найменша. В ізоелектричній точці спостерігається також найменша в'язкість розчинів білків та найлегше білки осідають з розчинів.

Але сам по собі білок не виділяється у вигляді осаду. Це можна зробити за допомогою нейтральних солей у високих концентраціях (сульфат амонію, фосфат натрію або калію) або органічних розчинників (спирту, ацетону). Процес вилучення білка з розчину під дією солей називається висолюванням. Насичення водного розчину спиртом або ацетоном призводить до зневоднення білків, оскільки спирт та ацетон є більш гідрофільними, порівняно з білками. Внаслідок цього білкові глобули злипаються у крупніші частинки і випадають в осад.

Цю властивість використовують у технологіях виготовлення ізолятів та концентратів білків. Суть технології полягає у переведенні білків сировини (соевих білків, соняшникових та інших) у розчин за допомогою кислот чи лугів, а потім – виділення цих білків з розчинів осадженням. Осадження білків краще відбувається за низьких температур.

Висолування є зворотнім процесом. Після видалення осаду білки знову можна розчинити. Розчини білків є колоїдними розчинами.

**Денатурація білків.** Нативна (природня) конформація глобулярного білка, піддається змінам під дією жорстких фізико-хімічних факторів середовища. Ці зміни одержали назву – денатурація) білка.

Денатурація – це наслідок руйнування нативної структури білків, який супроводжується втратою біологічної активності (ферментативної, гормональної).

З фізичної точки зору – це деструкція білкової молекули без зміни первинної структури (руйнуються вторинна, третинна і четвертинна структури). Типовим прикладом денатурації є згортання яєчного альбуміну при варінні яєць. Під час денатурації поліпептидний ланцюг звертається і перетворюється в невідповідкований, хаотичний клубок.

Фактори, що викликають денатурацію білків, поділяють на фізичні і хімічні.

До фізичних належать нагрівання, механічне перемішування, ультразвук, ультрафіолетові і іонізуючі промені. До хімічних – дія агресивних реагентів, таких як кислоти, луги, солі важких металів (Ag, Pb, Hg), сечовина, таннін, трихлороцтова кислота, гуанідин.

Теплова денатурація є одним із характерних ознак білків, але для різних білків температурна денатурація різна. Білки тваринного походження термолабільні: їх денатурація починається уже при 40°C і швидко зростає з підвищенням температури. Але відомі білки які стійкі до нагрівання, наприклад трипсин, хі-мोटрипсин,  $\alpha$  - лактоглобулін молока,  $\alpha$  - амілаза деяких бактерій.

Сухі білки більш стійкі до теплової денатурації, ніж білки у розчині. З тієї ж причини концентровані розчини білків більш стійкі порівняно з розбавленими розчинами білків.

Часто теплову денатурацію білків ототожнюють з їх коагуляцією. Але ці два процеси суттєво відрізняються за своєю фізико-хімічною суттю. Теплова денатурація білків є причиною їх агрегації і коагуляції (випадання в осад). Однак денатурація не

завжди призводить до коагуляції. Денатурований білок за певних умов може залишатися в розчині.

Білки відносяться до поверхнево-активних речовин. Механічний вплив у розчині білка сприяє утворенню піни, на поверхні бульбашок якої і розвивається процес денатурації.

Ультразвукові хвилі викликають денатурацію за рахунок як механічного впливу, так і теплових ефектів. Ефективними хімічними агентами денатурації білків є кислоти і луги. Багато білків денатурують при значеннях рН нижче 2 або вище 12. Солі важких металів, трихлороцтова кислота, танін навіть у невеликих концентраціях викликають денатурацію білків, утворюючи з ними нерозчинні комплекси.

Деякі хімічні сполуки захищають білок від денатурації. Так, денатурація гальмується концентрованими розчинами гліцерину, глюкози і інших цукрів, що пов'язано, очевидно, з їх адсорбцією на глобулах білків і утворенням великих гідрофільних комплексів.

Найбільш типовими ознаками денатурації є такі:

1. Зниження гідрофільності і розчинності білків, внаслідок чого зменшується стійкість їх розчинів;
2. Збільшення в'язкості розчинів, втрата здатності до кристалізації;
3. Зменшення молекулярної маси і зміна форми білка;
4. Молекула переходить у хаотичний стан – поліпептидні ланцюги спочатку розгортаються, проходячи стадію нитки, а потім знову згортаються, але вже по-іншому, тобто проходить зміна конформації молекули білка. Внаслідок цього збільшується здатність білка до розщеплення їх ферментами.

Необхідно зазначити, що денатурація не завжди є необоротним процесом. У випадку короткочасної дії денатуруючого агента білок можна повернути в попередній, нативний стан. Цей процес має назву ренатурації, або пептизації.

Процеси денатурації білків відіграють велику роль у технологічних процесах теплової обробки харчових продуктів.

Формування м'якушки хліба, варка сусла з хмелем, бланшування плодів і овочів крутим кип'ятком чи гострою парою, кип'ятіння молока, кулінарна обробка м'ясних і рибних продуктів зв'язані з денатурацією білка.

### **Контрольні запитання**

1. Амінокислоти як структурні компоненти білків.
2. Вкажіть незамінні амінокислоти.
3. Схема утворення пептидного зв'язку.
4. Вкажіть типи хімічних зв'язків, що зумовлюють первинну, вторинну і третинну структуру білка.
5. Фізико-хімічні властивості білків.
6. Які фактори сприяють денатурації білків.
7. Наведіть приклади рослинних і тваринних білків.
8. Які функції білків у організмі людини?
9. Що таке повноцінність білка?
10. Кольорові реакції білків.

## **2.5. Вітаміни**

### **Класифікація вітамінів та загальна характеристика**

Для підтримання нормальної життєдіяльності організму, окрім білків, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин і води, потрібні ще в дуже невеликих кількостях особливі речовини – вітаміни. Це група додаткових речовин їжі, що належать до різних класів органічних сполук і за рідкісним винятком не синтезуються в організмі людини. Вони мають сильний і певною мірою специфічний вплив на процеси обміну.

Польський хімік К. Функ (1912) назвав біологічно активну речовину, яку виділили з висівок, "вітаміном", оскільки вона містила в своїй молекулі аміногрупу (лат. *vita* життя та "аміни"). Ця назва збереглась до цього часу, хоча Нітроген міститься не в усіх

вітамінах. На сьогодні відомо більш 30 вітамінів, розшифрована їхня хімічна структура. Більшість вітамінів не тільки виділені з природної сировини, але й синтезовані у лабораторії.

Особливі властивості вітамінів, що відрізняють їх від інших класів біологічноактивних речовин:

1. На відміну від інших незамінних речовин (амінокислоти, поліненасичені жирні кислоти та ін.) вітаміни не є пластичним матеріалом або джерелом енергії.

2. Вітаміни активні в мінімальних кількостях. Добова потреба в них обчислюється в тисячних і навіть мільйонних частках грама.

3. Вітаміни в організмі людини не синтезуються, за винятком деяких з них. Так, вітаміни В6, В12, К, фолієва кислота утворюються в організмі мікрофлорою товстої кишки, вітамін D – синтезується під дією ультрафіолетових променів у шкірі людини, однак, у недостатній кількості.

4. Вітаміни, як правило, не відкладаються «про запас». Отже, ці речовини повинні надходити в організм при кожному прийомі їжі.

5. Найбільш ефективні вітаміни не синтетичні, а ті, що містяться в харчових продуктах. Це обумовлено тим, що до складу їжі входять кілька різних вітамінів, що підсилюють фізіологічний ефект один одного, а також стимулятори, або стабілізатори їхньої дії.

Широке поширення одержала систематизація вітамінів на основі їхньої розчинності у воді або жирах.

Одну групу склали водорозчинні вітаміни, іншу – жиророзчинні. Однак для деяких жиророзчинних вітамінів був синтезований водорозчинний аналог. Наприклад, вікасол є водорозчинним аналогом вітаміну К, розчинного в жирах.

Ряд вітамінів представлений не одним, а декількома сполуками, що виявляють біологічну активність. Прикладом може

служити група вітамінів D. Для позначення таких сполук користуються цифрами – D2, D3.

У групі вітамінів розрізняють вітаміноподібні речовини, ступінь незамінності яких ще не визначена. Однак вони роблять сприятливий ефект на процеси обміну речовин, особливо в екстремальних умовах.

У ряді продуктів містяться провітаміни, тобто сполуки, з яких в організмі утворюються вітаміни. До них відносять каротини, що розщеплюються в ряді тканин з утворенням ретинолу (вітамін А), деякі стероли (ергостерини, 7-дегідрохолестерол і ін.), що перетворюються у вітамін D під впливом ультрафіолетових променів.

### **Функції вітамінів**

Вітаміни забезпечують нормальний перебіг біохімічних і фізіологічних процесів в організмі. Вони беруть участь у каталізі обмінних процесів, тому що містяться в активних групах ферментів. Так, наприклад, вітамін PP є коферментом дегідрогеназ, що здійснюють перший етап окислювання білків, жирів, вуглеводів; вітамін B1 входить до складу активної групи ферменту, який каталізує розщеплення одного з центральних проміжних продуктів обміну речовин – піровиноградної кислоти; вітамін B12 відіграє визначну роль у процесах синтезу білків. От чому недолік вітамінів у їжі або порушення їхньої асиміляції негативно позначаються на багатьох фундаментальних процесах обміну речовин.

Вітаміни мають захисну дію, нейтралізуючи вплив різних негативних факторів. У здорових людей вони підвищують стійкість до холоду, інфекційних хвороб, фізичних перевантажень. У хворих вітаміни сприяють нормалізації обміну, поліпшують ефект лікувальних засобів, нейтралізують побічну дію лікарських препаратів, зменшують наслідки опромінення.

При відсутності в продуктах харчування одного або декількох вітамінів розвивається вітамінна недостатність. Вона буває двох ступенів: авітаміноз і гіповітаміноз.

Авітаміноз – це стан глибокого дефіциту якого-небудь вітаміну в організмі з розгорнутою клінічною картиною недостатності (цинга, бери-бери, пелагра і т.д. ).

Гіповітаміноз – стан організму при недостатньому вмісті одного або декількох вітамінів у їжі. Гіповітамінози частіше зустрічаються наприкінці зими, навесні, коли надходження вітамінів з їжею досить обмежено, оскільки вони руйнуються в процесі зберігання продуктів харчування. Розрізняють первинні і вторинні гіповітамінози.

Первинні гіповітамінози зв'язані з низьким вмістом вітамінів у продуктах харчування, що може мати місце в результаті наступних причин:

1. Однобічне незбалансоване харчування переважно рафінованими продуктами, недостатнє вживання продуктів рослинного походження.

2. Неправильна кулінарна обробка їжі, що приводить до руйнування вітамінів.

3. Застосування консервантів, що руйнують вітаміни.

4. Неправильні умови зберігання продуктів, що містять вітаміни.

Вторинні гіповітамінози розвиваються в тих випадках, коли знижується здатність засвоювати вітаміни або підвищується потреба в них. Це може бути зв'язане з порушенням функції шлунково-кишкового тракту. При інфекційних захворюваннях підвищується потреба у вітамінах внаслідок їхньої витрати в процесі утворення антитіл. Лікування деякими препаратами може збільшувати потребу у вітамінах у результаті їхнього підвищеного виділення з організму або порушення синтезу в товстій кишці. У

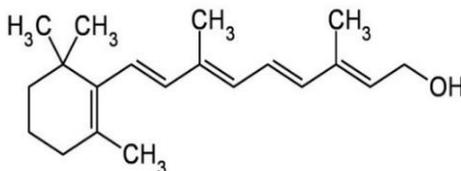
такий спосіб впливають на організм, наприклад, антибіотики й інші антибактеріальні речовини.

При надлишковому надходженні вітамінів вони, як правило, виводяться з організму через нирки із сечею. У деяких випадках їхній вміст підвищується і розвивається гіпервітаміноз, що приводить до порушення обмінних процесів. Особливо небезпечно в цьому відношенні передозування вітамінів А і D, що призначають дітям для профілактики рахіту і порушень росту.

### **Жиророзчинні вітаміни (групи А, Е, К, D, F, убіхінони)**

Жиророзчинні вітаміни нерозчинні у воді, але розчиняються в органічних розчинниках. Особливістю цих вітамінів є їх здатність всмоктуватися в кишечнику лише за наявності жирів, а також іноді накопичуватися в організмі, викликаючи гіпервітамінози. До жиророзчинних належать вітаміни А, D, Е, К.

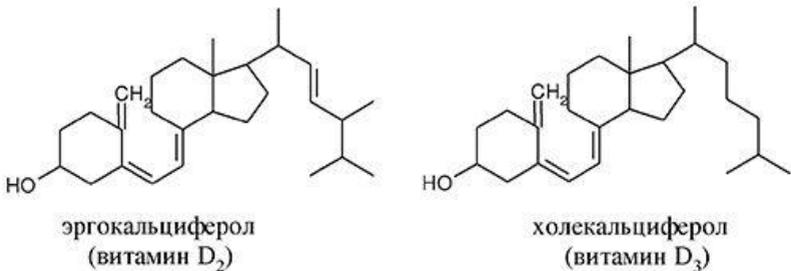
**Вітамін А (ретинол)** міститься в продуктах тваринного походження – риб'ячому жирі, вершковому маслі, яєчному жовтку, печінці риб та ін.



У рослинних продуктах ретинол не зустрічається. Однак багато з них (морква, шпинат, салат, петрушка, зелена цибуля, щавель, червоний перець, чорна смородина, чорниця, агрус, персики, абрикоси) містять каротин, що є провітаміном А, з якого в організмі утворюється ретинол. Вітамін А регулює процеси зроговіння, утворення і виділення секрету сальних залоз, необхідного для нормального росту волосся. Ретинол бере участь у синтезі родопсину, необхідного для підтримки імунітету і

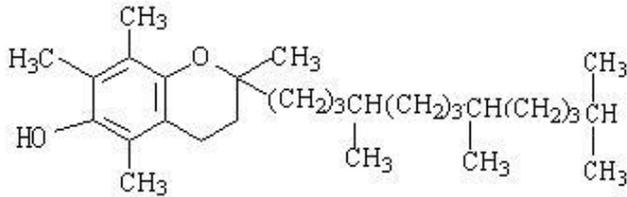
протипухлинного захисту організму. Препарати вітаміну А призначають для профілактики деяких захворювань очей, лікування уражень шкіри (обмороження, опіки). Застосовують вітамін А також у комплексній терапії рахіту й гострих респіраторних захворювань. Нестача вітаміну А в організмі викликає захворювання, відоме як "куряча сліпота". При надлишковому надходженні виникає гіпервітаміноз, проявами якого є нудота, випадання волосся, часті переломи кісток. Добова потреба – 1-2 мг.

**Вітаміни D** (ергокальциферол (вітамін D<sub>2</sub>), холекальциферол (вітамін D<sub>3</sub>), D<sub>4</sub>, D<sub>5</sub> та ін.) містяться переважно в організмі тварин і людини.



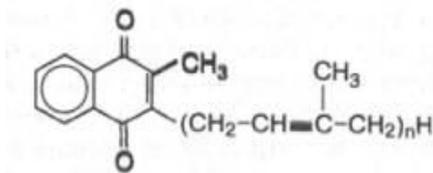
Основною властивістю цих сполук є здатність попереджати й лікувати рахіт, у зв'язку із чим їх іноді називають антирахітичними вітамінами. Вітамін D<sub>2</sub> у невеликій кількості міститься в харчових продуктах: ячному жовтку, вершковому маслі, молоці, ікрі, рослині. Вітамін D<sub>3</sub> утворюється в шкірі людини під впливом сонячних променів. Функціональною особливістю вітамінів D є їх участь у метаболізмі Кальцію. Вони сприяють його всмоктуванню в травному тракті, активують відкладення в кістках і перешкоджають резорбції з кісткової тканини. Вітаміни D регулюють також вміст Фосфору в організмі. Застосовують вітамін D для профілактики та лікування рахіту й захворювань кісток, викликаних порушеннями обміну Кальцію (остеомалаяція й деякі форми остеопорозу). Добові дози становлять в середньому 20-25 мкг для дорослих.

**Вітамін Е** (токоферолі) містяться в зелених частинах рослин, особливо в молодих паростках злаків, багаті токоферолами рослинні олії (соняшникова, кукурудзяна, арахісова, соєва, обліпихова).



Деяка кількість їх міститься також у м'ясі, жирі, яйцях, молоці. Відсутність вітамінів Е у їжі негативно позначається на здатності організму до розмноження. Тому вітамін Е називають вітамінами розмноження, або антистерильними вітамінами. Вітамін Е призначають при м'язових дистрофіях, порушеннях менструального циклу, загрозі переривання вагітності тощо. У людей авітаміноз Е практично не зустрічається, оскільки токоферолі дуже поширені в природі. Добова потреба становить близько 30 мг.

**Вітамін К** (філохінони) називають ще вітамінами коагуляції, оскільки вони стимулюють синтез проотромбіну і підвищують зсідання крові.



Вітамін К<sub>2</sub> (менахинон; n = 6, 7 или 9)

Крім того, вони прискорюють загоєння ран і регенерацію тканин після опіків, а також беруть участь в окисно-відновних процесах. У людини авітаміноз К зустрічається дуже рідко, оскільки цей вітамін у достатній кількості синтезується кишковою

мікрофлорою. Крім того, потреба організму людини в цьому вітаміні забезпечується вживанням продуктів рослинного (капуста, томати, салат) і тваринного (печінка, м'ясо) походження. Потреба людини у вітаміні К точно не встановлена.

### **Водорозчинні вітаміни (РР, Р, С, Н та група В).**

До водорозчинних вітамінів належить: вітамін С, Н, В13, В2, В1, В5, В6, В9, В12. Усі вони термостабільні, за винятком вітаміну С, який руйнується при нагріванні в присутності кисню та важких металів.

**Тіамін (Thiaminum) (вітамін В1).** Вітамін міститься в дріжджах, зернових і бобових рослинах (особливо в зародках рису, пшениці, гречки, жита), у пшениці, нирках, серці, молоці, ячному жовтку. Всмоктується в тонкій кишці.

Тіамін нормалізує шлункову секрецію, поліпшує регенерацію тканин, підвищує тонус парасимпатичної частини вегетативної нервової системи.

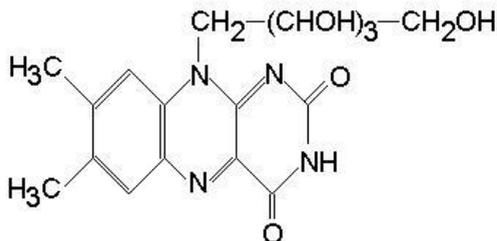
Застосовується тіамін при гіпо- й авітамінозах, а також як неспецифічний фармакологічний засіб, при захворюваннях периферичної та центральної нервової системи (неврології, ішіас, каузалгія, полі-неврити), порушеннях функції травного апарату, захворюваннях міокарда та при перевтомах.

При передозуванні тіаміну виникає шум у вухах, запаморочення, нудота, висипання на шкірі, кропив'янка, свербіння. Може виникати навіть тіаміновий шок, що є проявом алергічної реакції на препарат.

Добова потреба у вітаміні для дорослої людини 2-3 мг. При фізичній роботі, у дітей, у вагітних, в період годування груддю потреба у вітаміні зростає до 5-6 мг на добу.

**Рибофлавін (Riboflavinum) (вітамін В2).** Жовто-оранжевий кристалічний порошок, гіркий на смак, без запаху мало розчинний у воді. Рибофлавін дуже поширений у природі. Він міститься у

дріжджах, яєчному жовтку, печінці, серці, нирках, молоці, ікрі, рибі, м'ясі, зародках і оболонках злаків, гороху, листових овочах. Рибофлавін термостабільний, не руйнується при кулінарній обробці.

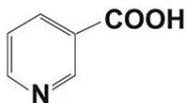


Цей вітамін входить до складу ферментних систем, що регулюють процеси окислювання і відновлення, а також білковий, жировий і вуглеводний обміни.

Добова потреба у рибофлавіні 1-3 мг. Велике значення для профілактики гіповітамінозу мають такі продукти, як пивні і пекарські дріжджі, гриби сир, печінка, молоко, бобові. Тепер рибофлавіном вітамінізують хліб і хлібобулочні вироби.

Рибофлавін застосовують для лікування гіпо- і авітамінозів цього вітаміну, а також як лікувальний препарат при екземах, дерматичних виразках, ранах, опіках, тріщинах сосків, блефаритах, кон'юнктивітах, при ураженнях рогівки ока.

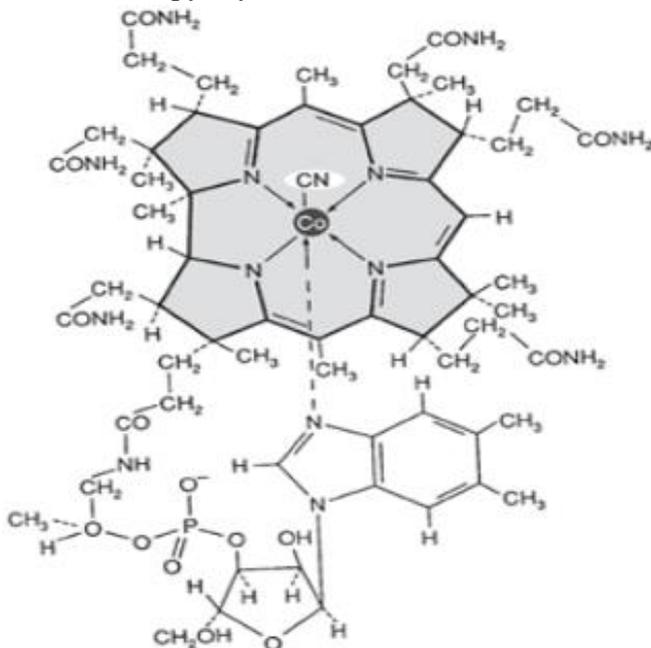
**Кислота нікотинова (Acidum nicotinicum) (вітамін PP, вітамін В3).** Білий кристалічний порошок, без запаху.



В організмі нікотинова кислота перетворюється в амід (вітамін PP). Цей вітамін відіграє важливу роль в окислювально-відновних процесах, входить до складу ферментів, які переносять кисень, регулюють тканинне дихання.

Нікотинова кислота й її амід стимулюють кровотворення і кістковому мозку, прискорюють процеси загоєння ран і виразок, посилюють секрецію шлунка та перистальтику кишок, а також поліпшують всмоктування різних речовин із кишок.

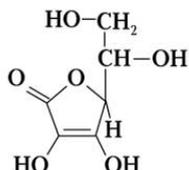
**Ціанокабаламін (Cyanocobalamin) (вітамін В12).** Кристалічний порошок темно-червоного кольору без запаху, гігроскопічний, мало розчинний у воді. Синтезується мікрофлорою кишок людини, але в недостатній кількості порівняно з витратами організму. Тваринні продукти є основним джерелом вітаміну. В людському організмі ціанокобаламін нагромаджується в печінці, нирках, стінці кишок. Всмоктування й засвоєння вітаміну погіршується або зовсім припиняється, якщо немає "внутрішнього фактора" – речовини білкової природи (мукопротеїду), яка виробляється залозами слизової оболонки шлунка і, з'єднуючись із вітаміном, запобігає його руйнуванню в кишках.



Ціанокобаламін застосовується при перніціозній (мегалобластичній) анемії, анемії вагітних, порушеннях

кровотворної функції кісткового мозку, при захворюваннях нервової системи (розсіяний склероз, гострий період поліомієліту, радикуліти, каузальгії, фантомний біль), при гострих і хронічних гепатитах, алергічних та шкірних захворюваннях, променевої хворобі, порушення росту й розвитку у дітей.

**Вітамін С** є лактоном, близьким за структурою до глюкози.



Є потужним антиоксидантом, так як бере участь в реакціях одно електронного переносу і, відповідно, може взаємодіяти з вільними радикалами, інактивуючи їх. При цьому аскорбінова кислота перетворюється в дегідроаскорбінову. 3. Відноситься до антиканцерогенів не тільки через її антиоксидантні властивості, але й через здатність безпосередньо запобігати нітрозаміновому канцерогенезу (нітрозаміни – це сильні канцерогени, що утворюються в кислому середовищі шлунку з нітриту і аміносполук їжі).

Аскорбінова кислота (вітамін С) не синтезується в організмі людини і потреба в ній задовольняється тільки з продуктами харчування. Тому в умовах голодного або напівголодного існування нестача аскорбінової кислоти найбільше позначається на здоров'ї. Якщо організм тривалий час не отримує цього вітаміну, розвивається авітаміноз – цинга, її ознаки – виснажене обличчя, набряклі, кровоточиві ясна; на тілі безліч червоних плям, синців від крововиливів. Те саме й на внутрішніх органах – серці, печінці, легенях, м'язах.

### Контрольні запитання

1. Значення вітамінів у харчуванні людини.

2. Класифікація вітамінів.
3. Вкажіть основні відмінності водо- і жиророзчинних вітамінів.
4. Які вітаміни можуть накопичуватися у організмі людини?
5. Які вітаміни зміцнюють імунітет?
6. Чому вітаміни потрібно отримувати регулярно?
7. Які продукти харчування багаті на вітаміни (оберіть один з вітамінів)?
8. Які вітаміни містяться у дріжджах?
9. Назвіть жирні кислоти, які належать до вітамінів.
10. Проаналізуйте, до яких класів органічних сполук належать основні вітаміни.

