

The background of the cover is a warm, golden-yellow color with a subtle, mottled texture. Overlaid on this background are various pieces of laboratory glassware. In the upper left, a round-bottom flask is held by a clamp. In the lower left, a large Erlenmeyer flask is filled with a vibrant green liquid. At the bottom left, two small bottles are visible, one containing a red liquid and the other a green liquid. On the right side, a rack holds several test tubes, each containing a different colored liquid (brown, orange, yellow). A black metal stand with horizontal bars is positioned in the center, holding the various glassware.

Н. М. БУРИНСЬКА  
Л. П. ВЕЛИЧКО

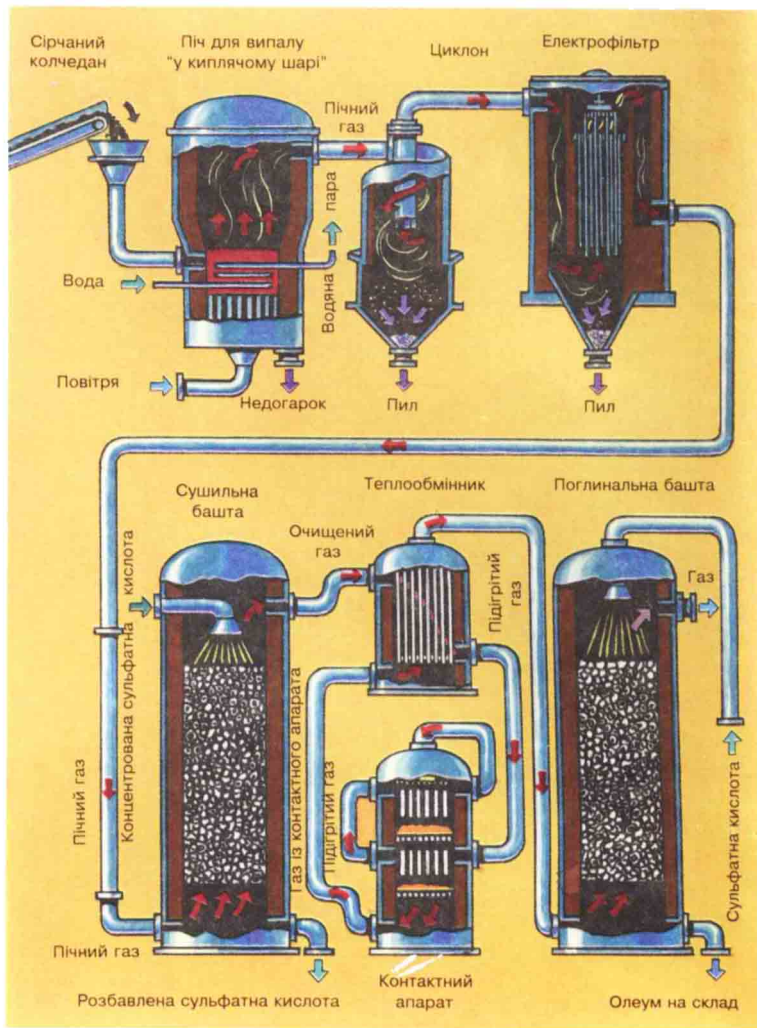
# ХІМІЯ

# 10

# Періодична система хімічних елементів (коротка форма)

ПЕРІОДИ		ГРУПИ					ЕЛЕМЕНТИ				
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	H Гідроген								He Гелій	2 4,0026	Порядковий номер
2	Li Літій		Be II Берилій	B Бор	C Карбон	N Азот	O Оксиген	F Фтор	Ne Неон	10 20,179	Назва елементу
3	Na Натрій		Mg Магній	Al Алюміній	Si Силіцій	P Фосфор	S Суперфур	Cl Хлор	Ar Аргон	18 39,948	Атомна маса
4	K Калій		Ca Кальцій	Sc Скандій	Ti Титан	V Ванадій	Cr Хром	Mn Манган	Fe Ферум	26 55,847	Ізотопи
5	Rb Рубідій		Sr Стронцій	Y Ітрій	Zr Цирконій	Nb Ніобій	Mo Молибден	Tc Технецій	Ru Рутеній	44 101,07	Електронна конфігурація
6	Cs Цезій		Ba Барій	*La Лантан	Hf Гафній	Ta Тантал	W Вольфрам	Re Реній	Os Осмій	76 190,2	Ізотопи
7	Fr Францій		Ra Радій	**Ac Актиній	Rf Резерфордій	Db Дубній	Po Полоній	Sg Сібгоргій	Bh Боглій	108 263	Ізотопи
8	Rn Радон										
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											
51											
52											
53											
54											
55											
56											
57											
58											
59											
60											
61											
62											
63											
64											
65											
66											
67											
68											
69											
70											
71											
72											
73											
74											
75											
76											
77											
78											
79											
80											
81											
82											
83											
84											
85											
86											
87											
88											
89											
90											
91											
92											
93											
94											
95											
96											
97											
98											
99											
100											
101											
102											
103											
104											
105											
106											
107											
108											
109											
110											
111											
112											
113											
114											
115											
116											
117											
118											
119											
120											
121											
122											
123											
124											
125											
126											
127											
128											
129											
130											
131											
132											
133											
134											
135											
136											
137											
138											
139											
140											