## **2.6. Основи збалансованого харчування.**

### **Енерговитрати та основні принципи збалансованого харчування.**

Шість груп речовин є основними хімічними компонентами їжі. Це вуглеводи (основне джерело енергії), жири (незамінні жирні кислоти), білки (незамінні амінокислоти), вітаміни, мінеральні речовини й вода. Кожна речовина виконує конкретну функцію в життєдіяльності організму й впливає на виконання фізичної роботи.

Основними джерелами енергії в тканинах організму є вуглеводи й жири. Жири виконують також структурну функцію. Білки можуть використовуватися як енергетичне джерело, однак основна їхня функція - структурна. Вітаміни входять до складу багатьох ферментів й є регуляторами різних метаболічних процесів. Мінеральні речовини також виконують регуляторну роль і входять у структуру різних тканин, особливо кісткової, і крові. Вода створює внутрішнє середовище організму й забезпечує протікання хімічних реакцій.

Організм людини здатний синтезувати й запасати багато живильних речовин, однак деякі з них в організмі не синтезуються. Вони називаються незамінними есенціальними факторами харчування й повинні надходити з їжею. При їхньому дефіциті порушуються обмінні процеси, а також процеси адаптації при м'язовій діяльності, можуть розвиватися захворювання.

Енергія в організм людини надходить із їжею у вигляді вуглеводів, жирів і білків. Як відомо, при окисненні 1 г вуглеводів, як і білків, виділяється 4 ккал (17 кДж), а жирів – 9 ккал (37 кДж) енергії. Знаючи хімічний склад харчових продуктів та їх калорійність, наведені в спеціальних таблицях, можна розрахувати калорійність будь-якого меню або дієти. Зазвичай калорійність або енергетична цінність продуктів виражається в кілокалоріях на 100 г продукту.

Добові енерговитрати організму людини включають основний обмін (мінімальна кількість енергії, необхідна для підтримки основних функцій організму й процесів біосинтезу в стані відносного спокою), специфічний – енерговитрати на травлення й всмоктування їжі (при змішаному харчуванні – у середньому 10-15% добової витрати енергії), а також енерговитрати на різні види діяльності.

Основний обмін залежить від віку, статі, маси тіла, зовнішніх умов, індивідуальних особливостей людини й становить у середньому у дорослого чоловіка з масою тіла 65 кг – 1600...1800 ккал, а у жінок з масою тіла 55 кг – 1300...1400 ккал. У дітей основний обмін на одиницю маси тіла в 1,5 рази вищий, ніж у дорослих, а в людей похилого віку – нижчий, ніж у дорослих.

Специфічний обмін – різна їжа потребує різні витрати енергії залежно від вмісту білків, вуглеводів і жирів. Найбільша витрата енергії відбувається при травленні білків (до 30...40 %). Для жирів вона становить 4...14 %, а для вуглеводів – 4...7 %. При збалансованому надходженні окремих компонентів їжі

спостерігається збільшення основного обміну в середньому на 10...15 %.

При різних видах діяльності, особливо при м'язовій активності, істотно збільшуються енерговитрати людини. Так, якщо при читанні книги основний обмін збільшується всього на 16 %, та при фізичному навантаженні – у кілька разів.

Основні принципи збалансованого харчування включають:

- рівновага між енергією, що надійшла з їжею, і енергією, що витрачається організмом у процесі життєдіяльності;
- задоволення потреб людини в певній кількості й збалансованому співвідношенні окремих харчових речовин;
- дотримання режиму харчування (певний час прийому й кількість їжі при кожному прийомі), оскільки робота організму визначається біоритмами;
- збалансованість поживних речовин, що досягає шляхом систематичного надходження в організм продуктів тварини й рослинного походження;
- забезпечення біологічно повноцінної, добре засвоюваної, доброякісної їжею, приготовленої відповідно до санітарно-гігієнічних правил.

### **Харчова цінність білків, жирів та вуглеводів.**

**Вуглеводи** займають одне з найважливіших місць у харчуванні людини, оскільки є основним джерелом енергії при інтенсивній м'язовій діяльності. Від запасів вуглеводів у кісткових м'язах і печінці залежить тривалість аеробної фізичної роботи або прояв високого рівня витривалості, а також час настання стомлення. Вуглеводи їжі забезпечують певний рівень глюкози в крові, що є основним енергетичним субстратом мозку, а також нагромадження запасів глікогену в кісткових м'язах і печінці.

Вуглеводи містяться в основному в продуктах рослинного походження (хлібі, крупах, макаронах, картоплі, цукрі, овочах і

фруктах) у вигляді моно-, ди- і полісахаридів. Ди- і полісахариди їжі в системі травлення піддаються ферментативному гідролізу й перетворюються переважно в глюкозу.

Моносахариди їжі представлені в основному глюкозою й фруктозою, які втримуються в багатьох фруктах, меді й називаються цукрами. В організм вони надходять у вільному виді або утворюються в процесі травлення з ди- і полісахаридів їжі. Кількість моносахаридів у харчуванні людей, особливо в літньому віці, має обмежуватися й не перевищувати 25...35 % загальної кількості споживаних вуглеводів.



Рис. 2.9. Тарілка здорового харчування  
(<https://d-grand.com/stend-tarilka-zdorovogo-harchuvannia>)

Основним компонентом харчового цукру й багатьох солодошів (цукерок, тортів, варення) є дисахарид сахароза. Сахароза розпадається на глюкозу й фруктозу. При розщепленні полісахаридів (крохмалю) у системі травлення утвориться дисахарид мальтоза, що розщеплюється на дві молекули глюкози. Одночасне споживання великої кількості сахарози, як і моносахаридів, може викликати гіперглікемію і її наслідки, тому виправдано тільки при необхідності швидкого відновлення запасів енергії.

У молоці й молочних продуктах перебуває дисахарид лактоза – молочний цукор. Це основний вуглевод їжі дітей першого року життя. У дорослому організмі може порушуватися засвоєння лактози. У зв'язку із цим розроблені окремі рекомендації про виключення молочних продуктів з раціону харчування. Однак лікарі спростовують таку думку, тим більше що кисломолочні продукти не містять лактози.

Полісахариди їжі представлені в основному крохмалем, що перебуває в рослинних продуктах (картоплі, крупах, хлібі, рисі й ін.), а також глікогеном - «тваринним крохмалем». У системі травлення людини крохмаль повільно розщеплюється до молекул глюкози, які поступово всмоктуються в кров, що не викликає гіперглікемії в крові. Тому в раціоні харчування повинні переважати полісахариди (до 65 %). Глікоген вноситься із продуктами харчування в малих кількостях.

Окремі групи вуглеводів розрізняються доступністю для гідролітичних ферментів у шлунково-кишковому тракті й швидкістю надходження глюкози в кров, що позначається як глікемічний індекс. Розрізняють продукти з високим, середнім і низьким глікемічним індексом, використання яких приводить до різного збільшення рівня глюкози в крові.

Харчові волокна – це полісахариди рослин, які в організмі людини в процесі травлення не розщеплюються. До них належать

целюлоза (клітковина), геміцелюлоза, а також пектин і лігнін. Вони проходять шлунково-кишковий тракт без змін і тому є баластовими речовинами.

Харчові волокна не є живильними речовинами, однак грають важливу регуляторну роль у процесах травлення різних речовин. Вони підсилюють просування харчової маси, утворення кишкового соку, жовчовиділення, стимулюють виведення з організму холестерину, сповільнюють процес усмоктування глюкози при великому споживанні цукру, а також зв'язують отруйні речовини й виводять їх з кишечника. Постійне надходження волокон в організм людини знижує ймовірність захворювання атеросклерозом, раком, а також поліпшує функцію шлунково-кишкового тракту. Проте надлишкова їхня кількість зменшує усмоктування мінеральних речовин (Fe, Ca, Mg, Cu), а також жиророзчинних вітамінів. Харчові волокна містяться у житньому хлібі, овочах (капусті, буряку, моркві), фруктах (яблуках, чорносливі). Норма споживання їх – 10-15 г доб<sup>-1</sup>.

**Жири** їжі, як і вуглеводи, є важливими енергетичними субстратами. Крім того, вони поставляють ненасичені жирні кислоти, які не синтезуються в організмі, але виконують важливі біологічні функції. На противагу вуглеводам, запаси жирів в організмі людини практично невичерпні.

Біологічна цінність жирів їжі визначається вмістом в них незамінних ненасичених, особливо поліненасичених, жирних кислот. До складу жирів їжі входять тригліцериди (нейтральні жири), які становлять близько 98 % загальної кількості жирів, а також фосфоліпіди й холестерин (2 %).

Тригліцериди, або нейтральні жири їжі надходять в організм людини із продуктами харчування тваринного й рослинного походження й можуть істотно розрізнятися складом жирних кислот. Так, жири тваринного походження (тверді жири), крім курячого і рибацького, містять в основному насичені жирні кислоти. З

ненасичених жирних кислот у їхній склад може входити функціонально важлива арахідонова кислота. У цих жирах накопичуються також вітаміни А і D. Рослинні жири їжі містять велику кількість ненасичених жирних кислот, в основному лінолеву й ліноленову кислоти, які необхідні для синтезу в організмі інших ненасичених жирних кислот, а також регуляторів дії гормонів – простагландинів. Ненасичені жирні кислоти поліпшують вихід у кров жирів, що синтезувалися в печінці, і запобігають їй від ожиріння, проявляючи ліпотропний ефект.

Фосфоліпіди їжі подібні за хімічним складом до фосфоліпідів організму людини. З ними в організм надходять поліненасичені жирні кислоти, фосфор, холін, інозит й інші речовини. Серед різних фосфоліпідів найбільше значення має лецитин, якому властивий ліпотропний ефект. Він також охороняє від розвитку атеросклерозу, стимулює процеси кровотворення, росту й розвитку організму. Лецитин знаходиться в продуктах тваринного походження: мозку, ікрі риб, печінки, яєчному жовтку, вершковому маслі. Добова потреба людини в лецитині становить 0,5 г.

Холестерол не є енергетичним субстратом, однак виконує багато функцій в організмі. Порушення його обміну приводить до розвитку захворювання серцево-судинної системи й ін. Однак прямий взаємозв'язок між надходженням холестерину з їжею й розвитком захворювань не підтверджений. Проте рекомендована раніше норма споживання холестеролу в кількості 600 мг доб<sup>-1</sup> останнім часом знижена до 300 мг доб<sup>-1</sup>.

Джерелами холестеролу є продукти тваринного походження: печінка, м'ясо, курячий жовток, вершкове масло, сметана. У рослинних продуктах холестерин майже відсутній. Поліпшують обмін холестерину вітаміни А, Е, С, РР, а також тривалого фізичного навантаження.

Добова потреба дорослої людини в жирах становить у середньому 30...35 % загальної калорійності їжі. З них тваринні

жири становлять 70 %, олія – 30 % (25...45 г залежно від інтенсивності роботи).

**Білки** – найважливіші компоненти харчування. Здатність білка виконувати функцію харчування характеризує його біологічну цінність. Ефективність споживання білкових речовин людиною визначається двома основними факторами: збалансованістю вмісту незамінних амінокислот у білку і його засвоюваністю.

Білки їжі в процесі травлення піддаються гідролізу й розпадаються на 20 різних амінокислот, які надходять у кров, доставляються в тканині, де використовуються для створення нових індивідуальних білків організму людини або в інших процесах. До складу білків входять 8 незамінних амінокислот, які організм не може їх синтезувати. Біологічна цінність білка їжі визначається двома параметрами: амінокислотним складом і засвоюваністю білка. Якщо в білку їжі є всі незамінні амінокислоти, він повноцінний і легко піддається ферментативному гідролізу в кишечнику, то біологічна цінність такого білка є максимальною. Високу біологічну цінність мають білки тваринного походження - яйця, м'ясо, риба, у яких біологічна цінність прийнята за 100 одиниць, тоді як білки продуктів рослинного походження – картоплі, кукурудзи, білого хліба й овочів - мають значно нижчу біологічну цінність: 67, 36, 30 одиниць відповідно.

Для нормального синтезу білка в організмі людини всі незамінні амінокислоти повинні надходити одночасно, тому що вони не запасуються в організмі. Тому білкове харчування повинне бути повноцінним. Якщо немає можливості одержувати білки тваринного походження, необхідно комбінувати рослинні білки, у яких містяться різні амінокислоти.

Ненадходження в організм окремих незамінних амінокислот викликає порушення синтезу структурних, ферментативних білків або гормонів, що приводить до зниження швидкості або навіть до припинення процесів росту, самовідновлення, зменшення маси тіла, а отже, і працездатності організму.

## **Хімічні забруднювачі харчових продуктів**

У організм людини з їжею і напоями надходить багато шкідливих речовин. До них належать сполуки, що утворилися в процесі технологічної та кулінарної обробки, а також побічні забруднювачі. Останні діляться на дві основні групи: екзогенні та ендогенні.

До екзогенних належать сполуки, які потрапили в харчові продукти із зовнішнього середовища. Наприклад, у рослинну продукцію – внаслідок застосування понаднормативних доз мінеральних добрив, пестицидів; у тваринницьку – стимуляторів росту тварин, антибіотиків. До цієї ж групи належать екстракти тари, технологічного обладнання, рештки дезинфікуючих або миючих засобів, промислових відходів тощо.

До другої групи відносять ендогенні речовини, що утворюються у сировині й продукції під дією хімічних і фізичних факторів, а також внаслідок взаємодії складових частин та екзогенних речовин.

Промислові викиди хімічних та радіоактивних відходів у навколишнє середовище спричиняють забруднення харчових продуктів; неправильне застосування пестицидів та хімічних добрив; використання недосконалої технології та обладнання при виробництві харчових продуктів і, як наслідок, потрапляння шкідливих домішок у кінцевий продукт або утворення шкідливих речовин під час виробничого процесу.

Забруднення харчових продуктів промислового походження – це складні органічні й металоорганічні речовини, які являють собою побічні продукти промислових, хімічних та інших процесів. У інших випадках шкідливі речовини з'являються внаслідок комплексної діяльності людини.

Забруднення, що потрапляють із навколишнього середовища, мають різну хімічну структуру. За фізичними

властивостями – це стабільні та стійкі у навколишньому середовищі сполуки, які мають здатність до біокумуляції.

У деяких промислових районах поширені такі канцерогенні речовини як багатоядерні ароматичні вуглеводні, антропоген, фенантрон, бензантрацен, пірен, бензопірен та інші сполуки з конденсованими ядрами. Вони є в повітрі, воді, копильному димі, вихлопних газах. Хоча ці речовини мають різну канцерогенну активність, проте необхідно повсякденно аналізувати продукцію на наявність у ній багатоядерних ароматичних вуглеводів.

За хімічною природою забруднювачі харчових продуктів надзвичайно різноманітні. До найбільш поширених і важливих відносять важкі метали та інші хімічні елементи, хлорорганічні сполуки (пестициди, діоксани), нітрати, нітроти, радіонукліди, поліциклічні ароматичні сполуки, нітрозаміни та інші канцерогени.

Меркурій (Hg) – один з найбільш небезпечних та високотоксичних елементів, здатний до накопичення в організмі рослин, тварин та людини. Джерелами забруднення сільськогосподарських продуктів меркурієм є пестициди, а морських та річкових – стоки целюлозної і паперової промисловості, а також хімічних підприємств. У повітрі ГДК для ртуті становить 0,0003 мг/м<sup>3</sup>, у воді – 0,0005 мг/л.

В харчових продуктах рослинного походження вміст ртуті не перевищує 100 мкг/кг. У продуктах тваринництва меркурій міститься ще в менших кількостях – до 70 мкг/кг. М'ясо риби відрізняється найвищим вмістом ртуті та її сполук: прісноводної риби 100 – 500 мкг/кг, океанської – 300 – 600 мкг/кг. Організм риб здатен синтезувати метилмеркурій, який накопичується в печінці при достатньому вмісті в їжі вітаміну B12.

Під час варіння риби та м'яса концентрація меркурію в них зменшується, при аналогічній обробці грибів – залишається без змін.

Органічні сполуки меркурію – стійкі сполуки, вони дуже повільно розкладаються та виводяться з організму. Вони здатні

накопичуватися в організмі до небезпечних концентрацій. Особливо небезпечною є метилмеркурій та алкільні сполуки, яким характерна висока токсичність (ураження центральної нервової системи, печінки, нирок та інші органи травлення) та мутагенність.

Кадмій (Cd) належить до пріоритетних забруднювачів. Джерелом забруднення кадмієм є арматура, зафарбована кадмієвими сполуками, та пластмаси, які використовуються в харчовій промисловості для машин та обладнання. Встановлено, що 80 % цього металу надходить в організм людини з їжею, 20 % через легені з атмосфери та при курінні.

Кадмій міститься в багатьох рослинних продуктах, мкг/кг: зернові – 28...95; горох – 15 ...19; картопля – 12...50; помідори – 10...30; фрукти – 9...42; рослинна олія – 10...50. У продуктах тваринного походження (в середньому), мкг/кг: молоко – 2,4; сир – 6; яйця – 23...250.

Цей мікроелемент, як було встановлено, спричиняє онкологічні захворювання. Тривала дія аерозолу кадмій оксиду, що надходить в організм з тютюновим димом, є причиною раку легенів, оскільки серед постраждалих від раку легенів 80 – 90% курці. Тютюн акумулює в кількості до 2 мкг/кг кадмій, що надходить з ґрунту, а це в багато разів перевищує гранично допустимий його вміст в основних продуктах харчування. За рекомендаціями ВООЗ безпечною є добова доза кадмію не більше 70 мкг, однак реальне його надходження з їжею і повітрям досягає 150 мкг/добу.

Плюмбум (Pb), як і кадмій і меркурій, належить до першої групи небезпеки. Його використовують при виготовленні сурику, свинцевих білил, глазури. Він відноситься до найбільш поширених та небезпечних токсикантів.

Сьогодні практично всі харчові продукти, вода та інші об'єкти навколишнього середовища забруднені плюмбумом. У результаті виробничої діяльності в природні води щорічно потрапляє 500 – 600 тис. тонн сполук плюмбуму, а на поверхню нашої планети через атмосферу його осідає до 400 тис. тонн. У

повітря основна частина плюмуvmісних сполук (260 тис. тонн) викидається відпрацьованими газами автотранспорту, а також (до 30 тис. тонн) при спалюванні кам'яного вугілля.

Середня кількість плюмбуму, який потрапляє в організм з харчовими продуктами, становить 250...300 мкг в день, з повітря надходить 90 мкг. При обробці продуктів основним шляхом потрапляння свинцю є жерстяний посуд, в яку зазвичай упаковують харчові вироби. Встановлено, що біля 20 % плюмбуму у щоденному раціоні людей надходить з консервованої продукції, в тому числі від 13 до 14 % з посуду, а 6...7% – з самого продукту.

Плюмбум не є життєво необхідним елементом, а для організму тварин і людини є токсичною речовиною з кумулятивними властивостями. В першу чергу в людському організмі сполуки плюмбуму вражають кровотворну, нервову, травну систему та нирки, а також має негативний вплив на статеву функцію організму.

Дефіцит в раціоні кальцію, феруму, пектинів, білків посилює засвоєння плюмбуму, а отже і його токсичність. За даними ВООЗ допустима добова доза плюмбуму становить 0,007 мг/кг маси тіла.

Арсен (As) широко розповсюджений у навколишньому середовищі. Він зустрічається майже у всіх ґрунтах. Світове виробництво миш'яку становить приблизно 50 тис. тон в рік. Останнім часом виробництво сполук арсену кожні 10 років зростає на 25%. В результаті широкого розповсюдження в навколишньому середовищі і використанні у сільському господарстві, сполуки арсену містяться в більшості продуктах харчування. Цей елемент також знаходить використання при виробництві напівпровідників, скла, барвників.

Зазвичай його вміст у продуктах харчування незначний – менш ніж 0,5 мг/кг, і рідко перевищує 1 мг/кг, за виключенням деяких морських організмів. Сполукам арсену характерний високий ступінь кумуляції, а тому їх надходження з їжею в значних кількостях може призвести до гострої або хронічної інтоксикації,

розвитку злоякісних новоутворень. Разова доза в 30 мг арсену є смертельною для людини. Механізм токсичної дії арсену пов'язаний з блокуванням ферментів, які контролюють тканинне дихання, поділ клітин, інші життєво важливі функції. Після ртуть арсен є другим за токсичністю забруднювачем харчових продуктів. Допустима добова доза арсену становить 0,05 мг/кг маси тіла.

Меркурій, кадмій, плумбум й арсен є особливо небезпечними ще й тому, що серйозної шкоди організмові завдають навіть мікроскопічні їх концентрації. При цьому особливо важливим є забезпечення екології довкілля, адже основним джерелом отруєння цими елементами є повітря, яким дихає людина.

Нітрати – це солі нітратної кислоти, які є природними сполуками і добре розчиняються у воді, а при нагріванні можуть переходити у нітрити з виділенням кисню. Нітрати продуктом обміну азотистих речовин для будь-якого живого організму. Тому «безнітратних» продуктів у природі не існує. Навіть в організмі людини за добу утворюється та використовується в обмінних процесах більше 100 мг нітратів.

Основними джерелами надходження нітратів в організм людини є, в першу чергу, рослинні продукти (досліджено, що від 58,7 до 86% добового надходження нітратів припадає на овочі). Основною причиною підвищеного вмісту нітратів в продуктах харчування є неконтрольоване використання азотних добрив у сільському господарстві. Іншим джерелом нітратів у сировині та продуктах харчування є нітратні харчові добавки, які вводять у м'ясні вироби для покращення їх харчових показників і пригнічення мікроорганізмів.

Технологічна обробка сільськогосподарських продуктів суттєво знижує вміст нітратів. Під час миття зелені (кропу, салату, петрушки тощо) кількість нітратів знижується на 20 %, а після двогодинного вимочування у воді на 30...60 %. Відварювання до готовності картоплі, буряків, моркви (після чистки і миття) дозволяє значно знизити концентрацію цих речовин.

Слід відмітити важливе значення нітритів у кольоротворенні м'ясних виробів. У виробництві м'ясних виробів для отримання приємного для споживача яскраво-рожевого кольору та запобігання небажаної зміни забарвлення м'яса після термічної обробки використовують суміш нітритів  $\text{NaNO}_2$  та  $\text{KNO}_2$ . Хронічна дія нітритів приводить до дії різних негативних факторів, в тому числі і онкогенних. Нітрати самі по собі не володіють вираженою токсичністю, однак одноразове вживання 1...4 г нітратів викликає у людей гостре отруєння, а доза 8...14 г може бути смертельною, особливо для дитячого організму.

### **Контрольні запитання**

1. Опишіть основні хімічні компоненти їжі.
2. Вкажіть основні джерела енергії для організму людини.
3. Від чого залежать енерговитрати організму?
4. Основні принципи збалансованого харчування.
5. Що визначає біологічну цінність білка їжі?
6. Чи варто повністю виключати з раціону жири?
7. «Швидкі» і «повільні» вуглеводи.
8. Які продукти містять холестерол?
9. Вкажіть основні забруднювачі харчових продуктів.
10. Які токсичні речовини можуть утворюватися в результаті неправильної кулінарної обробки продуктів?

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИ АНАЛІЗУ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

#### 3.1. Загальна характеристика методів дослідження харчових продуктів

##### **Показники якості та критерії безпеки харчових продуктів**

Як відомо, харчові продукти входять до числа об'єктів, найбільш важливих для безпеки сучасного суспільства. Це пов'язано, як з цілеспрямованою зміною складу сучасних харчових продуктів, так і погіршенням загальної екологічної ситуації на планеті. Раніше у складі харчових продуктів містилися лише природні інгредієнти, а тепер у більшості з них необхідно визначати синтетичні барвники, консерванти, ароматизатори, а також залишки пестицидів, важкі метали та інші токсичні речовини, що потрапили до продуктів з обладнання, тари та ґрунту.

Харчові продукти – це об'єкти тваринного або рослинного походження, які використовують у харчуванні людини як джерела енергії, смакових і ароматичних речовин. Існує багато пропозицій щодо визначення такого поняття, як «якість харчового продукту». Фактично якість харчових продуктів – це сукупність їх харчової цінності та споживчої вартості, яка залежить від складу сировини, рецептури продуктів, параметрів процесів їх виробництва та умов зберігання, якості упаковки. Визначення якості харчових продуктів включає в себе визначення властивостей, що характеризують здатність продуктів забезпечити усі фізіологічні потреби організму людини в поживних речовинах, встановлення органолептичних характеристик і безпечності продуктів для здоров'я споживачів.

Харчова цінність продуктів, тобто їхня біологічна й енергетична цінність характеризується доброякісністю (нешкідливістю) і засвоюваністю продуктів, вмістом та

співвідношенням поживних і біологічно активних речовин. Оптимальне співвідношення між білками, жирами і вуглеводами у продуктах для дорослих становить 1 : 1 : 4, для дітей молодшого віку – 1 : 1 : 3.

Біологічна цінність харчових продуктів – це збалансований вміст незамінних амінокислот, насичених жирних кислот, фосфоліпідів, вітамінів, мінеральних речовин, поліфенольних сполук. Для нормальної життєдіяльності людини їжа повинна містити понад 600 речовин, кожна з яких займає певне чітко визначене місце у складному механізмі біологічних процесів в організмі.

Енергетична цінність харчових продуктів визначається кількістю енергії, яка виділяється при окисненні жирів, білків і вуглеводів в організмі людини. Так, середня кількість енергії, що виділяється під час окиснення 1 г жиру дорівнює 37,7 кДж; 1 г білка – 16,7 кДж; 1 г вуглеводів – 15,7 кДж.

Безпека харчових продуктів – відсутність загрози шкідливого впливу харчових продуктів, харчових інгредієнтів та супутних матеріалів на людину при споживанні в загальноприйнятих кількостях, обмеження яких регулюються Міністерством охорони здоров'я України. Безпечність продукту – гарантія того, що продукти не завдають шкоди споживачу під час їхнього приготування або споживання, відповідно до їхнього призначення.

Шляхи забруднення харчової продукції. Основними шляхами забруднення продовольчої сировини та готових харчових продуктів є: аерогенний – осадження атмосферних викидів; гідрогенний – використання забруднених поверхневих вод для зрошення сільськогосподарських угідь; ґрунтовий – вирощування сільськогосподарських культур на забруднених ґрунтах; технологічний – використання харчових добавок і консервантів у

виробництві харчових продуктів; контактний – міграція небажаних хімічних речовин з пакувальних матеріалів до харчових продуктів.

Господарська діяльність привносить до харчових продуктів безліч контамінантів – «сторонніх речовин», які, попадаючи до складу продукту, змінюють його властивості. У харчові продукти і сировину можуть попадати: механічні домішки (пісок, мул, іржа, скло, частки глини); важкі метали (хром, цинк, ртуть, свинець та ін.) отруйні неорганічні речовини (миш'як, нітрити, нітрати, хромати); радіоактивні компоненти; токсичні органічні сполуки (ароматичні вуглеводні, діоксани тощо); залишки пестицидів та синтетичних мийних засобів на овочах і фруктах; хвороботворні мікроби (бактерії, віруси, цвілі, грибки); генетично-модифіковані речовини.

За придатністю до споживання харчові продукти поділяють на групи.

**1 група.** Продукти, призначені для харчування без обмежень, які мають гарні органолептичні властивості, нешкідливі для здоров'я і відповідають усім вимогам нормативної документації за гігієнічними показниками.

**2 група.** Придатні для харчування продукти зниженої якості, які не відповідають вимогам нормативної документації за окремими показниками. Але ці недоліки не роблять його небезпечним для здоров'я споживачів. Наприклад, менший, порівняно зі стандартним, вміст жиру у молочних продуктах, підвищений вміст вологи в сирах. Ці продукти допускаються до реалізації за умови повідомлення споживача про їх знижену харчову цінність.

**3 група.** Умовно придатний продукт, який має недоліки, які не дозволяють використовувати його у харчуванні населення. Тобто має місце погіршення органолептичних властивостей, забруднення патогенними мікроорганізмами чи їх токсинами, пестицидами тощо. Уповноважені особи повинні чітко визначати шляхи переробки або знищення такої продукції.

**4 група.** Фальсифікований продукт – продукт, природні властивості якого змінено з метою введення в оману споживача. Наприклад, напої із концентратів, води, замінників цукру і барвників з маркуванням «соки», вершкове масло із заміною молочного жиру рослинним з маркуванням «вершкове масло», горілка з неочищеного спирту тощо. Такі продукти не підлягають реалізації і після узгодження з санітарними установами переробляються на технічні цілі.

**5 група.** Продукти-сурогати виробляються для заміни природних. Такі продукти зовнішньо не відрізняються від натуральних за виглядом і смаком, але переважно мають знижену харчову цінність (штучна ікра, кава зі злакових). Сурогати надходять у реалізацію, якщо вони нешкідливі для здоров'я людини.

Харчові продукти вважають доброякісними і безпечними лише у випадках, якщо їх вміст не перевищує законодавчо визначені гігієнічні норми або вони не містять шкідливих речовин. Шкідливою вважають всяку речовину, яка в процесі споживання чи при контакті з організмом людини спричиняє небажані відхилення в стані, як її здоров'я, так і наступних поколінь.

В основу показників безпеки покладені вимоги щодо обмеження допустимих рівнів вмісту в харчових продуктах потенційно небезпечних для здоров'я речовин хімічного та біологічного походження. Науковому обґрунтуванню підлягають два види нормативів різного призначення.

Допустима добова доза (ДДД) – максимальна доза ксенобіотику (у мг на 1 кг маси тіла), щодобове надходження якої в організм протягом усього життя безпечно для здоров'я людини і її потомства. Добуток ДДД на масу тіла стандартної людини (60 кг) являє собою ДДН – допустиме добове надходження чужорідних хімічних речовин у складі раціону.

Гранично допустима концентрація (ГДК) речовин в продуктах обмежують вміст ксенобіотиків в одиниці маси або об'єму окремого продукту (у мг на 1 кг або 1 дм<sup>3</sup>) так, щоб його сумарний вміст у добовому продуктовому наборі не перевищував ДДН.

Нормативи вмісту контамінантів у харчових продуктах представлені в документах МОЗ України та Державних санітарних нормах та правилах. Найкращою в світі визнана європейська система безпеки харчових продуктів, а європейський споживач є найбільш захищеним. Одними з головних законодавчих актів ЄС, є директива 93/43/ЄЕС «Про гігієну харчових продуктів», яка регламентує сферу застосування НАССР – системи управління безпекою харчових продуктів. Концепція НАССР передбачає систематичну ідентифікацію, оцінку й керування небезпечними факторами, які впливають на безпеку харчової продукції. Використання системи НАССР дозволяє перейти від випробувань готового продукту до розробки запобіжних методів забезпечення якості і безпеки на кожному з етапів його виробництва.

У 2015 році набрав чинності закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів». Його називають євроінтеграційним, оскільки він побудований на принципах НАССР, що діють в країнах ЄС. Для створення дійсно ефективної системи контролю, яка б захищала населення України від споживання недоброякісних харчових продуктів, необхідно мати спеціальні лабораторії, оснащені сучасним устаткуванням, апробовані методики відповідних аналізів, контингент кваліфікованих фахівців-аналітиків.

### **Класифікація і характеристика методів аналізу харчових продуктів**

Однієї з проблем, що виникають перед фахівцями харчової промисловості, є розробка оперативних і точних методів визначення

властивостей і складу харчової продукції, оцінки їх безпеки. Існуючі методи дослідження харчових продуктів класифікують за такими критеріями.

Залежно від рівня кваліфікації дослідника і частоти проведення аналізів методи поділяють на: однотипні методи, які проводяться в санітарно-харчових або заводських лабораторіях при масовому виробництві харчової продукції та індивідуальні, які проводять з певною метою під час наукових досліджень або при проведенні спеціальних експертиз харчових продуктів.

Залежно від складності проведення аналізів та ступеня достовірності результатів методи дослідження харчових продуктів поділяють на такі групи. Експрес-методи – прискорені методи визначення властивостей, або складу харчових продуктів, що дають приблизні дані по тим чи іншим показникам. Експресні методи забезпечують проведення аналізів в строк до 20 хвилин після одержання матеріалу. Експресні методи можуть здійснюватися безпосередньо в умовах виробництва, у місцях зберігання, реалізації та споживання харчових продуктів. Найбільш поширеними з них є хімічні тестові методи, що ґрунтуються на чутливості відповідних хімічних реакцій. Експресні методи служать для проведення суцільних перевірок зразків продуктів, які не викликають особливих підозр.

Арбітражні методи аналізу, що пройшли перевірку на достовірність одержуваних даних у різних лабораторіях і використовуються при суперечностях постачальників і покупців.

Стандартизовані методи аналізу, що пройшли перевірку на достовірність одержуваних результатів не менш, ніж у 8 лабораторіях, та увійшли до відповідних стандартів якості харчової продукції.

Експертні методи аналізу, які застосовуються експертами вищої кваліфікації, що володіють оригінальними методиками

досліджень. Залежно від способу проведення аналізів методи дослідження якості харчової продукції поділяють на такі групи.

Соціологічні методи, що ґрунтуються на зборі та аналізі думок споживачів продукції. Методи здійснюються шляхом опитування або розповсюдження анкет, проведення конференцій, нарад, виставок, дегустацій.

Реєстраційні методи – це методи визначення індексу якості продукції ґрунтуються на інформації, отриманій шляхом запису та підрахунку кількості певних подій, предметів та витрат, наприклад, підрахунок кількості дефектних продуктів у партії харчових продуктів.

Органолептичні (сенсорні) методи використовують для визначення комплексу показників, що визначають властивості продовольчої сировини та харчових продуктів за допомогою органів почуттів: зору, нюху, смаку і дотику.

Інструментальні методи, які здійснюються за допомогою приладів або хімічного аналізу – це найбільш поширені методи аналізу харчових продуктів.

### **Органолептичні методи аналізу**

Органолептичні методи використовують для визначення комплексу показників, що визначають властивості продовольчої сировини та харчових продуктів за допомогою органів почуттів: зору, нюху, смаку і дотику (рис. 1.1). Органолептичний (сенсорний) аналіз має основне значення в оцінці харчової цінності продуктів під час проведення їх експертизи. Незважаючи на уявну простоту, доступність і швидкість органолептичних методів, потрібні значні знання та навички їх здійснення.

Експертну дегустаційну оцінку продуктів повинні здійснювати особи, що пройшли перевірку на сенсорну чутливість – здатність сприймання зовнішнього імпульсу за допомогою органів почуттів під час проведення сенсорного аналізу. Сенсорний аналіз

проводять спеціалісти, в яких попередньо перевірені органи почуттів, що гарантує точність і відтворюваність результатів.



Рис. 1.1. Класифікація органолептичних показників

Серйозною перевагою органолептичного аналізу є можливість за дуже короткий строк одержати уяву про комплекс властивостей продуктів, які визначають їх органолептичну цінність. На методи визначення органолептичних показників більшості продуктів розроблена відповідна нормативно-технічна документація. Для кількісного вираження органолептичних властивостей харчових продуктів часто застосовують систему балових оцінок. Кожний бал відповідає певним умовам якості, які характеризуються словесним описом.

Слід зазначити, що перевірка харчових продуктів шляхом дегустації має низку недоліків, а саме суб'єктивність і недостатню оперативність. Точність результатів органолептичного аналізу залежить від кваліфікації дегустаторів, що володіють унікальними здібностями, та умов проведення досліджень. Під час проведення органолептичних досліджень слід урахувати також, що на органи почуттів людини суттєво впливають традиції і смаки, що склалися у суспільстві. Крім того, органолептичними методами не можна

визначити точний хімічний склад харчової продукції, наявність в них токсичних речовин, радіоактивних компонентів, хвороботворних мікроорганізмів тощо.

### **Інструментальні вимірювальні методи**

При дослідженні харчових систем велике значення мають інструментальні методи, які методи дозволяють здійснювати більш ретельний контроль якості харчових продуктів, ніж органолептичні методи. Їх широко застосовують при проведенні експертиз, які дозволяють з великою точністю визначати в продуктах вміст токсичних мікроелементів. Дослідження при цьому зазвичай здійснюють висококваліфіковані спеціалісти з використанням високоякісних приладів та устаткування в акредитованих лабораторіях.

Сутність більшості інструментальних методів полягає у використанні властивостей харчових продуктів або процесів, що перебігають в них, які здатні перетворитися на аналітичний сигнал, який у свою чергу реєструється. Залежно від параметрів, що визначають, і природи процесів, які застосовують для одержання сигналу, інструментальні методи дослідження можна поділити на фізичні, хімічні, фізико-хімічні. Крім того, існує група методів – біохімічних, біологічних, фізіологічних, яку теж відносять до інструментальних методів у випадках, якщо під час їх проведення застосовують відповідні прилади.

Фізичні методи досліджень відрізняються високою продуктивністю й дозволяють визначати показники, що являють собою властивості харчових продуктів, або їх величина пов'язана з цими властивостями простою залежністю. Фізичні методи дозволяють визначити структуру, стан, а також вміст основних компонентів в продуктах. Фізичними методами насамперед визначають густину харчових систем (за допомогою ареометрів), температури їх кипіння і кристалізації (за допомогою термометрів),

прозорість або каламутність (за допомогою фотоколориметрів або нефелометрів), коефіцієнти заломлення світла (за допомогою рефрактометрів). При застосуванні акустичних методів вимірюють швидкість розповсюдження ультразвуку в розчинах, яка в певних діапазонах хвиль пропорційна їх концентрації.

Термічні методи аналізу дозволяють вимірювати теплові ефекти, що супроводжують процеси нагрівання, висушування, охолодження речовин, визначати теплофізичні властивості цих речовин. Теплофізичні властивості продуктів (теплоємність, теплопровідність) необхідні для розрахунків тривалості термічної обробки сировини, для визначення кількості теплоти з метою створення оптимальної температури продуктів під час їх зберігання.

Реологічні методи аналізу мають особливе значення при аналізах харчової продукції. Вони ґрунтуються на вимірюванні деформації речовин, і дозволяють визначати вплив різних факторів на такі властивості продуктів, як в'язкість, міцність, еластичність, пружність (за допомогою віскозиметрів, консистометрів). Цими методами визначають консистенцію вершкового масла, пластичність тіста, твердість плодів, пружність мармеладу тощо. Хімічні методи аналізу призначені для визначення складу харчових продуктів. У хімічних методах використовують здатність компонентів харчових продуктів вступати в характерні для них хімічні реакції.

Хімічні методи аналізу головним чином застосовують для встановлення вмісту білків, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин у складі харчових продуктів. Найбільш 11 поширеними з них є титрометричні та гравіметричні, для проведення яких потрібні лише реактиви, індикатори, хімічний посуд, скляні прилади, ваги.

Фізико-хімічні методи аналізу (ФХМА) використовують під час керування процесами виробництва харчових продуктів, при визначенні складу і властивостей харчової продукції, при проведенні сертифікаційних досліджень та різноманітних експертиз. Вони базуються на вивченні фізичних явищ, що

відбуваються під час хімічних реакцій. Під час аналізів вимірюють певні властивості продуктів, так звані аналітичні сигнали, величина яких залежить від природи й концентрації компонентів у продукті. ФХМА застосовують для кількісного визначення вмісту поживних компонентів у харчових продуктах, наявності в них мінеральних речовин, небажаних або токсичних домішок.

Основними ФХМА є оптичні (рефрактометричний, нефелометричний, фотоколориметричний, поляриметричний); спектральні (спектрометричний, люмінесцентний, мас-спектральний); електрохімічні (кондуктометричний, потенціометричний, кулонометричний); хроматографічні (газова і рідинна колонкова хроматографія, тонкошарова і паперова хроматографія).

Широке застосування інструментальних ФХМА пов'язано з тим, що за своїми метрологічними характеристиками вони переважають інші методи аналізу. Вони мають значно більшу чутливість, ніж хімічні методи. Якщо хімічними методами можна визначити вміст таких речовин у розчинах в кількості  $\sim 10^{-5}$  моль/л, то ФХМА забезпечують надійне визначення токсичних домішок або корисних мікроелементів в кількості  $\sim 10^{-9}$  моль/л ( $10^{-10} \dots 10^{-8}$  мас. %).

Біохімічні методи використовують для визначення харчової та біологічної цінності харчових продуктів. Вони ґрунтуються на використанні ферментів та імунних систем як хімічних реагентів. Тому, незважаючи на специфіку ферментів (особливості походження, умови зберігання), біохімічні методи певною мірою можна віднести до хімічних інструментальних методів.

Біологічні методи – методи, в яких живі організми при визначенні токсичних речовин застосовують як аналітичні індикатори. Індикаторами звичайно служать мікроорганізми (бактерії, дріжджі, цвілі, гриби), водорості, водні тварини. Біологічні методи базуються на тому, що для життєдіяльності живих істот – їх розмноження й функціонування необхідне

середовище певного хімічного складу. Змінюючи склад середовища фіксують зміни в поведінці організмів. Біологічні методи поділяють на мікробіологічні та фізіологічні.

Мікробіологічні методи застосовують для визначення ступеня заплідненості продукції мікроорганізмами, їх видовий і кількісний склад. Особливо це стосується виявлення наявності бактерій, що викликають харчові отруєння (ботулінус, золотавий стафілокок та ін.).

Фізіологічні методи використовують при розробці нових видів харчової продукції, харчових добавок та пакувальних матеріалів. Цими методами досліджують радіопротекторні властивості, лікувальний ефект, ступінь засвоєння поживних речовин, реальну енергетичну цінність харчових продуктів. Лабораторні досліди проводяться на піддослідних тваринах, клінічні, як правило, – на людях-добровольцях.

### **Вибір методів аналізу при дослідженні харчових систем**

Вибір методів аналізу при дослідженні харчових систем. Найвідповідальнішою операцією при дослідженнях харчової продукції, є вибір оптимального методу аналізу. Вибираючи метод аналізу необхідно знати мету і задачі дослідження, оцінити переваги відомих методів аналізу. Вибір методу аналізу залежить від типу задач, які стоять перед дослідником харчової продукції. Є дослідницькі завдання, такі як оцінка амінокислотного складу продуктів або вивчення ступеня збереження вітамінів під час переробки сировини. І є масштабні практичні роботи, такі як оцінка жирності м'ясних і молочних виробів. У першому випадку для аналізу застосовують нові методи дослідження. В інших випадках проводять апробацію стандартизованих методів контролю якості харчової продукції до досліджуваних зразків харчової продукції. Далі із сукупності існуючих методів аналізу вибирають метод, найбільш доцільний для даного типу виробів. Аналіз харчових продуктів зводиться до відпрацювання трьох етапів: відбір

типових для продукту зразків, підготовка зразків до аналізу з мінімальними втратами компоненту і виконання безпосереднього аналізу. На цей час існує низка різних стандартизованих методів визначення складу харчових продуктів. Це пов'язано з тим, що різні типи продукції суттєво розрізняються за своїм складом, структурою та властивостями. Одним з основних критеріїв, за якими вибирають методи аналізу харчової продукції, є їх метрологічні характеристики і діагностична здатність. Під час метрологічної оцінки методики аналізу користуються наведеними нижче поняттями. Специфічність (селективність) методики – здатність оцінювати аналізовану речовину за присутності інших компонентів. Специфічність для різних типів випробувань означає ідентифікацію – однозначний доказ того, що визначено наявність або вміст саме досліджуваної речовини. Правильність методики вказує ступінь відповідності між дійсною величиною параметру і його значенням, одержаним за даною методикою. Чутливість методики – мінімальна кількість аналізованої речовини у зразку, яку можна кількісно визначити з необхідною точністю. Точність результатів виражає ступінь розкиду результатів для серії вимірювань, які виконані за даною методикою при відборі різних проб одного й того ж зразка. Точність методики зазвичай характеризують відносною похибкою вимірювань або відносним стандартним відхиленням для серії вимірювань. Відтворюваність результатів характеризує точність однакових експериментів, проведених в різних лабораторіях.

Межа виявлення – мінімальна кількість аналізованої речовини у зразку, яку можна виявити (при цьому не обов'язково має бути визначено її точне значення). Для встановлення межі виявлення використовують візуальну оцінку, співвідношення сигнал/шум, параметри калібрувальної прямої та ін.

Вибраний метод аналізу сировини та харчових продуктів мусить забезпечити правильність і специфічність методики, точність та відтворюваність результатів визначення, відповідність

усім вимогам установ Держстандарту щодо контролю якості та безпеки харчової продукції.

### **Контрольні запитання**

1. Що розуміють під визначенням «якість продуктів харчування»?
2. Які методи визначення якості продуктів харчування ви знаєте?
3. Охарактеризуйте систему показників якості продуктів. Які з них найбільш важливі і чому?
4. Що відноситься до органолептичних показників якості і які підходи до їх оцінки?
5. Вказати шляхи забруднення харчової продукції.
6. Як поділяють харчові продукти за придатністю до споживання.
7. Вкажіть інструментальні вимірвальні методи.
8. Як правильно вибрати методи аналізу при дослідженні харчових систем?

### **3.2. Хімічні тестові методи дослідження**

#### **Загальна характеристика тестових методів аналізу**

Хімічні тест-методи – прості й дешеві способи визначення речовин, що не вимагають істотної підготовки проби, приготування реагентів, використання складних приладів, а головне – не потребують залучення висококваліфікованого персоналу. При аналітичних дослідженнях користуються такими поняттями.

Тест – у хімічному аналізі означає швидку й просту оцінку присутності або вмісту певної хімічної сполуки або компонента у досліджуваному зразку. Тест-засоби – компактні, легкі й звичайно дешеві прилади для тестування, набори або системи пристосувань для тестування. Тест-методика – інструкція, що описує процедуру

проведення тесту, включаючи відбір проб, виявлення компонентів або визначення параметрів. Тест-система – просте в застосуванні технічне обладнання, що дозволяє виявляти в об'єкті певні компоненти й робити висновок про їх вміст. Тест-системи класифікують як інструмент аналітичної хімії, що не є окремо ні методикою аналізу, ні засобом вимірювання, а поєднує ці функції в компактному виробі.

Засоби, що використовують в тестових методах, як правило, одноразові. У сучасних тест-системах використовують фасовані готові розчини в ампулах, порошки, гранули, таблетки, індикаторні смужки, індикаторні трубки тощо.

Тестові методи базуються на чутливих «кольорових реакціях», під час перебігу яких в тест-системі з'являється або зникає забарвлення, утворюється осад, забарвлюється полум'я. Якісні хімічні реакції, що застосовують в тест методах, мають бути специфічними до досліджуваних компонентів, давати контрастні кольори; протікати практично миттєво; відрізнятися високою чутливістю, дозволяючи виявляти компоненти при їх вмісті меншому за ГДК.

При проведенні тестів на індикаторну зону тест-засобу наносять досліджуваний розчин або занурюють його в цей розчин. За появою візуального ефекту судять про наявність або відсутність у розчині шуканої речовини. Приблизний вміст речовини оцінюють за величиною забарвленої індикаторної зони тест-засобу або інтенсивністю її забарвлення. Для цього застосовують колірні шкали порівняння – набори зразків, забарвлення яких відповідає точно встановленим концентраціям розчину.

У таблиці 3.1 наведені приклади деяких хімічних тестових методів аналізу харчових продуктів, що ґрунтуються на якісних реакціях.

Хімічні тест-системи є незамінними для одержання експресної сигнальної інформації про надзвичайні ситуації: масові

отруєння людей неякісними харчовими продуктами, забруднення води під час технологічних аварій і т. п.

Таблиця 3.1

Виявлення контамінантів за допомогою якісних реакцій

Продукт	Сполука, що визначається	Реагент	Якісна реакція
Мед	Цукровий сироп	Розчин $\text{AgNO}_3$	Утворення білого осаду
Спирт і горілчані вироби	Метанол	Порошок борної кислоти	Забарвлення усього полум'я у зелений колір
	Сивушні масла	Концентрована $\text{HCl}$ і бензол	Поява темно-бурого забарвлення
Молоко	Сода	0,2 % розчин розолової кислоти в спирті	Поява малиново-червоного забарвлення

Тест-методи дають миттєву інформацію про наявність токсичних речовин або патогенних мікроорганізмів у продуктах, їжі, напоях, джерелах природної води безпосередньо на місцях їх виробництва, реалізації або споживання. Це заощаджує час і кошти, як на доставку проб у лабораторію, так і на проведення самого аналізу. При аналізі на місці («on-site») знижуються вимоги до кваліфікації виконавця аналізу.

Сучасні тест-системи часто використовують для скринінгу – попередній оцінки наявності компонентів у досліджуваних об'єктах, яка передбачає, якщо це необхідно, подальше детальне дослідження. Скринінг здійснюють при виявленні нітратів в овочах і фруктах, що продаються на ринках і за межами міст прямо з

машин. Аналіз на місці (on-site) здійснюється в режимі реального часу. Це дозволяє без зволікань почати дії по усуненню джерел або наслідків надзвичайних подій, не чекаючи результату лабораторних аналізів. Тестові методи аналізу мають низку переваг порівняно з лабораторними, а саме: тест-методи забезпечують суттєву економію часу; виявлення й визначення речовин не вимагає підготовки проб; аналіз може здійснити навіть не фахівець; аналіз здійснюють без використання складного устаткування, приладів, комп'ютерної техніки, іноді взагалі без самої лабораторії; аналіз не вимагає складної обробки результатів; аналіз здійснюється засобами одноразового використання.

Разом з тим тестові методи аналізу мають низку недоліків. Як правило, тест-методи дозволяють визначати лише один компонент або параметр. Більшість тест-систем призначені для аналізу тільки окремих видів продукції. Хімічні тест-системи не дозволяють визначати слідові кількості речовин у зразках продуктів. Точність тестових методів необхідно перевіряти порівнянням їх результатів з даними аналізів, отриманих стандартизованими для даного виду продукції методами. Результат тестових методів не може бути підставою для одержання офіційних висновків про безпеку харчових продуктів, наприклад при подачі позовних заяв.

### **Тест-засоби, що застосовують в експрес-аналізах харчової продукції**

Фасовані стандартні розчини в ампулах і крапельницях. Під час приготування тест-засобів стандартні розчини фасують в ампули або крапельниці. Звичайно застосовують набори розчинів різних концентрацій, які містять не тільки аналітичний реагент, але й допоміжні речовини: відновники, окисники, буферні суміші, маскувальні агенти тощо. Готові розчини додають з крапельниць або використовують ампули, які здатні самочинно заповнюватися. Такі ампули з відтягнутими і надрізнаними кінчиками готують під вакуумом. Ампулу опускають у склянку з досліджуваною рідиною,

кінець ампули при натисканні відламують і рідина піднімається в ампулу за рахунок створеного в ній вакууму. В ампулі перебігає хімічна реакція, результат якої оцінюють візуально. Результати тестування вважаються позитивними, якщо колір реакційної суміші збігається з колірною міткою на пакеті. Ампули широко застосовують для аналізів природної і питної води, молока і молочних продуктів.