141											
142											
143											
144											
145											
146											
147											
148											
149											
150											
151											
152											
153											
154											
155											
156											
157											
158											
159											
160											
161											
162											
163											
164											
165											
166											
167											
168											
169											
170											
171											
172											
173											
174											
175											
176											
177											
178											
179											
180											
181											
182											
183											
184											
185											
186											
187											
188											
189											
190											
191											
192											
193											
194											
195											
196											
197											
198											
199											
200											
201											
202											





Виробництво сульфатної кислоти

Н. М. БУРИНСЬКА  
Л. П. ВЕЛИЧКО

# ХІМІЯ

---

Підручник  
для  
загальноосвітніх  
навчальних  
закладів

10

2-ге видання,  
перероблене  
та доповнене

*Затверджено  
Міністерством  
освіти і науки  
України*

КИЇВ  ІРПІНЬ

**ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,  
основанной на ихъ атомномъ вѣсѣ и химическомъ сходствѣ**

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
		Ni = Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199	
H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

**Д. Менделѣевъ**

Першій варіант системи хімічних елементів Д. І. Менделєєва (1869 р.)



<i>Як користуватися підручником . . . . .</i>	5
<i>Правила поведінки учнів у кабінеті хімії . . . . .</i>	8
<i>Правила техніки безпеки під час роботи в кабінеті хімії . . . . .</i>	10

## **Розділ I. Загальні відомості про елементи-неметали та їхні сполуки**

### **Оксиген і Сульфур**

§ 1. Загальна характеристика Оксигену і Сульфур	13
§ 2. Поняття про алотропію. Озон . . . . .	16
§ 3. Хімічні властивості кисню і сірки . . . . .	22
§ 4. Оксиди сульфур . . . . .	24
§ 5. Розв'язування задач на надлишок . . . . .	29
§ 6. Сульфатна кислота . . . . .	35
§ 7. Виробництво сульфатної кислоти . . . . .	40
§ 8. Розв'язування задач на вихід продукту . . . . .	43

### **Нітроген і Фосфор**

§ 9. Загальна характеристика Нітрогену і Фосфору	47
§ 10. Хімічні властивості азоту і фосфору . . . . .	52
§ 11. Аміак . . . . .	55
§ 12. Солі амонію . . . . .	59
§ 13. Промисловий синтез аміаку . . . . .	62
§ 14. Оксиди нітрогену і фосфору . . . . .	64
§ 15. Нітратна і фосфатна кислоти . . . . .	66
§ 16. Нітрати. Азотні добрива . . . . .	71
§ 17. Колообіг Нітрогену в природі . . . . .	76
§ 18. Фосфати. Фосфатні добрива . . . . .	78

### **Карбон і Силіцій**

§ 19. Загальна характеристика Карбону і Силіцію .	81
§ 20. Хімічні властивості вуглецю та силіцію . . . .	87
§ 21. Оксиди карбону й силіцію . . . . .	90
§ 22. Карбонатна кислота і карбонати . . . . .	94