У випадках застосування наборів для тест-титрування рідину поміщають у скляний флакон, додають індикатор і при перемішуванні вливають по краплях розчин титранту з крапельниці до зміни кольору індикатору. Вміст компонента в рідині визначають за числом доданих крапель титранту. Існують набори для визначення твердості води, вмісту в розчинах хлоридів, ціанідів, нітратів, нітритів, фенолу, формальдегіду та ін.

Головний недолік тест-систем полягає в тому, що порівняння кольору зразків здійснюють неозброєним оком, що робить аналіз не достатньо чутливим. Для підвищення точності тестових методів під час порівняння інтенсивності забарвлення розчинів застосовують компаратори світла.

Компаратори – прилади, що забезпечують спостереження двох близько розташованих зорових полів, освітлених стандартним випромінюванням.



Рис. 3.2. Компаратор Lovibond 3000

На рис. 3.2 наведено зовнішній вигляд сучасного компаратору «Lovibond 3000», в якому колір рідких зразків візуально порівнюється з кольором скляних еталонів, розташованих на дисках. Комплектація компаратору складається з базової системи з призмою, в якій відбувається порівняння кольору зразка з еталоном, низки пофарбованих скляних еталонів; набору кювет або пробірок для зразків.

Для багатьох харчових та хімічних продуктів затверджені міжнародні стандарти для забезпечення контролю їх кольоровості та відповідності специфікаціям. У таблиці 3.2 наведені деякі з традиційних шкал кольоровості, які адаптовані до промислових стандартів.

Таблиця 3.2

Стандартні шкали кольоровості

Шкала кольоровості	Діапазон	Об'єкти застосування
Бета-каротинова	ppm	Вміст бета-каротину у харчових продуктах
ЕВС, ASBC	2...27 у.о.	Кольоровість пива, карамелі, оцту
FAC	1...45 у.о.	Кольоровість темних олій і жирів
Йодна шкала	1...500 у.о.	Масла і хімічні продукти, що мають колір від блідо-жовтого до коричневого
Платиново-кобальтова шкала Хазена/АРНА	0...500 мг	Прозорі органічні розчинники та олії, гліцерин, спирти, природна вода
Ловибонда RYBN	0,1...70 у.о.	Кольоровість олій і жирів, восків

Як відомо, кольоровість – це один з основних критеріїв якості води та ефективності її очистки. Для вимірювання рівня

кольоровості води застосовують платино-кобальтову шкалу, яка здатна імітувати колір природної води. За цією шкалою кольоровість вимірюють в умовних одиницях (градусах Хазена). За одиницю прийнято колір розчину в якому міститься 1 мг/л платини у вигляді  $K_2[PtCl_6]$  і кобальту – 0,5 мг/л у вигляді  $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ . Чим вище концентрація вказаних вище речовин, тем інтенсивніше жовто-коричневе забарвлення води та більшими є значення її кольоровості.

**Індикаторні порошки.** Індикаторні порошки являють собою суміш подрібнених реагентів або сипучі інертні матеріали, що виконують роль матриці, на поверхню якої нанесені реагенти. Аналіз, що здійснюють за допомогою порошоків, достатньо простий. У склянку вносять певний об'єм досліджуваного розчину і суху суміш реактивів. Після перемішування оцінюють інтенсивність забарвлення розчину або порошку. Інтенсивність забарвлення порівнюють зі зразками приданої колірної шкали, по якій визначають концентрацію досліджуваного компоненту. Висока прозорість порошоків забезпечує необхідну чутливість аналізу.

Основою порошоків служать нерозчинні оксиди, основи, солі. Із солей звичайно застосовують карбонати кальцію, барію, магнію, сульфат барію. Реагенти наносять на їх поверхню шляхом осадження з розчинів. Так, під час аналізу на наявність в оліях вільної води на поверхню кристалів солі наносять порошок фуксину, який розчиняючись у воді, утворює червоне забарвлення.

Одним з найпоширеніших неорганічних носіїв реагентів є порошки силікагелю та його ксерогелю (сухого гелю). Індикаторні реагенти наносять на їх поверхню шляхом адсорбції. Такі ксерогелі застосовують для накопичення мікроелементів на твердій фазі та їх наступного визначення колориметричним методами після десорбції розчинником.

**Індикаторні трубки.** Скляні індикаторні скляні трубки використовують для експрес-аналізів газів і рідких розчинів. Індикаторні трубки заповнюють твердим сорбентом із закріпленим на ньому реагентом, який змінює своє забарвлення при пропусканні через трубку газу або розчину певного об'єму. Заповнення трубок рідиною здійснюють за допомогою шприца або за рахунок гідростатичного тиску, опускаючи трубку в рідину й тримаючи, доки вона підніметься до кінця шару сорбенту. У результаті взаємодії між реагентом і досліджуванним компонентом на поверхні сорбенту утворюється забарвлена сполука. Довжина забарвленої зони пропорційна концентрації компоненту. На довжину зони впливає режим введення розчину в трубку, її довжина та внутрішній діаметр. Як сорбент в індикаторних трубках звичайно застосовують порошки силікагелю з нанесеними хромогенними реагентами. Реагенти повинні давати контрастні кольорові реакції, міцно триматися на поверхні порошоків, бути специфічними.

Дуже поширеними на цей час є індикаторні трубки «Gastec», що являють собою запаяні скляні трубки, заповнені сорбентом-індикатором, одержаним з використанням золь-гель-технології. Вони дозволяють визначати вміст S, Cl, Hg, Ni, Fe, Cu та інших елементів на рівні 0,5 мг/л. Трубки «Gastec» входять до складу комплексів служб санітарного контролю, підрозділів МНС.

**Таблетки з пінополіуретану.** Пінополіуретан (ППУ) – полімерний сорбент, гідрофобна матриця якого містить хімічно-активні групи різної природи, що дозволяє застосовувати його для ефективної сорбції як неполярних, так і полярних молекул. Пористий ППУ – це дешевий, інертний і безбарвний матеріал, який застосовують як твердий носій для органічних реагентів, що здатні рівномірно розподілятися по його об'єму. Після перебігу якісної «кольорової» реакції таблетки ППУ набувають забарвлення, характерного для сполук, що виявляють.

При роботі застосовують суміші реактивів сформовані у вигляді таблеток, горошин або кубиків з ППУ. Таблетки з ППУ на відміну від сипучих сорбентів (силікагелю або алюміній оксиду) легко видаляються з розчину без фільтрування. Вони дуже прості у застосуванні: їх можна кинути в розчин, одразу вийняти і підсушити між аркушами фільтрувального паперу. Забарвлення, одержане на поверхні таблетки порівнюють з колірною шкалою, надрукованою на упаковці засобу. Практичного значення набули таблетки ППУ висотою 5...10 мм, діаметром – 16 мм і масою 0,03...0,06 г. Вони дозволяють визначати іони важких металів, а також, аскорбінову кислоту, анілін, феноли.

Індикаторні папери. Індикаторні папери являють собою тест-системи, в яких аналітичні реагенти нанесені на целюлозну основу. Визначення здійснюють опусканням смужки паперу у досліджуваній розчин або нанесенням краплі рідини на поверхню смужки. Вміст компонентів у розчині визначають порівнюючи колір смужки з колірною шкалою оцінки концентрації. За результат аналізу приймають значення концентрації, що відповідає найближчому за кольором зразку шкали. Нижче наведені приклади застосування деяких тест-систем на основі індикаторних паперів для аналізу харчових продуктів та питної води.

**Тест-система «Нітрат-тест»** призначена для оцінки вмісту нітрат іонів у овочах, фруктах, зелених культурах, питній воді, плодово-ягідних соках. Проблема накопичення нітратів у сировині та харчових продуктах та їх токсичної дії на організм людини на цей час є однією з найбільш гострих. Нітрат-іони сприяють розвитку патогенної кишкової флори і виділяють в організм людини токсини, що призводить до отруєння організму. Особливо небезпечні нітрати для дітей: ГДК нітрат-іонів у продуктах дитячого харчування становить 50 мг/кг, а в питній воді – 45 мг/л. У табл. 3.3 наведені значення ГДК нітрат-іонів у продуктах рослинного походження.

Аналіз здійснюють за такою методикою. Коренеплоди, томати, яблука промивають водою, обтирають насухо і розрізають хрестоподібно уздовж ростової осі. Аналізу піддають сік, що виступив у середній частині коренеплоду. Колірна шкала, нанесена на упаковку тест-системи, дозволяла визначати вміст іонів  $\text{NO}_3^-$  у діапазонах 0...10...50...200...1000 мг/л.

Таблиця 3.3

ГДК нітратів у продуктах рослинного походження

Харчовий продукт	ГДК, мг/кг	Харчовий продукт	ГДК, мг/кг
Кавуни	250	Капуста білокачанна	900
Салат, петрушка, кріп	2000	Огірки, томати	150
Перець солодкий	200	Картопля	250
Кабачки	400	Яблука, груші	60

**Тест-система «Нітрит-тест»** призначена для аналізу вмісту іонів  $\text{NO}_2^-$  у питній воді та харчових продуктах. Тест-система дозволяє визначати концентрацію іонів  $\text{NO}_2^-$  у діапазоні 0...1...3...30...300 мг/л (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Тест-система «Нітрит-тест»

$\text{NaNO}_2$  і  $\text{KNO}_2$  відносяться до харчових добавок – консервантів м'ясних продуктів. На жаль, нітрит-іони являють собою токсичні сполуки: їх ГДК у питній воді становить 3 мг/л, у м'ясних виробках – 50 мг/кг. Токсична дія іонів  $\text{NO}_2^-$  полягає у їх взаємодії з гемоглобіном крові, що призводить до «тканинної гіпоксії».  $\text{LD}_{50}$  іонів  $\text{NO}_2^-$  складає від 2 до 6 г залежно від будови організму.

Визначення іонів  $\text{NO}_2^-$  у м'ясних виробках здійснюють за такою методикою. Пробу масою 10 г подрібнюють, поміщають в мірну колбу ємністю 200 мл і доводять дистильованою водою до мітки. Колбу нагрівають на водяній бані при температурі  $55 \pm 2$  °C протягом 5 хв періодично струшуючи. Витяжку фільтрують і осаджують білки традиційним методом. У мірну колбу ємністю 100 мл вносять 10 мл безбілкового фільтрату, доводять водою до мітки і перемішують. Тест-смужку, просочену реактивом Гресса (суміш сульфанілової кислоти і  $\alpha$ -нафтіламіну), опускають у фільтрат на 5 с і спостерігають її забарвлення після висушування. Інтенсивність забарвлення смужки оцінюють по стандартній колірній шкалі, яку створюють, використовуючи стандартні розчини з концентраціями  $\text{NO}_2^-$ , мкг/л: 50; 100; 150; 175; 200; 250; 270. При їх контакті з індикаторним папером спостерігається поява забарвлення від блідо рожевого (50 мкг/л  $\text{NO}_3^-$ ) до густо-червоного (270 мкг/л  $\text{NO}_3^-$ ).

**Тест-система «Ликонт рН»** призначена для визначення кислотності екстрактів м'ясних продуктів. Тест-система виготовляють у вигляді книжки на 100 смужок, на обкладинку якої нанесено колірну шкалу порівняння та інструкцію по їх застосуванню (рис. 3.4). Порівнянню з іншими *pH* індикаторами смужки «Ликонт *pH*» мають більш точну колірну шкалу. Під час аналізу в стакан поміщають пробу подрібненого м'яса масою ~5 г, додають 30 мл дистильованої води і настоюють протягом 30 хв періодично помішуючи вміст стакану. Одержану витяжку фільтрують і опускають у фільтрат індикаторний папір. Через 2 с

папірець витягають з рідини і розташовують поруч з колірною шкалою порівняння.



Рис. 3.4. Тест-система «Ликонт рН».

Встановивши тотожність забарвлення тест-смужки з однієї з колірних смужок шкали, визначають рН. Реакція середовища для якісного м'яса різних тварин різна, але ніколи не перевищує 6,2. М'ясо загнаних, хворих та виснажених тварин має рН = 6,4...6,6 навіть за відсутності ознак розкладання. М'ясо здорових тварин, яке почало піддаватися гниттю, також змінює реакцію середовища у бік нейтральної реакції. Значення рН при цьому буде сягати 6,5...6,8 і вище залежно від ступеня накопичення продуктів розпаду білків.

**Визначення соди та аміаку в молоці.** Несумлінні постачальники для схоронності молока від скисання додають до сировини нейтралізуючі речовини – соду та сполуки аміаку. Їх наявність в молоці самим негативним чином позначається на показниках якості готової продукції. У зв'язку з цим виникає проблема визначення в молоці-сировині соди і аміаку.

Аналіз ґрунтується на визначенні рН молока за допомогою тест системи «Сода і аміак в молоці», індикаторний папір якої набуває забарвлення при зміні рН середовища: при  $pH = 5,3 \dots 6,0$  – лимонного кольору; при  $pH = 6,9 \dots 7,0$  – зеленого; при  $pH =$

7,2...7,4 – синьо-зеленого; при  $pH > 7,6$  – синього. Смужку занурюють на 2 с в пробу молока об'ємом ~50 мл. Смужку витягають з проби, видаляють з неї надлишок молока, кладуть на фільтрувальний папір і оцінюють колір смужки.

Значення  $pH$  свіжого молока коливається в інтервалі 6,3...6,6, тому забарвлення індикаторної зони в жовтий колір свідчить про відсутність в ньому соди і аміаку, а поява зеленого забарвлення свідчить про наявність в молоці соди або аміаку. Чутливість смужки складає 50 мг/л по соді і 5 мг/л по аміаку.

### **Визначення токсичних ксенобіотиків хімічними тест-системами**

Вимоги, що до методик визначення в продуктах токсичних ксенобіотиків вельми жорсткі. Їх вміст не повинен перевищувати допустимі рівні, встановлені в санітарних нормах МОЗ України, щодо якості сировини і харчових продуктів. Якщо під час досліджень зразків харчової продукції одержані незадовільні результати аналізу хоча б по одному показнику проводять повторний аналіз на подвоєній виборці всієї партії. Періодичність перевірки харчової продукції на вміст токсичних елементів виробником здійснюється не рідше 1 разу на квартал.

Сучасні тестові методи аналізів дозволяють контролювати харчові продукти за показниками безпеки під час визначення токсичних ксенобіотиків (важких металів, нітратів, нітритів, вільного хлору, метанолу, ацетальдегіду й ін.) на рівні їх ГДК. Точність результатів аналізу, чутливість вибраної методики залежить від типу обраних тест-засобів, реагентів, способів здійснення аналізу. У табл. 3.4 наведені дані про ГДК деяких токсичних компонентів у питній воді та нижні границі їх вмісту, які можна визначати за допомогою різних тест систем, внесених до Реєстру типів тест-систем Держстандарту України.

Таблиця 3.4

ГДК токсичних речовин у воді та межа визначення їх вмісту

Компонент, що визначається	ГДК, мг/л	Тип застосовної тест-системи	Нижня межа визначення, мг/л
Нітрат-іон	45	Тест-смужка	10
		Індикаторна трубка	10
		Індикаторний порошок	5
Нітрит-іон	3	Тест-смужка	1
		Індикаторна трубка	0,5
Кадмій	0,001	Фотометричний тест	0,025
		Індикаторний порошок	0,001
		Індикаторна трубка	0,3
Мідь	1,0	Тест-смужка	10
		Фотометричний тест	0,05
		Індикаторна трубка	0,1
Залізо	0,3	Тест-смужка	3
		Таблетки з пінополіуретану	0,02
		Індикаторна трубка	0,05

При виявленні токсичних компонентів у харчових продуктах тривалість аналізу має бути мінімальною, при цьому краще одержати помилкове «так», ніж помилкове «ні». Зміна забарвлення тест-засобів має бути контрастною, щоб звести до мінімуму можливість неоднозначного тлумачення результату.

## Контрольні запитання

1. Загальна характеристика тестових методів аналізу.
2. Тест-засоби, що застосовують в експрес-аналізах харчової продукції.
3. На яких реакціях базуються тестові методи?
4. Недоліки та переваги тест-систем.
5. В чому суть роботи компараторів?
6. Для чого використовують індикаторні порошки, індикаторні трубки та індикаторні папери?
7. Для чого призначені тест-система «Нітрат-тест» та «Ликонт рН».
8. Вимоги, що до методик визначення в продуктах токсичних ксенобіотиків.

### 3.3. Оптичні експрес-методи аналізу

#### Рефлектометричний метод аналізу

Візуальне порівняння одержаного забарвлення тест-систем зі стандартною колірною шкалою не дає можливості одержати необхідну точність результатів аналізу внаслідок суб'єктивності такого визначення. Виникають труднощі й під час оцінки кольору смужок, занурених у розчини з концентраціями, які не відповідають зразкам колірної шкали. Для підвищення точності результатів тестових методів застосовують рефлектометри – прилади для вимірювання інтенсивності світла, відбитого від поверхні. Погрішність приладів не перевищує 2 %, у той же час погрішність тест-засобів при їх візуальному спостереженні становить 10...20 %.

Явище відбиття світла. Коефіцієнт відбиття. Якщо світловий промінь, що падає на межу поділу двох середовищ, змінює свій напрямок і повертається у вихідне середовище, то таке явище називається відбиттям світла. Здатність тіла відбивати

падаючі на нього промені світла характеризується коефіцієнтом відбиття –  $R$ , який кількісно дорівнює відношенню інтенсивності відбитого поверхнею випромінювання, до інтенсивності потоку, що падає на поверхню. Значення коефіцієнта відбиття залежить від властивостей поверхні, кута падіння, спектра випромінювання. Поверхня сприймається як пофарбована в той чи інший колір залежно від того, які хвилі падаючого на неї світла вона поглинає, а які відбиває. Значення коефіцієнтів відбиття забарвлених поверхонь наведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Коефіцієнти відбиття забарвлених поверхонь

Колір поверхні	Інтервал коефіцієнтів відбиття, %	Колір поверхні	Інтервал коефіцієнтів відбиття, %
Білий	80...90	Зелений	20...50
Слонова кістка	75...80	Блакитний	23...50
Кремовий	55...72	Сірий	15...40
Жовтий	45...70	Коричневий	12...23
Рожевий	60...69	Синій	5...15
Червоний	25...60	Чорний	3...10

Як видно з табл. 3.5, спостерігається значний інтервал значень коефіцієнтів відбиття для поверхонь певного кольору. Це пов'язано з тим, що поверхня може мати різну яскравість, а колір – різні відтінки. Так, коефіцієнти відбиття для жовтої поверхні, змінюються від 45 до 70, але така поверхня може мати темно-

жовтий колір ( $R = 45...55$ ), канарковий ( $R = 50...60$ ), солом'яний ( $R = 60...65$ ), салатний ( $R = 65...70$ ).

### Рефлектометри

**Рефлектометр «Екотест-2040»** призначений для вимірювання коефіцієнтів відбиття індикаторних паперів і визначення концентрації розчинів. У комплект приладу входять набори тест-смужок, які дозволяють визначати вміст іонів і мікроелементів у діапазоні концентрацій, мг/л: амоній – 10...400, кальцій – 0...100, калій – 200...1500, купрум – 10...300, ферум – 2...100, цинк – 2...100, молібден – 5...250, нітрат-іони – 10...500, нітрит-іони – 1...80, іони  $SO_4^{2-}$  – 200...1600, іони  $PO_4^{3-}$  – 3...100, іони  $Cl^-$  – 500...3000. Одержані дані виводяться на дисплей рефлектометра у вигляді коефіцієнта зонального відбиття в діапазоні 1...100 або масової частки речовини в мг/л. Він здійснює вимірювання у видимій області спектру на будь-якій з вказаних нижче довжин хвиль, нм:  $400\pm 5$ ;  $430\pm 5$ ;  $470\pm 5$ ;  $502\pm 5$ ;  $525\pm 5$ ;  $565\pm 5$ ;  $595\pm 5$ ;  $620\pm 5$ ;  $660\pm 5$ .

Вимірювання на приладі здійснюють за такою методикою. Натисканням кнопки «МЕТ» вибирають потрібну довжину хвилі випромінювання. Індикаторний папір, обробляють фоновим розчином відповідно до методики аналізу, поміщають у відділення для кювет. Натискають кнопку «ФОН» і через 5 секунд на дисплеї з'являється напис «ФОН виміряно». Аналогічно обробляють смужку досліджуваним розчином, поміщають її в кювету, яку вставляють прилад і натискають кнопку «ІЗМ». На дисплеї з'явиться значення коефіцієнта відбиття в мас.%. При визначенні концентрації розчинів будують калібрувальний графік залежності коефіцієнта відбиття реакційної зони індикаторного паперу від концентрації цього розчину.

**Рефлектометр RQflex**, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 3.5, поєднує в собі переваги тест-методів з точністю

інструментального аналізу. У комплектація рефрактометра RQflex входять тест-смужки Reflectoquant, адаптер для тест-смужок і набір для калібрування приладу.



Рис. 3.5. Рефрактометр RQflex

Техніка виконання аналізів дуже проста: тест-смужку занурюють в розчин, після чого поміщають в прилад. Результат аналізу відображається на дисплеї.

Прилад знайшов застосування у виробництві молочних продуктів, олій, соків, пива та інших напоїв. Він дозволяє вимірювати вміст Al, Ag, Fe, K, Co, Mn, Cu, Mo, Ni,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , спирту, сахарози, оцтової, молочної, яблучної, винної та сірчистої кислот, глюкози, а також твердість води і *pH* водних розчинів. Так, для аналізу молочних продуктів існують процедури по визначенню вмісту: фосфатази і ліпази у сухому молоці, вершках, маслі, сирі, сироватці; кальцію й магнію в молоці й сирі; аскорбінової кислоти в сухому молоці; нітратів і сечовини в молоці; пероксидази в натуральному й сухому молоці.

### **Рефрактометричний метод аналізу**

Рефрактометричний метод аналізу ґрунтується на дослідженні явища заломлення – зміни напрямку руху променів

світла під час проходження променів через межу поділу прозорих середовищ. На рис. 3.6 показано схему заломлення променя світла при його переході із середовища з меншою оптичною густиною у середовище з більшою густиною, наприклад з повітря – у рідину. Напрямок руху променів змінюється відповідно закону Снеліуса:

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta},$$

де  $n$  – показник заломлення;  $\alpha$  – кут падіння;  $\beta$  – кут заломлення.

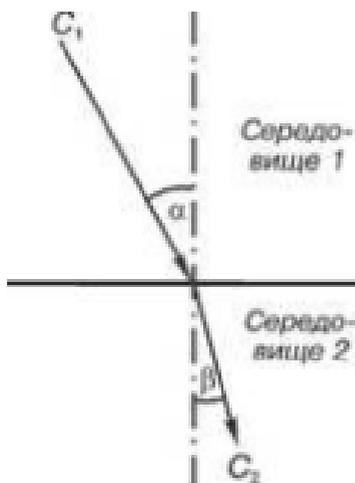


Рис. 3.6. Заломлення світла на межі двох фаз

Показник заломлення є індивідуальною константою для кожної речовини. Його величина з підвищенням температури зменшується, тому вимірювання показників заломлення здійснюють за сталої температури. Із збільшенням довжини хвилі світла показник заломлення зменшується. Залежність показника заломлення від довжини хвилі називається дисперсією світла.

Дисперсія заважає вимірюванню показників заломлення, викликаючи появу спектру, тому її треба усувати. У довідниках вказують умови, за яких їх вимірювали: як правило приводять значення –  $n_D$  показник заломлення, виміряний при 20<sup>0</sup>С для  $D$ -лінії спектру атомів Натрію (589,3 нм).

**Класифікація і принцип роботи рефрактометрів.** Прилади, що вимірюють показники заломлення рідин, називають рефрактометрами. Основними перевагами рефрактометрів є

швидкість вимірювання, дуже мала витрата речовин під час аналізу і висока точність – 0,1 %. Залежно від об'єктів дослідження їх поділяють на офтальмологічні, фармацевтичні, харчові (молочні, спиртові), залежно від призначення – на промислові, лабораторні, портативні (ручні). Промислові рефрактометри – це автоматичні прилади, які вмонтовують в установки для контролю та автоматизації технологічних виробничих процесів.

Лабораторні рефрактометри – настільні прилади, призначені для досліджень рідких розчинів. Найбільш поширеними є рефрактометри Аббе, на основі яких розроблені конструкції рефрактометрів РЛУ, РПЛ та ін. Портативні рефрактометри призначені для контролю показників заломлення речовин у польових умовах. Вони прості по конструкції і застосуванню, не потребують джерел живлення. На цей час випускають ручні рефрактометри серій REF, VBR, VEM, VND, VWN, VSA, RSG, RHBS, PP, Карат та ін. Усі рефрактометри сконструйовані для застосування денного світла, але калібрують їх на довжині хвилі 589,3 нм.

### **Правила роботи на рефрактометрі РПЛ-4**

Прилад обладнано двома шкалами: лівою, що фіксує значення показника заломлення в межах 1,300...1,540, і правою, що показує вміст сухих речовин в межах 0...95 %. Перед початком роботи перевіряють точність настройки приладу (рис. 3.7) по дистильованій воді. На поверхню нижньої призми – 3 наносять краплю води і опускають верхню призму – 2. Промінь від джерела – 1 направляють через щілину в систему призм.

Переміщують важіль окуляра – 6, змінюючи положення зорової труби, і одночасно спостерігають в окулярі – 5 межу поділу світлої і темної частин зорового поля. За необхідності ручкою – 4 усувають спектр.

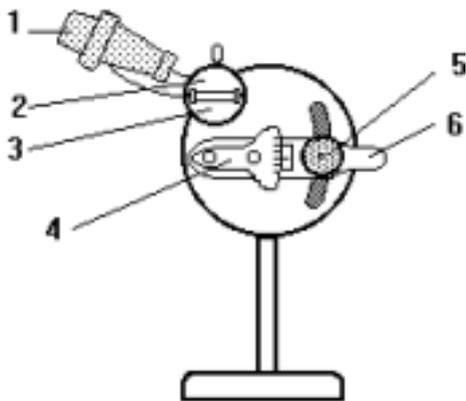


Рис. 3.7. Рефрактометр РПЛ-4

Пересуваючи важіль окуляру переміщують межу світлотіні до її збігання з візирною лінією у вигляді трьох штрихів. При цьому на лівій шкалі зорового поля межа поділу повинна встати на відмітці – 1,333, а на правій шкалі на відмітці – 0. Вимірювання показників заломлення розчинів здійснюють за аналогічною методикою.



Рис. 3.8. Рефрактометр REF

Дуже поширеними є ручні рефрактометри серії REF, за допомогою яких визначають вміст цукрів, солей, білків, спирту в сировині та харчових продуктах. Рефрактометри оснащені шкалою «Brix», яка показує вміст (у мас. %) хімічно чистої сахарози в дистильованій воді.

Шкалу «Brix» застосовують для визначення вмісту концентрату сухих речовин (сумарну масу цукрів, кислот, солей) у соках, винах, напоях. Рефрактометр REF, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 3.8, незамінний при контролі сахаристості овочів, фруктів, винограду.

## Дослідження харчових продуктів рефрактометричними методами

Рефрактометричний метод приваблює високою чутливістю, простотою вимірювань, дешевизною приладів. Його застосовують для визначення в продуктах жирів, цукрів, харчових кислот, солей та інших компонентів. Під час аналізу вимірний показник заломлення переводять в одиниці концентрацій за допомогою таблиць, формул або калібрувальних графіків, одержаних емпіричним шляхом. На цей час встановлені показники заломлення водних розчинів більшості речовин. Найважливіші з них, такі як розчини сахарози, етанолу затверджені міжнародними угодами і лежать в основі побудови шкал рефрактометрів, призначених для аналізу харчової продукції.

Для окремих видів продукції часто застосовують емпіричні формули, що зв'язують величину показника заломлення зі складом продукту. Так, вміст води у меді (в мас. %) обчислюють за формулою:  $\omega = 400 \cdot (1,538 - {}^{20}D_n)$ .

Таким же методом визначають вміст спирту в пиві. Пробу пива наливають в стакан і перемішуючи нагрівають на водяній бані протягом 15 хв для видалення вуглекислого газу. Пробу охолоджують до 20° С, переливають в циліндр і вимірюють його густину –  $\rho$  в г/мл. Краплю пива поміщають у рефрактометр і вимірюють показник заломлення. Масову частку спирту в пиві розраховують по рівнянню:  $\omega = 0,2691({}^{20}D_n - 14,5) - 2,774(\rho - 1) \times 100 + 0,323$ .

На вимірюванні показника заломлення розчинів, одержаних після осадження білків та жирів, ґрунтується метод визначення вмісту лактози в молоці. Вимірюють показник заломлення розчина за температури 18° С і користуючись табл. 3.6 визначають вміст лактози ( $\omega$ , %) в молоці.

Таблиця 3.6

Масова частка лактози ( $\omega$ , %) в молоці

$n_D^{18}$	$\omega$ , %	$n_D^{18}$	$\omega$ , %	$n_D^{18}$	$\omega$ , %
1,3412	4,08	1,3418	4,38	1,3425	4,74
1,3413	4,13	1,3419	4,44	1,3426	4,79
1,3414	4,18	1,3420	4,49	1,3427	4,84
1,3411	4,03	1,3421	4,54	1,3428	4,89
1,3415	4,23	1,3422	4,59	1,3429	4,95
1,3416	4,28	1,3423	4,64	1,3430	5,00

Рефрактометричним методом визначають ступінь окиснення фритюру, що дозволяє судити про його якість. У процесі нагромадження продуктів окиснення в олії її показник заломлення зростає. Показники заломлення свіжих олій повинні мати такі значення: оливкова – 1,4756; соняшникова – 1,4748. Під час аналізу порівнюють показники заломлення свіжої олії і досліджуваного фритюру за температури 20° С. Різниця між цими показниками і є критерієм окиснення жиру: для якісного фритюру вона не повинна перевищувати 0,001.

Калібрувальні графіки (рис. 3.9) ілюструють зміну показника заломлення розчину залежно від його концентрації. Для побудови графіку готуються стандартні розчини і вимірюються їх показники заломлення. Далі визначають показник заломлення досліджуваних розчинів, які в цьому прикладі (рис. 3.9) дорівнюють 1,339 і 1,358.

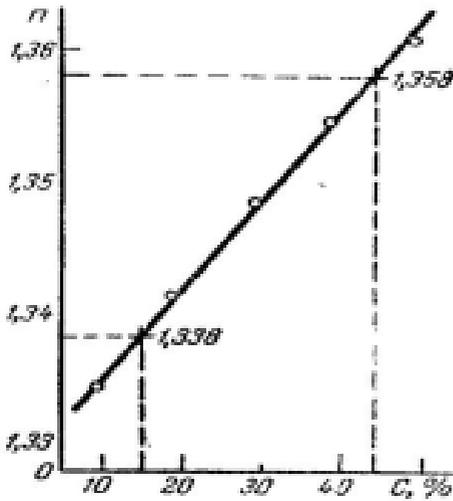


Рис. 3.9. Залежність показника заломлення розчину від концентрації

На осі ординат відмічаємо точки, що відповідають значенням показників заломлення цих розчинів. Від точок проводиться пунктирна лінія паралельно осі абсцис до її перетину з графіком і з точки перетину лінія опускається на вісь абсцис, на якій знаходять, концентрацію розчинів – 15 і 45 %.

### Поляриметричний метод аналізу

Сонячне світло за своєю природою являє собою потік електромагнітних хвиль, які накладаючись одна на одну «зливаються» в пучки неполяризованого світла. Для поляризації світла часто застосовують поляризаційні плівки (рис. 3.10). Якщо до поляризаційної пластинки додати другу пластинку, то можна одержати пристрій, який дозволяє змінювати кількість світла, що проходить через нього. При повороті однієї пластинки відносно іншої поляризована хвиля послаблюється. Послаблення буде тим сильніше, чим більшим буде кут між площинами поляризації пластинок. При куті в  $90^\circ$  світлова хвиля повністю затримується пластинками.

Речовини, здатні обертати площину поляризації падаючого на них лінійно поляризованого світла, називаються оптично активними (ОАР). До ОАР відносяться кварц, скипидар, розчини цукрів. Напрямок обертання площини поляризації в різних речовин

не однаковий. Якщо дивитися назустріч променю, то речовини, що обертають площину поляризації за годинниковою стрілкою, називають право-обертальними, а речовини, що обертають площину поляризації проти стрілки – лівообертальними.

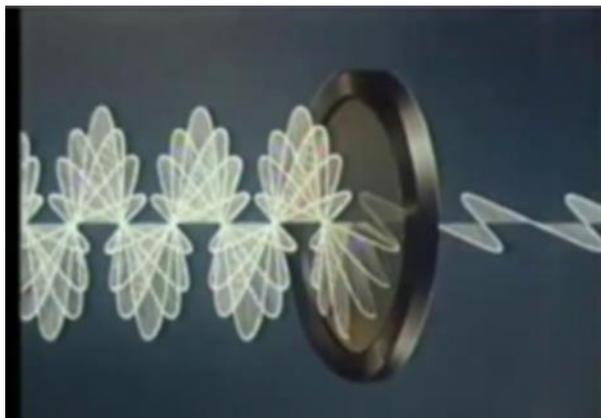


Рис. 3.10. Проходження світла через поляризаційну плівку

Питоме обертання дорівнює величині кута, на який повертається площина поляризації світла при проходженні через речовину завтовшки 1 дм у перерахунку на вміст речовини 1 г/мл. Питоме обертання –  $[\alpha]_D^{20}$  визначають за температури  $20^\circ\text{C}$ , використовуючи світло з довжиною хвилі лінії  $D$  спектра натрію. Для розчинів питоме обертання визначають за формулою:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{100 \cdot \alpha}{l \cdot c}$$

де  $\alpha$  – вимірний кут обертання в градусах;  $l$  – товщина шару розчину, дм;  $c$  – концентрація розчину, виражена в грамах на 100 мл розчину. Більшість цукрів здатні обертати площину поляризованого світла: величина кута обертання площини поляризації при цьому залежить від товщини шару розчину, його концентрації та питомого обертання розчиненої речовини. Питоме обертання для правообертальних вуглеводів має додатні значення,

наприклад у глюкози воно становить «+52,8», у сахарози «+66,5», а в лівообертальних – від’ємні значення: у фруктози «-92,8», крохмалю «-184,0». Прилади, що вимірюють кут обертання площини поляризації променів світла, називають поляриметрами-цукрометрами. Після вимірювання кута обертання площини поляризації світла при проходженні через розчин можна легко розрахувати концентрацію останнього, користуючись формулою наведеною вище.

### **Правила роботи на цукрометрах серії СУ.**

Дуже поширеними на цей час є цукрометри серії СУ: СУ-3, СУ-4, СУ-5. На рис. 3.11 наведено зовнішній вигляд цукрометру СУ-4. Цукрометр складається з вузла вимірювальної головки – 2 і освітлювального вузла – 5, з’єднаних траверсою, на якій закріплено відділення – 3 для кювети – 10 і оправа з поляризатором і напівтіньовою пластиною.

З лицьової сторони вимірювальної головки розташована лупа – 1 для відліку показань по шкалі й зорова труба – 9. Унизу вимірювальної вузла розташована рукоятка компенсатора – 8, обертанням якої переміщують кварцовий клин і зв’язану з ним шкалу. Освітлювальний вузол – 5 складається з патрона з лампою і поворотної обойми – 4. На кришці трансформатора є кнопка – 6 для включення освітлювача та ручка – 7 для регулювання яскравості поля зору.

Світловий потік проходить через діафрагму і призму-поляризатор, яка перетворює його в поляризований потік. Потім потік світла проходить через пластину, яка розділяє його на дві, рівні по яскравості половини. У полі зорової труби спостерігаються розділені лінією обидві половини поля, які називають полями порівняння.



Рисунок 3.11. Цукрометр СУ-4

При установці кювети з розчином ОАР між поляризатором і аналізатором порушується рівність яскравості полів порівняння, оскільки розчин повертає площину поляризації променю. При цьому чітко видно межу по різному забарвлених напівтіней. Для зрівнювання яскравості полів цукрометр оснащений клиновим компенсатором. При переміщенні клину компенсатора частини зорового поля по чергово забарвлюються в різні кольори. Коли досягається чутливий сіро-фіолетовий відтінок, напівтіні стають невиразні. У цей момент проводять відлік по шкалі цукрометру. Цукрометри мають умовну шкалу, за якою розраховують концентрацію розчинів у відсотках.

На рис. 3.12 а показано положення ноніуса і шкали, яке відповідає відліку «+11,85» (нуль ноніуса розташований праворуч від нуля шкали на 11 поділок, а в правій частині ноніусу з однією з поділок суміщається його 17-та поділка). На рис. 3.12 б показано положення шкали і ноніуса, яке відповідає відліку «-3,25». Нуль ноніуса розташований ліворуч від нуля шкали на 3 поділки, і в лівій частині ноніуса з однією з поділок шкали суміщається його 5-та поділка.

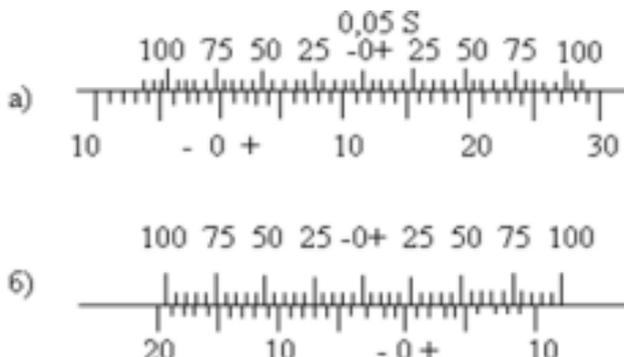


Рисунок 3.12. Відлік результатів по шкалі цукрометра СУ-4

### **Дослідження харчових продуктів поляриметричним методом**

Поляриметричний метод застосовний в таких діючих Держстандартах: «ГОСТ 3628-78. Молочні продукти. Методи визначення цукру», що розповсюджується на сири, морозиво та інші продукти, що містять цукор; «ДСТУ 5059:2008 Вироби кондитерські. Методи визначення цукру», що розповсюджується на кондитерські вироби (шоколад, праліне, какао-напої); «ГОСТ 12571-2013 Сахар. Метод определения сахарозы».

У цих стандартах регламентується поляриметричний метод визначення загального вмісту редуруючих речовин, загального цукру (сахарози, лактози, глюкози і фруктози) в перерахунку на інверсний цукор.

**Визначення вмісту сухих речовин і цукру в крохмальній патоці** ґрунтується на методиці, представленій у ДСТУ 4498:2005 «Патока крохмальна. Технічні умови». Нижче наведено техніку виконання аналізу.

Перевіряння і підготовку цукрометра до роботи проводять відповідно інструкції щодо його експлуатації. Патока – в'язкий продукт, тому для визначення масової частки редукуючих речовин готують її 20 %-ний розчин. Одержаний розчин патоки заливають в чисту поляриметричну трубку довжиною 10 см так, щоб верхній

меніск його виступав над краями трубки. Температура розчину повинна бути 20° С. Трубку накривають покрівельним склом і поміщують в цукрометр. Обертанням рукоятки компенсатора встановлюють однакові освітленості обох половин зорового поля. По основній шкалі і шкалі ноніусу визначають кут повороту плоскості поляризації світла. Підрахунок за шкалою цукрометрі проводять 3 рази та беруть середнє арифметичне. У цукрометрі СУ-4 застосовують міжнародну шкалу: 100° S цієї шкали відповідають 34,62° кутовим градусам.

Визначати вміст кожного цукру в патоці дуже важко, тому масову частку редуруючих речовин виражають в перерахунок на глюкозу. Результат вимірювань (в град) перераховують на сухі речовини патоки за формулою:

$$P = \frac{100 \cdot P_0}{A}$$

де  $P_0$  – середнє арифметичне відліків по шкалі цукрометру;  $A$  – масова частка сухих речовин у патоці, %. За величиною –  $P$  у таблиці, що наведена в ДСТУ 4498:2005, знаходять масову частку цукрів у патоці в перерахунок на суху речовину, яка повинна складати не менше 78,0 %.

Масову частку сухих речовин у патоці визначають рефрактометричним методом. Якщо під час аналізу температура патоки відрізняється від 20° С, то в одержане значення вводять поправку, яку беруть з таблиці в ДСТУ 4498:2005. Загальний вміст сухих речовин у патоці розраховують по формулі:

$$A = X \times K,$$

де  $A$  – масова частка сухих речовин в патоці, %;  $X$  – показання рефрактометра;  $K$  – коефіцієнт перерахунку масової частки сухих речовин знаходять в ДСТУ 4498:2005.

### **Контрольні запитання**

1. Поясніть, на чому ґрунтуються оптичні методи аналізу?

2. Які оптичні ефекти можуть відбуватися при взаємодії променя світла з речовиною?
3. Що позначають терміни «пропускання», «оптична щільність», «коефіцієнт поглинання»?
4. Суть рефлектометричного методу аналізу.
5. Які прилади застосовують в рефлектометрії? Опишіть принцип їхньої дії.
6. Суть рефрактометричного методу. Що таке показник заломлення? Від яких факторів залежить його показник заломлення?
7. Які прилади застосовують в рефрактометрії? Опишіть принцип їхньої дії.
8. Охарактеризуйте прилади методу поляриметрії. Які поляриметри називають цукрометрами?
9. Як визначають вміст сухих речовин і цукру в крохмальній патоці?

### **3.4. Абсорбційні спектроскопічні методи дослідження**

#### **Загальна характеристика спектроскопічних методів аналізу**

Методи аналізу, що ґрунтуються на явищі поглинання речовинами електромагнітного випромінювання, складають велику групу абсорбційних спектроскопічних методів. Під час поглинання світла атоми і молекули переходять у збуджений стан. Залежно від виду часточок, що поглинають промені, та способу трансформації поглиненої енергії розрізняють такі методи: атомно-абсорбційний аналіз, що ґрунтується на поглинанні світлової енергії атомами досліджуваних речовин; молекулярно-абсорбційний аналіз, що ґрунтується на дослідженні процесів поглинання світла молекулами речовин в УФ, видимій та ІЧ областях спектра (спектрофотометрія, фотоколориметрія, ІЧ-спектроскопія); аналіз процесів розсіювання світлової енергії часточками досліджуваних речовин (турбідиметричний та нефелометричний методи);

люмінесцентний аналіз, що базується на вимірюванні інтенсивності випромінювання, яке виділяється збудженими атомами або молекулами. Усі вказані вище методи поєднують в одну групу спектроскопічних методів, хоча вони й мають істотні розходження в методиках аналізу. В атомно-абсорбційній спектроскопії речовини досліджують переводячи їх у стан атомної пари при внесенні в полум'я. При цьому атоми збуджуючись переходять на більш високий енергетичний рівень. У процесі опромінення атомів досліджуваного елемента лінійчатим випромінюванням того ж самого елемента, що знаходиться, в збудженому стані відбувається резонансне поглинання, тобто зменшення інтенсивності лінійчатого випромінювання. Вимірювана величина поглинання є мірою концентрації вільних атомів у зразку.

Метод дозволяє визначити близько 70 різних хімічних елементів, тому він знайшов широке застосування під час аналізів харчових продуктів. Метод відрізняється високою чутливістю: межа виявлення елементів методом атомної спектроскопії сягає  $10^{-14}$  г.

Молекулярна спектроскопія – це розділ спектроскопії, що вивчає молекулярні спектри. Вивчення спектрів дає можливість одержувати відомості про електронні оболонки молекул, визначати характеристики збуджених енергетичних рівнів, встановлювати природу хімічних зв'язків, ідентифікувати речовини. До молекулярної спектроскопії відносяться: інфрачервона спектроскопія (ІЧ-спектроскопію), спектроскопія у видимій частині спектру; ультрафіолетова спектроскопія (УФ-спектроскопію).

ІЧ-спектроскопія являє собою один з новітніх фізико-хімічних методів кількісного і якісного аналізу харчових продуктів. Цей метод дозволяє одержати досить повну інформацію про будову і склад органічних речовин. ІЧ спектр органічної сполуки є одним з найбільш однозначних фізичних властивостей речовини. ІК-спектр більш точно характеризує речовину, ніж температура плавлення,

показник заломлення або густина. На цей час вивчені і систематизовані спектри більш ніж 20000 сполук, що істотно полегшує практичне проведення аналізу. Завдання якісного аналізу вирішують

зіставленням спектрів відомої та досліджуваної речовин або порівнюють одержаний спектр з опублікованими раніше кривими поглинання. Для точної ідентифікації речовини необхідно лише знати, до якого класу органічних сполук відноситься досліджувана речовина.

ІЧ-спектри застосовують для визначення жирнокислотного складу продуктів, вмісту вітамінів *A, K, B1, B2, B6, C*, токоферолів, каротину, пестицидів у сировині та харчовій продукції. Для цього речовину, яку необхідно виявити в складі об'єкту, екстрагують за допомогою відповідних розчинників та випарюють одержаний екстракт до кристалів або маслянистої плівки. Одержаний матеріал перетирають із сухим калій бромідом і пресують під вакуумом у вигляді твердої прозорої таблетки, яку і досліджують за допомогою дисперсійних спектрометрів або Фур'є-спектрометру «Ікар».

УФ-спектроскопія – розділ спектроскопії, що включає одержання і дослідження спектрів випускання, поглинання і відбиття в УФ-області спектру (10...400 нм). Поглинання УФ-випромінювання забезпечують функціональні групи молекул досліджуваної речовини, які отримали назву хромофорних груп.

Завдяки тому, що спектральні характеристики цих груп у різних молекулах є подібними, то за специфічною формою спектральних кривих можна, зазвичай, відразу знайти однозначну відповідь про належність речовини до певного класу органічних сполук. При опроміненні УФ-променями речовина не руйнується і практично не змінюється, що дозволяє одержувати інформацію про його хімічний склад і структуру. Наявність інтенсивних характеристичних полос в УФ-спектрах багатьох хімічних сполук застосовують для розробки методів їх ідентифікації та кількісного визначення.

Дослідження УФ- та ІЧ-спектрів речовин дозволяють здійснити їх ідентифікацію за характерними спектральними характеристиками (формою, положенням та інтенсивністю смуг поглинання), а також, у разі необхідності, визначити їх кількісний вміст у досліджуваних зразках. Положення смуги поглинання визначається за довжиною хвилі, яка відповідає максимуму поглинання. Інтенсивність смуги поглинання визначається за значенням оптичної густини. Смуги поглинання в УФ-ділянці спектру обумовлені електронними переходами в опроміненій речовині, а при ІЧ-опроміненні відбувається коливання та обертання молекул. Кількісний аналіз по ІЧ- та УФ спектрам ґрунтується на законі Бугера-Ламберта-Бера з використанням методу калібрувального графіка.

### **Фотометричні методи дослідження**

Фотометричні методи ґрунтуються на здатності молекул виборче поглинати випромінювання в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній областях спектру. Залежно від застосовної апаратури розрізняють спектрофотометричний метод – аналіз речовин по поглинанню монохроматичного світла і фотокolorиметричний метод – аналіз речовин по їх поглинанню поліхроматичного світла у видимій області спектра. Суть методів полягає у визначенні залежності між світопоглинанням і концентрацією в розчині речовин, які поглинали світло.

Поглинання розчинами променів підкоряється закону Бугера-Ламберта Бера, який має таке формулювання: «Здатність забарвлених розчинів поглинати світлову енергію прямо пропорційна концентрації в них речовин, які поглинають світло, і товщині шару цих розчинів». Цей закон можна виразити таким рівнянням:

$$D = \varepsilon \cdot C \cdot l,$$

де  $D$  – оптична густина розчину;  $\varepsilon$  – молярний коефіцієнт поглинання;  $C$  – молярна концентрація розчину;  $l$  – товщина шару розчину.

Оптична густина численно дорівнює логарифму інтенсивності поглинутого розчином світла:

$$D = \lg I_n = \lg I_0 - \lg I = \lg \frac{I_0}{I},$$

де  $I_n$  – інтенсивність світла, що входить в розчин;  $I$  – інтенсивність світлового потоку, що виходить з розчину;  $I_0$  – інтенсивність поглинутого розчином світла. За сталої температури і довжини хвилі світла молярний коефіцієнт поглинання є сталою величиною і визначається природою розчиненої речовини, фактично характеризуючи чутливість фотометричної реакції. Залежно від довжини поглинутих світлових хвиль розчини набувають різного кольору.

### **Техніка проведення спектрофотометричних досліджень**

При визначенні концентрації розчинів фотоколориметричним методом здійснюють такі операції. Вибирають необхідні світлофільтри і робочі кювети. Вимірюють оптичну густина стандартних розчинів і будують калібрувальний графік « $D = f(C)$ », який має форму прямої лінії, що виходить з початку координат. Користуючись цим графіком визначають концентрацію розчину. Для вимірювання оптичної густини застосовують фотоколориметри та спектрофотометри. Принцип їх роботи полягає в порівнянні інтенсивності потоків світла, що пройшли через розчинник і через досліджуваний розчин. Вимірювання звичайно проводять у видимій області спектру ( $\lambda = 400 \dots 760$  нм) або в ультрафіолетовій ( $\lambda = 300 \dots 400$  нм) області.

Вибір світлофільтру. Для досягнення максимальної чутливості методу в фотометрії будують «спектри поглинання» – графіки залежності оптичної густини розчину від довжини хвилі світла при концентрації розчину 1 моль/л. На горизонтальній осі графіку відкладають довжини хвиль, що відповідають максимуму

коефіцієнтів пропускання світлофільтрів, а на вертикальній осі – відповідні значення оптичної густини розчину. Далі відзначають ділянку кривої, на якій оптична густина має максимальну величину, а хід кривої стає приблизно паралельним горизонтальній осі, тобто там де оптична густина незначної мірою залежить від довжини хвилі.

Для роботи вибирають світлофільтр, у якого довжина хвилі, що відповідає максимуму його коефіцієнту пропускання –  $T$ , припадає на відзначену вище ділянку спектральної кривої досліджуваного розчину. Якщо спектральна характеристика досліджуваного розчину невідома, то світлофільтр вибирають за принципом доповнення: колір світлофільтру повинен доповнювати забарвлення досліджуваного розчину до білого. Тобто світлофільтри вибирають так, щоб спектральні ділянки максимального поглинання променів розчином і максимального пропускання їх світлофільтром співпадали. Так, розчини жовтого кольору вимірюють на синіх світлофільтрах – № 3 або № 4; червоні розчини – на зелених світлофільтрах і т.д.

Вибір кювет. Закон Бугера-Ламберта-Бера виконується для дуже розбавлених розчинів, тому при застосуванні фотоколориметричного аналізу розчини доводиться розводити. Концентрація досліджуваного розчину повинна бути такою, щоб його оптична густина знаходилася в інтервалі  $0,1 \dots 0,6$ . Попадання в оптимальний інтервал значень оптичної густини досягається зміною товщини шару розчину, який наливають в кювети, які мають різну ширину або діаметр. Вибір кювети здійснюється відповідно інтенсивності забарвлення розчину. Якщо розчин темно-забарвлений, то користуються кюветами з малою робочою довжиною ( $1 \dots 3$  мм). Якщо розчин слабо забарвлений то працюють з кюветами, що мають значну довжину ( $30 \dots 100$  мм).

### **Прилади та обладнання для спектрофотометричних аналізів**

Найбільш поширеними фотоколориметрами є однопроменеві моделі. Фотоелектроколориметр КФК-3-01 (рис. 3.13) найбільш сучасний прилад серії КФК.



Рис.3.13. Фотоколориметр КФК-3-01

Прилад призначений для вимірювання в прозорих розчинах коефіцієнта направленого пропускання, оптичної густини та швидкості її зміни, а також для визначення концентрації розчинів після попереднього калібрування.

Таблиця 3.7

Спектральні характеристики світофільтрів КФК-3-01

№ світлофільтру	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Довжина хвилі, що відповідає максимуму пропускання, нм	315	364	400	440	490	540	590	670	750	870	990

Фотоколориметр КФК-3-01 дозволяє визначати загальний вміст тригліцеридів, білків, ліпопротеїнів, глюкози, іонів калію,

кальцію, феруму, магнію, мангану, фосфат- та нітрат-іонів. Загалом розроблено більше 30 методик аналізів води, які можна здійснювати за допомоги даного приладу. Спектральні характеристики світлофільтрів КФК-3-01 наведені у табл. 3.7. Виділені спектральні інтервали не перевищують 5 нм.

Спектрофотометр – це лабораторний прилад з мікропроцесорним керуванням та цифровим відображенням результатів аналізу на дисплеї. На цей час пропонуються цілі серії спектрофотометрів, такі як: серія DR (DR2800, DR5000, DR6000), серія ПЭ (ПЭ-5300ВИ, ПЭ-6100УФ, ПЭ-3200С/УФ), серія СФ (СФ-102, СФ-104), а також V-1200, PD-303S, Genova Nano, ULAB102, SpectroDirect та багато інші. Принцип їх дії ґрунтується на вимірюванні коефіцієнтів пропускання або оптичної густини розчинів і визначенні їх концентрації за допомогою калібрувальних характеристик.



Рисунок 3.14. Спектрофотометр SpectroDirect

На рис. 3.14 наведено спектрофотометр SpectroDirect. Його використовують для безпосереднього аналізу питної води,

мінеральних напоїв і соків. Він дозволяє вимірювати вміст таких елементів, як Al, As, Pb, Cr, Zn, Fe, Cd, Cu, Mn, Mo, Ni, іонів – F<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CN<sup>-</sup>, формальдегіду, фенолу, сульфідів, озону, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ПАР, а також загальну твердість води, її каламутність і рН. Кольорові реакції під час аналізів здійснюються за допомогою реактивів у вигляді фіксаналів, що входять до комплексу приладу.

Спектрофотометр SpectroDirect має такі характеристики: діапазон робочих довжин хвиль 330...900 нм; ширина спектральних інтервалів 10 нм; точність вибраної довжини хвилі ±2 нм. Сканування може здійснюватися по усьому діапазону довжин хвиль. Результати сканування виводяться на дисплей у вигляді графіку спектра (рис. 3.15). Калібрування приладу здійснюють по дистильованій воді.

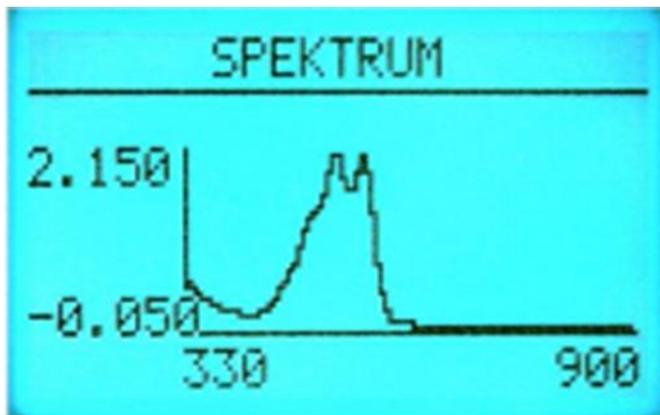


Рис. 3.15. Спектр на дисплеї SpectroDirect

### **Дослідження харчових продуктів фотоколориметричними методами**

Фотометричні методи стандартизовані для визначення в продуктах білків, вуглеводів, вітамінів, харчових кислот, харчових добавок та небажаних домішок. Фотоколориметричним методом

визначають наявність і вміст синтетичних барвників, ароматизаторів, альдегідів та сивушних масел у горілчаных та лікєро-наливкових виробах, каротину і лимонної кислоти в фруктах та фруктових соках. Нижче наведені методики визначення показників якості деяких харчових продуктів фотокolorиметричними методами аналізу.

### **Визначення вмісту білків у молоці та молочних виробах.**

Метод ґрунтується на ксантопротеїновій реакції, суть якої полягає в обробці білків нітратною кислотою, в результаті чого утворюються ароматичні похідні амінокислот жовтого кольору. У пробірку відбирають 1 мл молока і 9 мл 2 %-го розчину NaOH. Вміст пробірки струшують і витримують 10 хв. В іншу пробірку ємністю 20 мл відбирають 1 мл одержаного розчину, додають 1 мл концентрованої HNO<sub>3</sub> та перемішують. Пробірку витримують 5 хв у киплячій водяній бані. Після охолодження в пробірку по стінці додають 3 мл 15 %-го розчину NH<sub>4</sub>OH і 5 мл дистильованої води. Розчин забарвлюється у жовтий колір, його перемішують і фільтрують. Користуючись синім світлофільтром ( $\lambda_{max} = 420..440$  нм) вимірюють його оптичну густину відносно дистильованої води. Масову частку білка в молоці ( $w, \%$ ) знаходять по формулі:

$$w = K \cdot D,$$

де  $D$  – оптична густина розчину;  $K$  – коефіцієнт, що одержують при попередніх визначеннях вмісту білка методом К'ельдаля, звичайно він дорівнює  $\sim 7,4 \%$ .

**Визначення вмісту нітрит-іонів у м'ясних виробах.** Методика визначення ґрунтується на ДСТУ ISO 2918:2005 «М'ясо та м'ясні продукти. Метод визначення загального вмісту нітриту» і розповсюджується на м'ясні продукти усіх видів, при виготовленні яких застосовують нітрити.

Побудова калібрувального графіку. Готують 3 стандартні розчини з концентраціями іонів NO<sub>2</sub><sup>-</sup> – 1,0; 2,5; 5,0 мг/л. Попередньо готують розчин А: 2 г сульфаніламід у розчиняють у 400 мл розчину

HCl (1:1) і доводять цим же розчином до об'єму 1 л. Готують розчин *B*: 0,25 г N-(1-нафтил)-етилендіамін дигідриду розчиняють у воді і доводять об'єм до 250 мл. Розчин зберігають у склянці з темного скла. У 3 мірні колби ємністю 100 мл наливають по 10 мл стандартних розчинів, додають, 50 мл води і 10 мл розчину *A*. Розчини перемішують і витримують в темному місці 5 хв. Додають 2 мл розчину *B*, перемішують і витримують в темному місці ще 3 хв. Розчини в колбах доводять водою до мітки. У 4-у мірну колбу ємністю 100 мл замість стандартного розчину наливають 10 мл води. Вимірюють інтенсивність червоних розчинів при довжині хвилі 540 нм у кюветі з робочою товщиною 1 см відносно розчину порівняння, взятого з 4-ої колби. За одержаними даними будують калібрувальний графік, відкладаючи на осі ординат оптичну густину, а на осі абсцис – концентрацію нітрит-іонів в мкг/мл.

Виконання аналізу. У мірну колбу ємністю 200 мл поміщають наважку проби масою  $10 \pm 0,001$  г, додають 5 мл насиченого розчину бури і 100 мл гарячої води. Колбу нагрівають на киплячій водяній бані протягом 15 хв. Після охолодження в колбу додають по 2 мл розчину, що містить 106 г/л  $K_4[Fe(CN)_6]$ , і розчину, що містить 220 г/л цинк ацетату та 30 мл/л концентрованої  $CH_3COOH$ . Вміст колби доводять до мітки, витримують 30 хв при температурі  $20^\circ C$  і фільтрують. Фільтрат об'ємом 10 мл вносять в мірну колбу ємністю 100 мл, проводять кольорову реакцію і вимірюють оптичну густину відповідно методики, що була застосована при побудові калібрувального графіку. Паралельно проводять контрольний дослід, поміщаючи в мірну колбу ємністю 200 мл замість проби 10 мл води. Масову частку нітрит-іонів ( $\chi_1$ ) у відсотках обчислюють за формулою:

$$\chi_1 = \frac{200 \cdot 100 \cdot 100 \cdot M_1}{m \cdot V \cdot 10^6} = \frac{2M_1}{m \cdot V}$$

де  $M_1$  – масова частка нітрит-іонів, знайдена по графіку, мкг/мл;  $m$  – наважка продукту, г;  $V$  – об'єм фільтрату, узятий для вимірювання, мл.

**Визначення ступеня термічного окиснення жирів.** При нагрівання жирів вище  $170^\circ\text{C}$  зростає інтенсивність полоси поглинання УФ-випромінювання з довжиною хвилі 232 нм, яка відповідає поглинанню спряжених дієнових хромофорів. При цьому величина питомого поглинання –  $E$  гарно корелюється з показниками ступеню термічного окиснення жиру.

Виконання аналізу. Пробу підігрітого жиру кількістю 5 крапель зважують на аналітичних вагах у сухій мірній колбі ємністю 100 мл. У колбу додають ~50 мл гексану або циклогексану, який пропускає УФ-промені довжиною хвилі ~200 нм. Наважку в колбі розчиняють і доводять розчинником до мітки. Розчин наливають в кювету з довжиною робочого шару 1 см і на спектрофотометрі вимірюють його оптичну густина при довжині хвилі 232 нм, застосовуючи для порівняння чистий розчинник. Величину питомого поглинання розраховують за формулою:

$$E_{1\text{ см}}^{1\%} = \frac{D}{m}$$

де  $E_{1\text{ см}}^{1\%}$  – питомий коефіцієнт поглинання, який дорівнює оптичній густині 1 %-го розчину при товщині його шару 1 см;  $D$  – оптична густина розчину жиру;  $m$  – маса наважка жиру, г.

Якщо розраховане значення питомого коефіцієнту поглинання буде менше 15, то жир вважають доброякісним, якщо ж цей показник буде більший за 15, то жир не придатний для подальшого використання. Значення  $E_{1\text{ см}}^{1\%}$  відповідає вмісту у фритюрі 1 % окиснених речовин – їх максимально припустимому вмісту.

### Люмінесцентний метод аналізу

Люмінесценцією називають світіння речовини, яке виникає при переході електронів на інші енергетичні рівні. Щоб речовина почала люмінесцювати, до неї необхідно підвести ззовні певну кількість енергії, поглинаючи яку часточки речовини переходять у збуджений стан. Під час повернення у стан спокою вони віддають частину енергії збудження у вигляді квантів люмінесценції. Таке випромінювання називають «холодним світлом», оскільки воно не включає в себе теплову енергію. Джерелом збудження люмінесценції є УФ-промені. Існує два види люмінесценції – флуоресценція і фосфоресценція. Флуоресценція – короткочасне світіння, що виникає в момент збудження об'єкту і після усунення джерела збудження миттєво припиняється. Фосфоресценція – світіння, яке триває після відключення джерела збудження. Речовини, що світяться при збудженні, називають люмінофорами. Люмінофори після поглинання УФ-променів випускають промені оптичного діапазону і світяться характерним світлом (зеленим, жовтим тощо).

На основі цих явищ були розроблені люмінесцентний і флуоресцентний методи дослідження. Метод, що ґрунтується на вимірюванні інтенсивності флуоресценції речовин називається флуорометрією. Метод відрізняється дуже високою селективністю, оскільки флуоресціює незначне число речовин. Флуорометрію застосовують при аналізі складних систем, де флуоресціює лише одна речовина або існує область спектру, де вона переважно флуоресціює.

Якісний люмінесцентний аналіз ґрунтується на виникненні світлових променів різних кольорів, залежно від хімічної природи люмінофору, тобто застосовується сам факт його люмінесценції. Випромінювання при цьому спостерігають візуально або за допомогою простих приладів – люміноскопів та люменометрів. У цих приладах зі світлового потоку за допомогою оптичних фільтрів виділяється випромінювання певної спектральної ділянки, яка

добре поглинається досліджуваною сполукою. Найбільш селективними є інтерференційні фільтри, які пропускають смуги шириною до 10 нм.

Кількісний люмінесцентний аналіз ґрунтується на вимірюванні інтенсивності люмінесценції речовин-люмінофорів за допомогою флуорометрів або шляхом реєстрації спектрів люмінесценції спеціальними спектрографами. Якщо інтенсивність люмінесценції люмінофору прямо пропорційна її вмісту, то користуються попередньо визначеною величиною інтенсивності люмінесценції еталонного зразку. Порівнюючи інтенсивність люмінесценції досліджуваного розчину з еталонними зразками визначають вміст речовини у пробі.

Люмінесцентний метод дослідження харчових продуктів порівняно з іншими методами має низку переваг. Чутливість методу надзвичайно висока. Він дозволяє виявляти в розчинах  $10^{-10}$  г люмінофора в 1 г суміші, що набагато перевищує чутливість інших абсорбційних методів.

**Прилади та обладнання для люмінесцентного аналізу.** Для спостереження кольору, відтінків люмінесценції та вимірювання її інтенсивності застосовують люміноскопи, люменометри та флуорометри.

Люміноскопи являють собою закриту камеру, в якій розташовані джерело УФ-променів (лампи), кювета для зразків, світлофільтр для запобігання попаданню УФ-промені в очі, окуляр для спостереження. Найбільш поширеними на цей час марками люміноскопів є «Оріон», «Філін», «Еней» і «Експерт». Для збудження в них люмінесценції використовують УФ-промені з довжиною хвилі – 240...365 нм.

Для вимірювання інтенсивності флуоресценції застосовують флуорометри, такі як «ЭФ-3М», «ЕФМА», «Флюорат-02», «Квант-9» та інші. На відміну від люміноскопів вони містять приймач випромінювання та вимірювальний пристрій. Принцип їх роботи

базується на встановленні співвідношень потоків флуоресценції об'єктів та опорного світлового потоку. Флуорометри застосовують при дослідженні речовин з уже встановленими спектральними характеристиками люмінесценції. Джерелом світла служить імпульсна ксенонова лампа, яка забезпечує світлові потоки в спектральному діапазоні від жорсткого ультрафіолету до червоної границі видимого світла (280...750 нм). Погрішність вимірювань не перевищує 1,0 %. Люменометри – прилади, що застосовують для оцінки мікробіологічної безпеки на харчових виробництвах та санітарного контролю харчових продуктів. Робота люменометрів ґрунтується на явищі біолюмінесценції – слабкого оптичного світіння, що виникає в живих організмах під час перебігу біохімічних реакцій. Люменометри дозволяють визначати рівень АТФ, що міститься у всіх тваринних клітинах, бактеріях, дріжджах та цвілевих грибах. Моніторинг АТФ забезпечує точний контроль рівня мікробного забруднення та чистоти обладнання.

Під час проведення аналізу відбувається взаємодія ферменту люциферази, який перебуває в стерильній пробірці, з молекулами АТФ. При контакті молекул АТФ з рідким реагентом, відбувається генерування холодного світла. Люменометр вимірює інтенсивність цього світла і виводить на дисплей інформацію про рівень мікробного забруднення. Для визначення мікробіологічних показників вельми ефективним виявився люменометр EnSURE, (рис. 3.16). Люменометр EnSURE разом з набором одноразових пробірок для мікробіологічних тестів дозволяє проводити комплексне мікробіологічне обстеження підприємств харчової промисловості та закладів громадського харчування.

У комплект люменометру з входять тести на АТФ, БГКП (бактерії групи кишкової палички) КМАФАНМ (кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів) та інші показники мікробіологічної безпеки.



Рис. 3.16. Люменометр EnSure

### **Дослідження харчових продуктів люмінесцентними методами**

Люмінесцентний аналіз знайшов широке застосування в практиці експертиз продовольчої сировини та харчових продуктів. Так, у плодах і овочах цим методом визначають пестициди (варфалін та ін.), у харчовій продукції – наявність токсичних вуглеводнів (бензопірен та ін.). При дослідженні води було встановлено, що дистильована вода не світиться, для водопровідної води характерна слабо-фіолетова люмінесценція, а для забрудненої води – жовто зелена. У табл. 3.8 вказані задачі, які дозволяє розв’язувати люмінесцентний аналіз під час контролю якості харчової продукції.

**Аналіз м'яса і м'ясних виробів.** Для визначення видової належності м'яса в камеру люміноскопу поміщають зразки розміром ~6×6 см і спостерігають колір люмінесценції. Яловичина люмінесціює темно-червоним кольором, телятина – світло-коричневим, баранина – коричневим, свинина – рожевим з коричневим відтінком, сухожилля, хрящі – світло-блакитним.

Таблиця 3.8

Показники харчової продукції, що визначаються люмінесцентними методами

Харчові продукти	Існуючі методики люмінесцентного аналізу
М'ясо і м'ясні продукти	Визначення видовою належності і свіжості, виявлення фактів фальсифікації рубаного м'яса субпродуктами
Олії та жири	Перевірка чистоти рослинних олій, виявлення фальсифікації вершкового масла маргарином та жирами
Риба	Визначення якості свіжої та соленої риби
Молоко та молочні продукти	Оцінка якості молока й сиру, їх бактеріальної забрудненості
Плоди та овочі	Визначення захворювань й ушкоджень, виявлення підморожених овочів, оцінка свіжості плодів
Соки і вина	Виявлення фактів фальсифікації червоних виноградних вин плодово-ягідними

Люмінесценція м'ясних продуктів змінюється залежно від ступеня їх свіжості. Свіжа м'язова тканина яловичини дає бархатистий темно-червоний колір люмінесценції. У тканини з початковими ознаками псування на тьмяному фоні світіння з'являються поодинокі світні крапки. Несвіже м'ясо відрізняється нерівномірним бордовим фоном люмінесценції з безліччю світних крапок й зелених плям, що пов'язано з присутністю в ньому бактерій, цвілі або грибків. Найбільш об'єктивним показником непридатності м'яса до вживання служить поява різкої червоної люмінесценції, характерної для порфіринів – продуктів розпаду гемоглобіну. Ще більш характерні зміни в світінні м'яса різної свіжості спостерігають під час люмінесценції м'ясних екстрактів. Екстракт свіжого м'яса світиться жовто-зеленим кольором, екстракт м'яса з початковими ознаками псування – зелено-блакитним, несвіжого – блакитним.

**Аналіз жирів та олій.** Більшість олій та жирів здатна до люмінесценції, що дає можливість їх розрізнати. Так, масло вершкове має колір люмінесценції від блідо- до яскраво-жовтого, вершковий маргарин дає світло блакитний колір люмінесценції, маргарин столовий – блакитно-сірий. Олії мають специфічну люмінесценцію: так соняшникова олія дає слабку люмінесценцію жовто-блакитного кольору, льняна – бліднувато-блакитного кольору, маслинова – ясного синього кольору тощо. Забруднення соняшникової олії, мінеральними маслами (машинним) легко виявляються навіть в малих концентраціях завдяки появі характерної яскраво-блакитної люмінесценції.

**Аналіз риби і рибних продуктів.** Люмінесцентний метод дозволяє виявляти факти псування риби на таких ранніх стадіях, коли вона ще невловима органолептичними методами. Аналізуючи існуючі факти можна зробити такі висновки. У свіжій риби поверхня тіла не люмінесціює: спостерігається дуже слабке сіре світіння з фіолетовим відтінком. У риби, що має ознаки початкового

псування, на розрізі м'язів з'являється яскраве суцільне світіння канаркового кольору. У явно зіпсованої риби зябра люмінесціюють яскраво-червоним кольором, на м'язах спостерігаються жовтогарячі плями. Після кулінарної обробки вироби з риби зберігають характер світіння сирого продукту.

**Аналіз молока і молочних продуктів.** Люмінесцентний метод успішно використовується при експертизі молока й молочних продуктів, а саме: при визначенні наявності домішок у молоці (води, соди), вмісту в ньому жиру і білків, ступеня зрілості сирів, виявленні бактеріальної обсіменіння молочних продуктів. Так, при наявності домішок соди в молоці характерний для незбираного молока жовтий колір люмінесценції стає світлим. Сир, виготовлений по традиційній технології, дає люмінесценцію жовтуватого кольору. У люмінесценції сиру, виготовленого зі знятого молока в бляшаному посуді, спостерігається синьо-фіолетове мерехтіння. Недоспілий сир люмінесціює матово-жовтим кольором. У міру дозрівання світіння сир набуває синюватого відтінку, у дозрілих сирів відтінок стає майже фіолетовим. Наявність бактерій та грибків в сирах легко визначити по появі яскравої люмінесценції, появі світних плям, які можуть мати різні кольори й форму.

**Аналіз овочів.** Люмінесцентні методи дозволяють виявляти виявляють ознаки захворювання та ушкодження овочів (цибулі, часнику, моркви, буряка), початок гниття огірків, бобів, капусти на такій ранній стадії, коли воно невловиме іншими методами. Люмінесценцію застосовують при відбраковуванні ушкоджених овочів у процесах виготовлення консервів. Колір люмінесценції здорової картоплі змінюється від яскраво-жовтого (сорт «Камераз») до жовто-коричневого (сорт «Білоруський») або сіруватого (сорт «Лорх»). Бульби будь-якої картоплі, уражені фітофторою, люмінесціюють яскраво-блакитним

кольором. При сильній поразці бульби в потоці УФ променів на яскраво-блакитному фоні з'являються коричневі і чорні плями.

**Аналіз яєць.** Люмінесцентний метод дає можливість оцінювати якість яєць без розкриття їх шкарлупи. По зміні кольору люмінесценції шкарлупи з достатньою достовірністю можна визначати якість і термін зберігання яєць. Цей колір у процесі зберігання змінюється від малинового до блакитно-сірого, що зумовлено змінами у стані пігменту – овопорфірину.

### **Контрольні запитання**

1. В чому суть фотометричних методів?
2. Сформулюйте закон Бугера-Ламберта-Бера. Чим обумовлені відхилення від цього закону?
3. Техніка проведення спектрофотометричних досліджень.
4. Які прилади та обладнання використовують для спектрофотометричних аналізів.
5. Методика визначення вмісту білків у молоці та молочних виробках.
6. Методика визначення вмісту нітрит-іонів у м'ясних виробках.
7. Визначення ступеня термічного окиснення жирів.
8. В чому суть люмінесцентного аналізу?
9. Які показники харчової продукції визначаються люмінесцентними методами?
10. Аналіз харчової продукції методом люмінесцентного аналізу.

### **3.5. Потенціометричний метод аналізу**

#### **Електрохімічні процеси та класифікація електродів**

Електрохімічними називаються процеси, що протікають в розчині під впливом електричного струму, або процеси, перебіг яких супроводжується виникненням електричного струму в зовнішньому ланцюгу. Електрохімічні методи дослідження

базуються на електродних реакціях, що відбуваються на межі поділу фаз, або на процесах перенесення електричного струму через розчини електролітів.

За природою джерела електричної енергії в системі розрізняють дві групи електрохімічних методів аналізу. Це потенціометричні методи, в яких джерелом електричної енергії є сама електрохімічна система, і методи із застосуванням зовнішніх джерел струму. До останніх методів відносяться кондуктометричний, кулонометричний вольтамперометричний, та ін.

Для визначення компонентів у пробах потенціометричними методами користуються вимірювальною схемою, що складається з електрохімічної комірки (електроди, які містяться у досліджуваному середовищі) і зовнішнього ланцюга (металеві провідники та вимірювальний пристрій).

Електродом називають сукупність двох контактуючих фаз, одна з яких є провідником II-го роду (електролітом), а інша (матеріал електроду) – провідником I-го роду, наприклад металом. У таких системах має місце некомпенсований обмін іонами між електродом і електролітом, внаслідок чого між ними виникає різниця потенціалів яку називають електродним потенціалом. Виникнення потенціалу обумовлено просторовим розділенням зарядів, які мають протилежні знаки на межі поділу фаз, і утворюють подвійний електричний шар (ПЕШ). Електродний потенціал залежить від природи електроду і концентрації іонів в електроліті: його розраховують за допомогою рівняння Нернста. Електроди поділяють на такі групи.

Електроди I-го роду за будовою являють собою метал, занурений в розчин, що містить катіони цього металу. Рівняння Нернста для електродів I-го роду має такий вигляд:

$$\varepsilon = \varepsilon^{\circ} + \frac{RT}{nF} \cdot \ln a_{Me^{+n}},$$

де  $\varepsilon$  – потенціал електроду, В;  $\varepsilon^{\circ}$  – стандартний потенціал електроду, В;  $R$  – універсальна газова стала, 8,31 Дж/моль·К;  $T$  – температура, К;  $n$  – число електронів, що беруть участь в елементарному акті електрохімічної реакції;  $F$  – число Фарадея, 96450 К/г -екв;  $a$  – активність катіону металу в розчині.

Прикладом електроду I-го роду є мідний дротик, занурений у розчин  $\text{CuSO}_4$ . Схема запису такого електроду має вигляд:  $\text{Cu} | \text{CuSO}_4$  або  $\text{Cu} | \text{Cu}^{2+}$ . На поверхні електроду перебігає реакція:  $\text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{Cu}$ . Електроди I-го роду застосовують для вимірювання концентрації відповідних катіонів у розчинах.

До електродів I-го роду відносять водневий електрод, що являє собою платиновий дротик, занурений у розчин хлоридної або сульфатної кислоти, через який пропускають водень. Схема електроду має такий вигляд –  $\text{Pt}, \text{H}_2 | \text{H}^+$ . На поверхні електроду перебігає оборотна реакція:  $2\text{H}^+ + 2\bar{e} \rightleftharpoons \text{H}_2$ . За стандартних умов рівняння Нернста для водневого електроду має такий вигляд:

$$\varepsilon = \frac{RT}{nF} \cdot \ln a_{\text{H}^+} = -0,059 \text{ pH}.$$

Потенціал водневого електроду, що працює за таких умов вважають рівним нулю. Потенціал будь-якого електроду відповідно водневій шкалі електродних потенціалів дорівнює різниці потенціалів електродів, один з яких – стандартний водневий, а інший – електрод, потенціал якого визначають.

Електроди II роду за будовою являють собою метали, вкриті малорозчинною сполукою цих металів і занурені в електроліт, що містить аніони цієї сполуки. Електроди II-го роду застосовують для вимірювання концентрації у розчинах. Найбільше поширення з електродів II-го роду знайшов хлорсрібний електрод (ХСЕ). Рівняння Нернста для ХСЕ має такий вигляд:

$$\varepsilon = \varepsilon^o - \frac{RT}{nF} \cdot \ln a_{Cl^-}$$

Стандартний електродний потенціал ХСЕ дорівнює +0,222 В.

Електроди II-го роду відзначаються доступністю, високою стабільністю та відтворюваністю значень електродних потенціалів, тому їх широко застосовують, як електроди порівняння у потенціометричному аналізі.

Окисно-відновні електроди за будовою являють собою пластину інертного металу, як правило платини, занурену в електроліт, що містить в собі окисник і відновник. Потенціал такого електроду, який називають окисно-відновним потенціалом (ОВП), визначається рівнянням:

$$\varepsilon = \varepsilon^o + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{a_{ok}}{a_{\delta}}$$

де  $a_{ok}$  – активність речовини-окисника;  $a_{\delta}$  – активність речовини-відновника.

Процеси одержання й віддачі електронів відбуваються в розчині електроліту. Сама платина в електродному процесі не приймає участі, виконуючи роль переносника електронів. Фактично ОВП є рівноважним потенціалом платинового електроду в розчині, що містить окисники й відновники. Позначають ОВП символом  $Eh$  і виражають в мілівольтах [мВ].

Іонселективні електроди (ІСЕ) – чутливі електроди, потенціал яких залежить від логарифму активності певних іонів у розчині. На цей час виготовляють ІСЕ з твердими, рідинними, плівковими та скляними мембранами. Мембрана розділяє два електроліти: зовнішній досліджуваний розчин та внутрішній розчин з відомою концентрацією іона, вміст якого необхідно визначити в досліджуваному розчині. Між розчинами виникає різниця потенціалів, яка називають електродним потенціалом ІСЕ. На цей час існують ІСЕ для визначення іонів  $Br^-$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,

$\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{J}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ . Одним з перших був створений нітратний ІСЕ, мембрана якого виготовлена з ПВХ, що містить тетрадециламоній. Його корпус заповнений розчином, що містить по 0,1 моль/л  $\text{KNO}_3$  та  $\text{KCl}$ . На рис. 3.17 наведено електрод ЕМ- $\text{NO}_3$ -07СР, що здатен визначати вміст іонів  $\text{NO}_3^-$  в інтервалі від  $2 \cdot 10^{-5}$  до 0,45 моль/л. Принцип роботи електрода ґрунтується на обміні іонами  $\text{NO}_3^-$  між поверхнею мембрани і розчином, внаслідок чого між ними виникає різниця потенціалів, величина якої пропорційна  $p\text{NO}_3$  у розчині.



Рис. 3.17. Нітрат-селективний електрод

Серед ІСЕ зі скляними мембранами найпоширенішим є електрод для вимірювання  $pH$ , що являє собою скляну трубку, до якої припаяна кулька, виготовлена з електродного скла (рис. 3.18). Як внутрішній електроліт в електроді використовують 0,1М розчин  $\text{HCl}$  з добавкою  $\text{KCl}$ . Іони  $\text{H}^+$  розподіляються між склом і розчином таким чином, що між ними утворюється ПЕШ з протилежних зарядів і виникає різниця потенціалів, значення якої визначається активністю іонів  $\text{H}^+$  у досліджуваному розчині, тобто від  $pH$  цього розчину. Величину потенціалу скляного електрода обчислюють за рівнянням Нернста, яке після чисельних підстановок значень  $R$  і  $F$  має такий вигляд:

$$\varepsilon = \varepsilon^0 - 0,059pH,$$

де  $\varepsilon^0$  – стандартний потенціал скляного електрода, який залежить від сорту вибраного електродного скла, В.

Скляний електрод зазвичай використовують в парі з ХСЕ, при чому широкого застосування набули електроди, суміщені з ХСЕ в одному корпусі.



Рис. 3.18. Скляний *pH*-електрод фірми Ездо

### Техніка виконання потенціометричних досліджень

Електрорушійну силу (ЕРС) системи, що складається з двох електродів, розраховують за різницею їх потенціалів:  $E = \varepsilon_+ - \varepsilon_-$ , де  $\varepsilon_+$  і  $\varepsilon_-$  – потенціали позитивного та негативного електродів відповідно. Електрод, потенціал якого залежить від активності досліджуваних іонів, називають індикаторним.

Зазвичай як індикаторні електроди застосовують ІСЕ. Вибір індикаторного електрод обумовлюється типом електродної реакції, природою іону, який визначають, та умовами аналізу. Так, у реакції нейтралізації як індикаторні електроди застосовують скляні електроди, в ОВР – окисно-відновні, в реакціях комплексоутворення – ІСЕ або електроди I-го роду. Для визначення потенціалу індикаторного електрода в розчин занурюють електрод порівняння, як правило ХСЕ, і вимірюють ЕРС між індикаторним електродом та електродом порівняння за відсутності струму в зовнішньому ланцюгу.

Розрізняють два види потенціометричних досліджень: пряма потенціометрія (іонометрія) і потенціометричне титрування.

Пряма потенціометрія ґрунтується на вимірюванні потенціалів індикаторних електродів і розрахунку активності іонів за рівнянням Нернста. Поява ІСЕ призвела до виникнення іонометрії. При роботі з ІСЕ встановлюють залежність між потенціалом електроду та величиною  $pX = -\lg a_x$ , де  $a_x$  – активність іона X, який приймає участь в електродній реакції. Графічно цю

залежність виражає прямолінійний графік. Для побудови графіку застосовують стандартні розчини. Після вимірювання потенціалу ІСЕ в розчині за графіком знаходять значення  $I_{\text{гах}}$  і розраховують активність іону в цьому розчині.

Потенціометричне титрування ґрунтується на вимірюванні ЕРС системи, в якій відбувається електрохімічна реакція, і знаходженні точки еквівалентності шляхом титрування. Точку еквівалентності фіксують за різким стрибком потенціалу електроду. Це дуже точний метод, оскільки поблизу точки еквівалентності навіть незначна зміна концентрації іонів призводить до стрімкої зміни потенціалу індикаторного електроду. Для встановлення кінцевої точки зазвичай будують криву титрування в координатах « $E - V$ », де  $V$  – об'єм титранту. Це так звана інтегральна крива титрування. Іноді будують диференціальну криву титрування в координатах  $\frac{dE}{dV} - V$ , яка забезпечує більш точні результати аналізу. На рис. 3.19 наведені зразки кривих титрування, побудовані на припущенні, що перегин кривої відповідає точці еквівалентності.

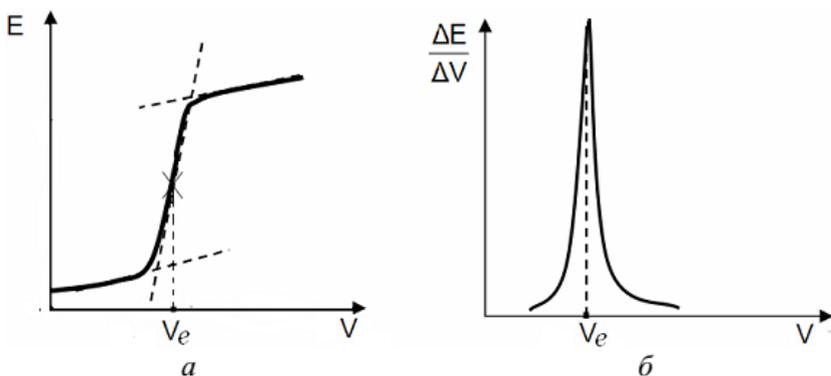


Рисунок 3.19. Криві потенціометричного титрування:  
а – інтегральна; б – диференціальна;  $V_e$  – еквівалентний об'єм титранту

Схема установки для потенціометричного титрування наведена на рис. 3.20.

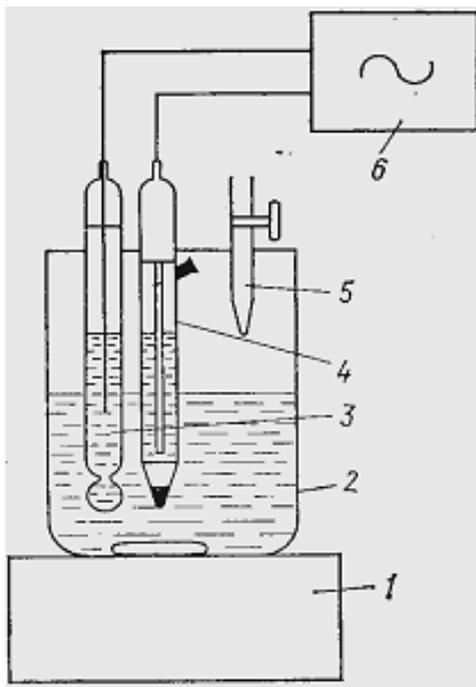


Рис. 3.20. Схема потенціометричного титрування: 1 – магнітна мішалка; 2 – хімічний стакан; 3 – ІСЕ; 4 – ХСЕ; 5 – бюретка; 6 – іонометр

Після проходження стрибка значень  $pX$  титрант додають, доки значення не стабілізуються. Для знаходження точки еквівалентності будують криві титрування, як це показано на рис. 3.19.

### Прилади та обладнання для потенціометричних досліджень

Іонометри та  $pH$ -метри. На цей час існують численні моделі лабораторних  $pH$ -метрів та іонометрів, призначених для вимірювання концентрації іонів у будь-якому середовищі. Перелік таких приладів включає безліч моделей, це насамперед:  $pH$ -305, І-

При проведенні титрування в стакан відбирають досліджуваний розчин, в який занурюють ХСЕ та ІСЕ. Бюретку заповнюють розчином титранту. Далі включають магнітну мішалку і починають титрувати розчин, додаючи титрант у стакан малими порціями (~0,5 мл). Після кожного додавання титранту вимірюють ЕРС (або  $pX$ ) середовища в стакані. При наближенні до точки еквівалентності, коли величина ЕРС починає стрімко зростати, титрант додають по краплям.

160, ЭВ-74, SX 711, KL-03, Ezodo 6011AF, цілі серії приладів «Hanna HI», «SevenGo», «Meter» та ін. Їх відрізняє висока точність, надійність роботи та простота керування. Наприклад, іонометр И-160.1МП суміщається з будь-якими ІСЕ і дозволяє вимірювати вміст іонів  $H^+$ ,  $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $S^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $ClO_4^-$ ,  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$ ,  $CN^-$ ,  $SCN^-$  у діапазоні  $pX$  від  $-20,0$  до  $+20,0$  одиниць.

Потенціометричні титратори. Під час проведення масових аналізів часто застосовують потенціометричні титратори – прилади для автоматичного проведення процесу титрування. Автоматичні титратори працюють за заданою програмою без участі людини.



Рис. 3.21. Автоматичний титратор АТП-02

Вони мають функції безперервної або дискретної подачі титранту, автоматичної зміни швидкості його подачі при наближенні до заданої точки. На ринку пропонують титратори ZD-3A, БАТ-15.2, АТ-710S, АТП-02 та ін. Титратор АТП-02 (рис. 3.21.) дозволяє проводити всі види потенціометричного титрування.

Титратор здійснює подачу титранту в діапазоні  $0,1 \dots 90$  мл/хв при об'ємі дозатору до 50 мл. Передбачена автоматична зміна швидкості подачі титранту при наближенні до точки еквівалентності. Він складається з блоку титрування, бюретки, рН-електроду, термометру, магнітної мішалки, стакану з пробом і ємності з титрантом. Результати аналізів титратор здатен видавати

у вигляді графіків кривих титрування, значень еквівалентного об'єму титранту, величин ЕРС або концентрації розчину. АТП-02 має такі технічні характеристики: мінімальна порція титранту 0,02 мл, погрішність дозування – 0,15 %; діапазон вимірювання потенціалу  $-2...+2$  В; діапазон вимірювання  $pX$  від  $-20$  до  $+20$ .

Прилади для вимірювання ОВП. Окисно-відновний потенціал –  $Eh$  визначають як потенціал, що виникає на інертному електроді в розчині, що містить окиснену й відновлену форми речовини. Для вимірювання  $Eh$  в рідких системах зручно користуватися портативними ОВП-метрами серії ОРР. Так, ОВП-метр ОРР-200, вигляд якого наведено на рис. 3.22, дозволяє вимірювати  $Eh$  рідин з вмістом алкоголю до 50 % та питомою електропровідністю не менше 10 мСм.



Рисунок 3.22. ОВП-метр  
ОРР-200

Прилад застосовують для контролю якості води, визначення вмісту антиоксидантів в продуктах, оцінки санітарно-гігієнічного стану на харчових виробництвах. Інтервал вимірювання ОВП становить  $\pm 1000$  мВ з погрішністю 0,5%. В ОВП-метрі застосовують змінні скляний та платиновий електроди.

Електроди для вимірювання  $pH$  і  $Eh$ . Для аналізів харчових продуктів розроблено низку  $pH$ -електродів, найбільш відомі з яких такі серії, як «Hanna», АТ», «WTW», «Hamilton», «ЭС» та ін. Так, фірмою «Hanna Instruments» створено пакет ICE «Foodpacket». До

складу пакету входять низка *pH*-електродів серії FC, у тому числі: FC 200, FC 201, FC 202 – електроди загального призначення; FC 210 – електрод для молока, йогуртів, кремів; FC 220 – електрод для вина і соків; FC 240, FC 250 – електроди для твердих і м'яких сирів.

На рис. 3.23 наведений електрод FC 230 для вимірювання *pH* у м'ясі, м'ясних продуктах, твердому сири, фруктах. Електрод можна застосовувати для роботи із замороженими продуктами, оскільки він оснащений змінним ножом з нержавіючої сталі, що дозволяє без зусиль розрізати волокна м'яса й занурювати електрод усередину надрізів. Діапазон вимірюваних значень *pH* становить 0...12. Для вимірювання ОВП застосовують електроди з платинового дроту. Більш точні результати забезпечують платинові електроди «гудзикового» типу зі значною поверхнею.

Розповсюджені також полімерні, керамічні та скляні електроди з Red-Ox функцією. Як електроди порівняння для них застосовують ХСЕ. На рис. 3.24 наведено електрод ID 4521E, корпус якого виготовлено з тefлону. Електрод працює в інтервалі температур 0...80° С і вимірює Eh в діапазоні ±1500 мВ.



Рисунок 3.23. *pH*-електрод FC230



Рисунок 3.24. ОВП-електрод ID 4521E

## Дослідження харчових продуктів потенціометричними методами

Потенціометричні методи дають можливість проводити дослідження в каламутних та забарвлених розчинах і навіть в твердих продуктах без застосування операцій екстракції та фільтрації. Це одні з найпоширеніших методів дослідження харчової продукції. За їх допомогою визначають вміст білків, цукрів і соди в молочних продуктах, калію в зерні, крохмалю та кальцію в м'ясних продуктах, йодне и перекисне число олій і жирів та інші показники. Потенціометричні методи стандартизовані для визначення кислотності харчових продуктах, вмісту в них нітратів, нітритів та важких металів.

**Визначення титрованої кислотності молока.** Потенціометричним методом визначають кислотність хлібобулочних виробів, молочних продуктів, жирів та олій. Як відомо, розрізняють активну і титровану кислотність. Першу величину визначають методом прямої потенціометрії за допомогою *pH*-метрів. Другу визначають потенціометричним титруванням і виражають в градусах Тернера. Під градусом кислотності розуміють об'єм 1 М розчину NaOH (в мл), що потрібен для нейтралізації речовин кислотної природи в 100 г продукту.

Кислотність є одним з основних показників якості молока, яка показує наявність в ньому кислих солей, молочної та лимонної кислот, білків у формі аніонів, карбонатної кислоти. Унаслідок життєдіяльності бактерій кислотність молока з часом зростає. Титрована кислотність характеризує свіжість і чистоту молока. Допустимі значення кислотності для нормального молока знаходяться в інтервалі 16...21° Т. Визначення кислотності молока здійснюють за такою методикою. У склянку вносять 30 мл молока. Склянку встановлюють на мішалку і ретельно розмішують пробу. Далі в пробу опускають скляний та хлорсрібний електроди.

Бюретку заповнюють 1М розчином NaOH і починають титрування до значення  $pH=8,9$ , яке відповідає точці еквівалентності (ТЕ). Починаючи з  $pH=4$  титрант додають по краплях. Через 30 с після досягнення ТЕ фіксують об'єм розчину NaOH (в мл), що пішов на нейтралізацію, який численно дорівнює кислотності продукту в градусах.

**Визначення вмісту нітратів у м'ясних продуктах.** Нітрати – токсичні сполуки, вміст яких у м'ясних продуктах не повинен перевищувати 400 мг/кг. Для побудови графіку готують розчини  $KNO_3$  з концентрацією, моль/л:  $1 \cdot 10^{-2}$ ,  $1 \cdot 10^{-3}$ ,  $1 \cdot 10^{-4}$ ,  $1 \cdot 10^{-5}$ . Значення  $pNO_3$  в цих розчинах дорівнюють 2, 3, 4 і 5 відповідно. У 4 стакани наливають по 50 мл приготовлених розчинів і по 1 мл 1М розчину калій сульфату. У розчини занурюють ХСЕ та нітратний ІСЕ і вимірюють ЕРС елемента ( $E$ , мВ). За одержаними даними будують калібрувальний графік в координатах « $E-pNO_3$ ».

Виконання аналізу. У колбу ємністю 250 мл вносять наважку здрібненого продукту масою 10 г, додають 100 мл теплої дистильованої води і при перемішуванні екстрагують нітрати протягом 30 хв, після чого екстракт фільтрують. У фільтраті осаджують білки, додаючи 2,5 мл 0,1 М розчину NaOH і 10 мл 0,45%-го розчину цинк сульфату і витримуючи колбу на киплячій водяній бані протягом 5 хв. Після охолодження розчин фільтрують. Фільтрат і промивну воду збирають в мірну колбу ємністю 100 мл і доводять до мітки 1М розчином калій сульфату. Одержаний розчин наливають в стакан і вимірюють ЕРС елемента, утвореного ХСЕ та нітратним ІСЕ. За одержаними значеннями ЕРС користуючись калібрувальним графіком знаходять вміст нітратів в екстракті. Вміст нітратів ( $y$  %) у продукті розраховують за формулою:

$$w_1 = \frac{C_1 \cdot M_1 \cdot V}{m} \cdot 100,$$

де  $M_1$  – молярна маса нітрат-іонів, г/моль;  $C_1$  – концентрація нітрат-іонів, визначених за калібрувальним графіком, моль/л;  $V$  –

об'єм фільтрату (ємність мірної колби), мл;  $m$  – маса наважки здрібненого продукту, г.

### **Контрольні запитання**

1. На чому базуються електрохімічні методи дослідження?
2. Дайте визначення електроду. Які вони бувають?
3. Наведіть схему електроду I роду.
4. Електроди II роду. Рівняння Нернста.
5. Будова окисно-відновних електродів.
6. Іонселективні електроди. Приклади.
7. Прилади та обладнання для потенціометричних досліджень.
8. Дослідження харчових продуктів потенціометричними методами.
9. За якою формулою розраховують вміст нітратів у харчових продуктах.

### **3.6. Хроматографічні методи дослідження**

#### **Класифікація хроматографічних методів аналізу**

Хроматографія – фізико-хімічний метод розділення та ідентифікації речовин, який ґрунтується на розподілі компонентів між двома фазами – нерухою (НФ) та рухою (РФ). Як НФ звичайно використовують тверді сорбенти або плівки рідини на їх поверхні. РФ, яку часто називають елюатом, – це рідина або інертний газ, що протікає через НФ. Хроматографія – вельми ефективний метод, який дозволяє виділяти компоненти з сумішей у чистому вигляді, ідентифікувати їх та визначати кількісний склад цих сумішей. За механізмом розділення компонентів розрізняють адсорбційну, осадову, іонообмінну та розподільну хроматографію.

Адсорбційна хроматографія ґрунтується на виборчій адсорбції компонентів досліджуваної суміші відповідними

сорбентами. При застосуванні цього методу розчин пропускають через стовпчик (колонку), заповнений дрібними часточками сорбенту. Застосовують адсорбційну хроматографію для розділення неелектролітів та газів.

Осадова хроматографія ґрунтується на різній розчинності осадів, утворених компонентами досліджуваного розчину з реактивами, нанесеними на порошок. Розчин пропускають через стовпчик носію, просочений реактивомосаджувачем. Утворені при цьому осади, залежно від своєї розчинності, розташовуються в певній послідовності по висоті стовпчика.

Іонообмінна хроматографія базується на різній здатності іонів до обміну з НФ, яку в таких випадках називають іонітом. РФ являє собою розчин електроліту, а НФ – полімерну матрицю з хімічно закріпленими на ній функціональними групами, які містять замінні іони. Іоніт, що обмінюється з розчином катіонами, називають катіонітом, а іоніт, що обмінюється аніонами – аніонітом. Катіоніти містять катіони металів,  $H^+$  та функціональні групи –  $COOH$ ,  $-SO_3H$ ,  $-SH$ , аніоніти – аніони  $OH^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  та групи –  $NH_2$ ,  $-NH$ .

Іонообмінну хроматографію проводять в колонках, виготовлених зі скляних трубок, заповнених подрібненою іонообмінною смолою. Перед початком аналізу іоніт активують: катіоніт переводять в Н-форму, аніоніт – в ОН-форму. Для цього через колонку пропускають відповідно розчин кислоти або луґу. В іонообмінній хроматографії використовують кондуктометричні детектори, за допомогою яких вимірюють електропровідність елюату.

Розподільна рідинна хроматографія ґрунтується на різниці коефіцієнтів розподілення компонентів досліджуваної суміші між двома рідкими фазами. Одна з рідин (НФ) розміщена в пористій матриці носію, а інша (РФ) – це розчинник, що не змішується з НФ. Цей розчинник пропускають через стовпчик пористого носію з

невеликою швидкістю. Відмінності в коефіцієнтах розподілу забезпечують різницю в швидкостях руху компонентів суміші та їх наступне розділення. Чим більшим є коефіцієнт розподілу речовини, тим швидше вона рухається в розчиннику. Техніка розділення компонентів при цьому дуже проста. Суміш речовин розчиняють у воді і вводять в колонку, заповнену стовпчиком носія, наприклад силікагелем. Після того як розчин збереться у верхній частині носія, його ретельно промивають органічним розчинником, здійснюючи перерозподіл компонентів суміші між водою і розчинником. При цьому на стовпчику носія утворюються окремі зони чистих речовин, які піддають аналізу. Розподільну хроматографію здійснюють на папері, на тонкому шарі сорбенту або на хроматографічних колонках.

### **Розподільна колонкова хроматографія Високоєфективна рідинна хроматографія (ВЕРХ)**

Розділення речовин у рідинній хроматографії базується на механізмах сорбції, розподілу, іонного обміну і здійснюється завдяки різній полярності, розмірів та інших властивостей їх молекул. Технічною особливістю ВЕРХ є використання заповнених сорбентом колонок, куди під високим тиском подається рідина. Це дозволяє швидко розділяти складні суміші. Типовий рідинний хроматограф складається з системи подачі РФ, блока вводу проби, хроматографічної колонки, детектора і пристрою-реєстратора. Схема будови рідинного хроматографа наведена на рис. 3.25. Рідка РФ подається із заданою швидкістю і протікає через блок вводу проби, колонку і детектор. Насоси при цьому повинні забезпечити швидкість потоку від 0,1 до 10 мл/хв. Сигнал від детектора підсилюється і реєструється у вигляді хроматограм. Для вводу проби використовують спеціальні дозатори.

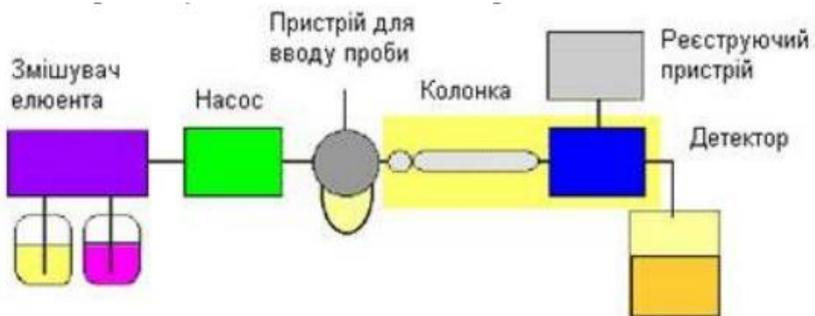


Рисунок 3.25. Схема будови рідинного хроматографа

Колонка для ВЕРХ являє собою сталю трубку діаметром 5...25 мм і довжиною 100...250 мм наповнену силікагелем з розмірами часточок до 5 мкм. Для визначення складу елюату, що витікає з колонки, застосовують кондуктометричні та люмінесцентні детектори, УФ-детектори, рефрактометри, мас-спектрометри. Ідентифікацію речовин у ВЕРХ проводять шляхом порівняння одержаної хроматограми проби з хроматограмами стандартних розчинів речовин, наявність яких передбачається в пробі. Хроматограма графічно відображує зміну сигналу детектора під час аналізу і являє собою базову лінію, на якій розташовуються піки, кожен з яких відповідає певному компоненту суміші.

Вимоги щодо підготовки зразків перед ВЕРХ залежать від стану і складності матриці харчового продукту. У більшості випадків достатньо піддати зразок екстракції водою.

Якщо зразок містить значну кількість жиру, то проводять його очистку петролейним ефіром. Білки усуваються стандартним способом освітлення. Рідинний хроматограф складніший за газовий хроматограф. Це пов'язано з тим, що система подачі елюенту містить деякі додаткові вузли: блок дегазації, пристрій для створення градієнту та ін. На рис. 3.26 наведено хроматограф «Хромос».



Рисунок 3.26. Хроматограф «Хромос» ЖХ-301

### **Газова та газорідинна хроматографія**

Газову хроматографію (ГХ) застосовують для аналізу газів та пари летких рідин. Як РФ у ГХ використовують азот, аргон, водень та інші гази, які переносять пробу через хроматографічну колонку. Розділення ґрунтується на відмінностях у летучості, розчинності або адсорбційній здатності компонентів суміші. Розрізняють газорідинну (ГРХ) та газоадсорбційну (ГАХ) хроматографію. У ГРХ роль НФ виконує нанесена на твердий носій рідина, в якій розчиняються компоненти суміші. Суть методу полягає в тому, що зразок речовини у вигляді пари виноситься з випарника інертним газом і проходить через рідку НФ, яка покриває часточки твердого носія (кізельгуру або цеоліту). Розподіл відбувається між рідкою та газоподібною фазами.

У ГАХ як НФ застосовують тверді сорбенти – алюміній оксид, цеоліти, силікагель, вугілля, синтетичні полімери. За допомогою ГАХ аналізуються газоподібні, рідкі та тверді речовини з молярною масою до 400 г/моль, які можна перевести в парову фазу і знову сконденсувати без зміни їх складу. Досліджувані речовини мають бути летучі та термостабільні. Цим вимогам повною мірою

задовольняють органічні речовини, що дозволяє застосовувати ГХ як серійний метод дослідження харчових продуктів.

Незважаючи на різні технічні рішення принцип будови і основні технічні характеристики газових хроматографів однакові. У кожному з них є система подачі газу-носія, пристрій для введення проби, хроматографічна колонка, термостат, детектор та регістратор сигналів. Джерелом газу-носію в хроматографі є балон з газом. Тиск на виході з балону знижують до робочого тиску 4...10 атм, під яким і працюють хроматографи. Пробу за допомогою дозатора вводять в потік газу-носія, який транспортує її у хроматографічну колонку. Метод ГХ дуже чутливий: для його проведення достатньо декілька мл газу або мкл рідини чи мкг легкої речовини.

У ГХ застосовують два типи колонок – капілярні і насадкові. Діаметр капілярних колонок становить 0,15...0,53 мм, а їх довжина – 15...100 м. Матеріалом для виготовлення колонок служить скло, нержавіюча сталь, мідь, фторопласт. Найбільше поширення одержали кварцові капілярні колонки, довжина яких колонок може досягати сотень метрів. Для точного регулювання і підтримання температури в колонці застосовують термостат.

Газ, що надходить в колонку, рухається уздовж поверхні сорбенту і внаслідок багатократної сорбції і десорбції зазнає перерозподілу у фазах, що дозволяє в потоці чітко виділяти компоненти. Тобто суміші газу-носія і кожного з компонентів послідовно з певним інтервалом виходять з колонки і реєструються детектором, сигнали якого записуються у вигляді хроматограми. Газові хроматографи оснащують чутливими детекторами: полум'яно- та фотоіонізаційними, катарометрами, ІЧ-спектрометрами, мас-спектрометрами.

На рис. 3.27 представлена хроматограма суміші двох речовин. На осі абсцис відкладають час хроматографування, на осі ординат – сигнал детектора, величина якого залежить від

концентрації речовин в елюаті, що виходить з колонки. Час від моменту вводу проби до реєстрації максимуму піка називають часом утримання –  $t_R$ . Більш точною характеристикою є приведений час утримання  $\Delta t_R = t_R - t_0$ , де  $t_0$  – час проходження через колонку компонента, що зовсім не адсорбується в колонці.

Ідентифікацію компонентів суміші проводять шляхом зіставлення часу їх утримування з часом утримання еталонів аналогічної будови. Збіг часу утримування еталона і досліджуваної речовини вказує на їх ідентичність. Суть кількісного визначення складу суміші полягає в тому, що площа піка компонента пропорційна його абсолютному вмісту в газовій суміші. Обчислюють площу піку як добуток основи –  $w$  на половину його висоти –  $h$ .

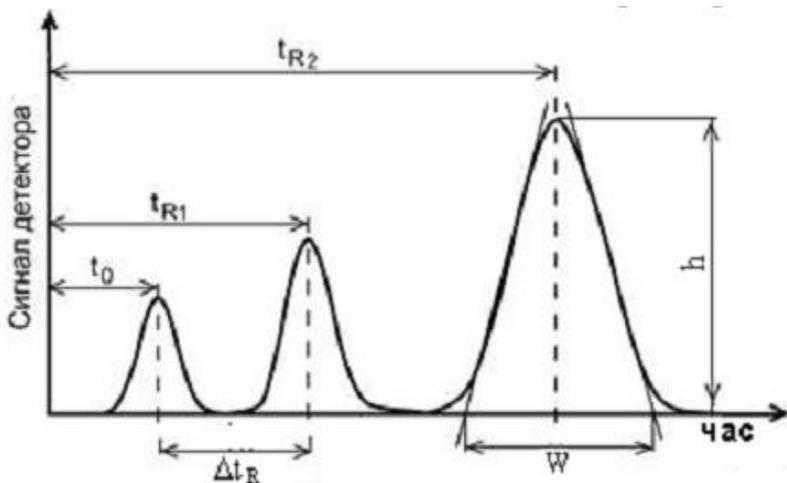


Рис. 3.27. Хроматограма суміші двох речовин

З появою чутливих хроматографів з автоматичним детектуванням ГХ стала найефективнішим методом дослідження органічних компонентів, який застосовується при контролі якості і сертифікації харчової продукції. Недоліками ГХ є дорожнеча і складність приладів, необхідність проводити заздалегідь спеціальну тривалу підготовку зразків для аналізу.

## Розподільна паперова хроматографія

У рідин-рідинної ПХ застосовують папір, приготовлений з бавовни, що здатна міцно утримувати воду, яка виконує роль НФ. Папір має бути однорідним, хімічно чистим та інертним до розчинників та компонентів, що розділяються. Якщо паперову смужку опустити в неполярний розчинник (РФ), то під впливом капілярних сил розчинник буде поступово просуватися по паперу, а молекули речовин, нанесених на папір, будуть розподілятися між фазами відповідно до їх коефіцієнтів розподілу. Відстань, на яку переміщуються молекули речовин, залежить тільки від їх природи.

За технікою виконання розрізняють одномірну, двомірну та радіальну ПХ. Найбільш простим є метод одномірної висхідної хроматографії. На смужку хроматографічного паперу на «лінії старту» наносять ~0,02 мл проби. Поруч на відстані ~2 см наносять таку ж кількість стандартного розчину – «свідка» з відомою концентрацією компоненту, що визначають. У скляну камеру наливають шар розчинника товщиною ~4 см. Смужки підвішують в камері вертикально, щоб їх кінчик був занурений у розчинник на 0,5 см, а нанесені краплі розташовують на 1 см вище розчинника. Камеру закривають кришкою і залишають, доки розчинник не просунеться на необхідну висоту. Смужки виймають з камери, висушують і обризкують реактивом-проявником: на смужках виступають дві плями – «свідка» та компоненту.

Далі вимірюють фронт розчинника –  $m$ , тобто відстань від лінії старту до висоти, на яку піднявся розчинник і відстань від лінії старту до місця розташування плями компоненту –  $n$ . За однакових умов висота підйому розчинника по паперу і висота підйому компоненту будуть величинами сталими. Їх співвідношення називається «фронтом розгонки»:

$$R_f = \frac{n}{m}.$$

Якщо фронт розгонки плями речовини співпадає з фронтом розгонки «свідка», це значить, що в досліджуваному розчині міститься та ж речовина, що й в стандартному. Якщо  $R_f$  цих плям не співпадають, то в розчині міститься не ідентифікована речовина. Кожна речовина має своє значення  $R_f$ , яке визначається лише природою речовини і розчинника.

### **Метод тонкошарової хроматографії**

ТШХ – один з найпростіших хроматографічних методів, що поєднує в собі високу вибірковість і універсальність, простоту і швидкість виконання аналізу, наочність і чіткість розділення речовин. Розділення компонентів суміші в ТШХ здійснюють в тонкому шарі сорбенту. Під час аналізу на стартову лінію пластинки наносять краплю досліджуваної суміші, а край пластинки занурюють в розчинник. Під час просування розчинника по пластинці розділення компонентів відбувається під дією адсорбційних сил (адсорбційна ТШХ), завдяки розподілу компонентів в різних фазах (розподільна ТШХ) або унаслідок іонного обміну (іонообмінна ТШХ).

Для розділення речовин методом ТШХ застосовують такі сорбенти, як силікагель, алюміній оксид, крейду, етилцелюлозу, кізельгур, поліаміди та ін. При розподільному механізмі розділення шар сорбенту попередньо просочують гідрофільною або гідрофобною речовиною. Найбільше застосування знайшов силікагель – інертна речовина, має гарну адгезію до скла, металів, полімерів, що дає можливість одержувати тонкі, рівні, міцні шари на різних поверхнях. Як загусник, що зв'язує компоненти в сорбенті, застосовують гіпс або крохмаль.

Тонкий шар сорбенту товщиною ~0,5 мм одержують шляхом нанесення на поверхню пластинки суміші сорбенту, води і загусника. Пластини для ТШХ зазвичай мають розміри 5×20; 10×20 або 20×20 мм. Їх виготовляють з алюмінієвої фольги, скла або полімерних матеріалів.

Вибір розчинника здійснюють залежно від природи сорбенту і полярності досліджуваних компонентів та розчинників. Як НФ звичайно беруть воду, а як РФ – органічний розчинник, що не змішується с нею, до якого у свою чергу часто додають воду. У хроматографії використовують ряд, в якому розчинники розташовані в напрямку зростання полярності: гексан→ циклогексан→ бензол→ хлороформ→ етилацетат→ ацетон→ етанол → вода.

Техніка розділення сумішей. На шарі сорбенту на відстані 10 мм від краю пластинки шпателем проводять стартову лінію, вздовж якої наносять краплі суміші, які утворюють плями діаметром ~3 мм. Після чого пластинку поміщують в скляну камеру для проявлення. Розчинник наливають на дно камери у кількості, достатній для утворення шару глибиною ~1 см. Камеру закривають, оскільки вона повинна бути насичена парами розчинника. Під час аналізу розчинник рухається вздовж сорбенту і переносить компоненти суміші, які рухаються по пластинці з різною швидкістю, що й зумовлює їх просторове розділення. Після закінчення процесу пластинку виймають з камери, вимірюють «лінію фронту розчинника» і висушують.

Ідентифікацію компонентів суміші здійснюють за допомогою  $R_f$  або «за свідками», як і в ПХ. Більшість сполук, які аналізують методом ТШХ, безбарвні. Тому основний метод їх детектування – це обробка хроматограм реагентами, які утворюють з компонентами проби забарвлені сполуки. Існує низка загальних реагентів, до яких належать суміш калій дихромату і сульфатної кислоти, розчин йоду в етанолі або хлороформі.

Кількісне визначення компонентів суміші зазвичай здійснюють безпосередньо на пластинці. На пластинці вимірюють площу плями і за калібрувальним графіком знаходять вміст речовини. Для побудови графіка на пластинку наносять краплі стандартних розчинів, що містять різні кількості досліджуваної речовини. Далі проводять хроматографування, проявляють

забарвлені плями і вимірюють їх площу. Залежність між масою речовини  $q$  і площею плям –  $S$  носить нелінійний характер і є логарифмічною:

$$S = b + a \cdot \lg q,$$

де  $S$  – площа плями на пластині, мм<sup>2</sup>;  $q$  – маса речовини в досліджуваному розчині, мкг;  $a$  і  $b$  – емпіричні коефіцієнти.

### **Дослідження харчової продукції хроматографічними методами**

Хроматографічні методи застосовують для дослідження усіх видів харчових продуктів. Метод ВЕРХ застосовують для визначення вмісту в харчових продуктах консервантів, зокрема бензойної кислоти, встановлення наявності в сировині мікотоксинів, зокрема афлатоксинів, для ідентифікації і кількісного визначення замінників цукру (сахарину, цикламату та ін.). ВЕРХ є арбітражним методом при визначенні вмісту цукрів у меді. ГХ застосовується для визначення небезпечних ксенобіотиків (пестицидів та інсектицидів), які містяться в продуктах у незначній кількості.

За допомогою ПХ розділяють і кількісно визначати суміші споріднених або близьких за своїми властивостями речовин: цукрів, амінокислот, жирних кислот тощо. Так, за допомогою ПХ можна розділяти різні форми вітамінів А, Д, Е, К та ін. Методом ТШХ визначають наявність мікотоксинів та залишків пестицидів в зерні, овочах, фруктах, альдегідів та сивушних масел у лікєро-горілчаних виробах, проводять ідентифікацію каротиноїдів, фракційний склад жирів, що дозволяє виявляти факти фальсифікації виробів м'ясної продукції.

### **Ідентифікація амінокислот методом паперової хроматографії**

Метод ґрунтується на нінгїдриновій реакції, під час якої амінокислоти взаємодіють з нінгїдрином з утворенням сполуки фіолетового забарвлення. Метод дозволяє виявити в м'ясних

виробах наявність м'яса птиці, субпродуктів, соєвих білків, а також визначити специфічні білки в м'ясі.

Аналіз здійснюють за такою методикою. На кінці смужки на відстані 1 см від краю проводять стартову лінію, на яку наносять капілярно досліджуваній розчин амінокислот. Смужку підсушують і опускають в пробірку, що містить 2 мл бутанолу, до контакту з елюентом. Смужки повинна висіти вертикально на нитці і поринати в розчинник на 2 мм. Аналіз проводять, доки елюент не пройде відстань в 10 см, після чого смужку виймають з пробірки і поміщають на 5 хв у сушильну шафу.

Висушену смужку занурюють у 0,25%-ний розчин нінгідрину в бутанолі і знову поміщають в шафу на 5 хв. Далі вимірюють відстані від стартової лінії до середини плями і до фронту розчинника і розраховують фронти розгонок компонентів суміші –  $R_f$ . За одержаними значеннями  $R_f$  плям проби проводять якісний аналіз суміші амінокислот.

Для ідентифікації білків користуються фронтами розгонок амінокислот, значення деяких з них наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9.

Значення фронту розгонки для амінокислот

Амінокислота	$R_f$	Амінокислота	$R_f$
Аланін	0,60	Оксипролін	0,63
Аргінін	0,89	Оксилізін	0,66
Аспаргінова кислота	0,40	Пролін	0,88
Валін	0,78	Серин	0,36
Гліцин	0,41	Тирозин	0,51
Лейцин	0,84	Триптофан	0,75

### **Визначення бензойної кислоти методом ТШХ**

Бензойну кислоту застосовують як консервант фруктових і плодово-ягідних соків. Визначення її вмісту в соках здійснюють за такою методикою.

У посудину поміщають 10 мл соку, додають 10 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і 10 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  та перемішують. Бензойну кислоту екстрагують тричі, по 10 хв кожного разу, додаючи бутилацетат порціями по 5 мл. Об'єднані екстракти сушать в ексикаторі над прожареним порошком  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  масою 1 г. Після чого екстракт упарюють в порцеляновій чашці до об'єму 1 мл.

Елюент, що являє собою суміш петролейного ефіру, хлороформу, діетилового етеру і мурашиної кислоти, узятих в об'ємному співвідношенні 20,0 : 8,0 : 2,8 : 1,2, заливають в хроматографічну камеру. На стартовій лінії пластинки «Силуфол УФ 254» олівцем відмічають 4 точки на рівній відстані одна від одної. У точки «1» і «4» вносять по 2 і 4 мкл стандартного розчину, так щоб кількість бензойної кислоти в плямах становила 4 і 8 мкг. У точки «2» і «3» вносять 3 і 10 мкл екстракту. Пластинку опускають в камеру і чекають доки лінія фронту розчинника підніметься на 15 см від лінії старту. Далі пластинку виймають з камери, підсушують і досліджують в УФ-променях з довжиною хвилі 254 нм. Плями, утворені екстрактом і стандартними розчинами, обводять олівцем в УФ-світлі. Наявність плям в екстракті, які за величиною  $R_f$  відповідають плямам у стандартному розчині свідчить про наявність бензойної кислоти. Розміри плям екстракту візуально порівнюють з плямами, утвореними стандартними розчинами, і оцінюють вміст у пробі бензойної кислоти.

### **Визначення вмісту солі у вершковому маслі методом іонообмінної хроматографії**

Метод ґрунтується на обміні іонів  $\text{Na}^+$ , що містяться в зразку, на іони  $\text{H}^+$  катіоніту та аналізі елюату титрометричним методом. Перед аналізом катіоніт КУ-2 переводять в активну форму, пропускаючи через колонку 30 мл 0,1М розчину  $\text{HCl}$  з швидкістю 2

краплі за секунду. Активованій катіоніт промивають дистильованою водою об'ємом 200 мл до повної нейтралізації елюату. Реакцію елюату перевіряють метиловим оранжевим. Над катіонітом постійно повинен знаходитися шар рідини висотою не менш 2 см.

У стакані ємністю 100 мл зважують 5 г масла, додають 50 мл дистильованої води і нагрівають стакан на водяній бані до розплавлення масла. Вміст стакану перемішують і залишають до розшарування води і жиру. У застиглому шарі жиру роблять отвір, через який відбирають 10 мл витяжки, яку пропускають через колонку з катіонітом з швидкістю 4 краплі за секунду. Далі через колонку з такою ж швидкістю пропускають 50 мл дистильованої води. Елюат і промивну воду збирають в конічну колбу і титрують розчином NaOH за присутності індикатору. Вміст солі ( $\omega$ , мас. %) розраховують за формулою:

$$\omega = \frac{58,5 \cdot V \cdot N}{10 \cdot m},$$

де 58,5 – молярна маса NaCl, г/моль;  $N$  – кількість грам-еквівалентів NaOH, моль/л;  $V$  – еквівалентний об'єм титранту, мл;  $m$  – маса наважки масла.

### Контрольні запитання

1. Охарактеризувати суть хроматографічних досліджень.
2. Класифікація хроматографічних методів аналізу.
3. Що є технічною особливістю високоефективної рідинної хроматографії.
4. Особливості газової та газорідинної хроматографії.
5. Метод тонкошарової хроматографії.
6. Іонообмінна хроматографія.
7. Дослідження харчової продукції хроматографічними методами.
8. Ідентифікація амінокислот методом паперової хроматографії.

## РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Воронов С. А., Дончак В. А., Когут А. М. Органічна хімія : Підручник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. 488 с.
2. Гонський Я. І., Максимчук Т. П. Біохімія людини: Підручник. Тернопіль : Укрмедкнига, 2002. 744с.
3. Губський Ю.І. Біологічна хімія. Київ-Вінниця: НОВА КНИГА, 2007. 656 с.
4. Димань Т.М., Мазур Т. Г. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів: Підручник. Київ : ВЦ Академія, 2011. 520 с.
5. Екотрофологія. Основи екологічно безпечного харчування: навч. посібник / За наук. ред. Т.М. Дитмань. К.: Лібра, 2006. 304 с.
6. Експрес-методи дослідження безпечності та якості харчових продуктів: навчальний посібник / Євлаш В.В. та ін. Харків : ХДУХТ, 2016. 335 с.
7. Жак О.В. Загальна хімія: Навч. посібник / О. В. Жак, Я. М. Каличак ; Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2010. 368 с.
8. Жук В. А. Сенсорний аналіз: навч. посібник. К иїв: НМЦ «Укоопосвіта», 2009. 231 с.
9. Загальна та неорганічна хімія : Навч. посібник / Г. С. Дмитрів, В. В. Павлюк ; Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. 300 с.
10. Зінчук В.К., Левицька Г.Д., Дубенська Л.О. Фізико-хімічні методи аналізу : Навч. посібник. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. 362 с.
11. Інструментальні методи аналізу : Навч. посібник / М. М. Ларук, П. Й. Шаповал, Р. Р. Гумінілович. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 216 с.
12. Колоїдна хімія : навч. підруч. для вузів / за ред. М. О. Мchedлова-Петросяна. Х арків : Фоліо, 2005. 304 с.
13. Методи контролю харчових продуктів: навч. посібник / Королук Т.А. та ін. К.: НУХТ, 2017. 147 с.

14. Масленко С.Н., Величко В.В., Великонська Н.М., Перескока В.В. Аналітична хімія і методи аналізу: Навч. посібник. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. 162 с.
15. Михалічко Б.М. Курс загальної хімії. Теоретичні основи. К. : Знання, 2009. 548 с.
16. Слободнюк Р., Горайчук А. Аналітична хімія та аналіз харчової продукції. К. : Кондор, 2018. 336 с.
17. Назарко І.С., Вічко О.І. Загальна хімія : навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 192 с.
18. Рейтер Л.Г., Степаненко О.М., Басов В.П. Теоретичні розділи неорганічної хімії. Київ : Каравела, 2003. 352 с.
19. Романова Н.В. Загальна та неорганічна хімія. Київ : ВТФ «Перун», 2007. 480 с.
20. Скоробогатий Я.П., Гузій А.В., Заверуха О.М. Харчова хімія : Навч. посібник. Львів : «Новий світ – 2000», 2012. 514 с.
21. Харчова хімія : Навч. посібник / Дуленко Л.В., Горяйнова Ю.А., Полякова А.В. та ін. Київ : Кондор, 2012. 248 с.
22. Харчова хімія: навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів / Євлаш В.В., Торяник О.І., Коваленко В.О. та ін. Харків : Світ книг, 2012. 503 с.
23. Чеботарьов О. М. Аналітична хімія. Кількісний аналіз : практикум для студентів ф-ту хімії та фармації. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2019. 80 с.
24. Черевко О.І. Методи контролю якості харчової продукції: навчальний посібник. Ч.1-2. Харків : ХДУХТ, 2008. 472 с.
25. Яворський В. Неорганічна хімія: Підручник. Друге видання, доповнене і доопрацьоване. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. 324 с.
26. Jan Velfšek . The Chemistry of Food. Wiley-Blackwell, 2014. 1124 p.
27. Michael Zeece Introduction to the Chemistry of Food. Academic Press, 2020. 418 p.

Навчальне видання

**МОРОЗ Ірина Анатоліївна**  
**ГУЛАЙ Ольга Іванівна**  
**ШЕМЕТ Васирина Ярославівна**

## **ХАРЧОВА ХІМІЯ**

Навчальний посібник

*Рекомендовано*

*Луцьким національним технічним університетом*

Комп'ютерне верстання та обкладинка І.Мороз

Формат 60×84/16. Умовн. друк. арк. 14,75

Тираж 300 пр.

ІВВ ЛНТУ  
43018, Луцьк, вул. Львівська, 75  
Свідоцтво Держкомтелерадіо України № 4123 від 28.07.2011 р.