§ 23. Колообіг Карбону в природі. Силіцій у природі . . . . .	99
§ 24. Силікатна кислота й силікати . . . . .	102
§ 25. Будівельні матеріали . . . . .	104
§ 26. Карбон у природі . . . . .	106

## **Розділ II. Органічні сполуки**

§ 27. Що таке органічні сполуки . . . . .	107
§ 28. Метан . . . . .	111
§ 29. Гомологи метану . . . . .	116
§ 30. Теорія хімічної будови органічних сполук . . . . .	123
§ 31. Ненасичені вуглеводні . . . . .	131
§ 32. Визначення молекулярної формули газуватої речовини . . . . .	139
§ 33. Полімери . . . . .	141
§ 34. Бензен . . . . .	146
§ 35. Поняття про хімічні засоби захисту рослин . . . . .	151
§ 36. Взаємозв'язок і взаємоперетворення вуглеводнів . . . . .	153
§ 37. Природні джерела вуглеводнів. Природний газ . . . . .	155
§ 38. Нафта і продукти її переробки . . . . .	158
§ 39. Вугілля і продукти його переробки . . . . .	167
§ 40. Вуглеводнева сировина й охорона довкілля . . . . .	169

<i>Практичні роботи . . . . .</i>	172
<i>Додатки . . . . .</i>	177
<i>Відповіді до завдань . . . . .</i>	179
<i>Іменний покажчик . . . . .</i>	181
<i>Предметний покажчик . . . . .</i>	182

# ЯК КОРИСТУВАТИСЯ ПІДРУЧНИКОМ

## *ЮНІ ДРУЗИ!*

Ви стали вже десятикласниками. Що ж чекає на вас у курсі хімії?

У 10 класі продовжуватиметься систематичне вивчення хімічних елементів та їхніх сполук, розпочате у 9 класі. Ви вже ознайомилися з елементами-металами, а тепер вивчатимете елементи-неметали та деякі їхні сполуки, що мають важливе значення у промисловості, сільському господарстві і побуті.

Важливо, що під час вивчення такого елемента-неметалу, як Карбон, ви дізнаєтесь, що саме його атоми здатні з'єднуватись один з одним і утворювати ланцюги або кільця, властиві органічним сполукам.

Це означає, що на вас чекає ознайомлення також і з органічними речовинами. Ви дізнаєтесь про їхню різноманітність і значення у навколишньому світі. Зрозумієте значення органічних сполук у життєдіяльності організмів і переконаєтесь, що принципової відмінності між органічними і неорганічними речовинами немає.

Щоб полегшити розуміння і сприяти кращому засвоєнню матеріалу підручника, автори радять вам:

1. Під час роботи з підручником навчальний матеріал вивчайте послідовно, не пропускаючи параграфів, щоб не порушувати логіки знань, що викладаються.

2. Максимум уваги приділяйте теоретичним питанням, тоді вам буде легше засвоювати описовий матеріал. Адже вивчення теорії — не самоціль, а засіб, що полегшує розуміння матеріалу.

3. У тексті підручника зустрічаються запитання, спрямовані на використання у пізнанні раніше набутих знань. Не



варто нехтувати ними навіть тоді, коли у подальшому тексті можна знайти відповідь. Спробуйте відповісти на ці запитання самостійно. Це допоможе Вам зрозуміти і краще усвідомити нові знання, яких ви набуваєте.

**4.** Намагайтеся хімічний елемент, що вивчається, завжди характеризувати за певним планом, наприклад:

а) символ елемента, його відносна атомна маса (округлена), місце у періодичній системі: протонне число (порядковий номер), номер періоду, номер групи, головна чи побічна підгрупа;

б) будова атома елемента: заряд ядра, загальна кількість електронів, кількість електронних шарів і нуклонне число;

в) електронна конфігурація атома і графічна електронна формула;

г) можливі ступені окиснення елемента;

д) формула найвищого оксиду, характер його властивостей, рівняння реакцій, які підтверджують передбачувані властивості оксиду;

е) можливість утворення леткої сполуки з Гідрогеном. Формула цієї сполуки і ступінь окиснення елемента в ній;

є) вміст і поширення елемента в природі, відомі вам алотропні модифікації його.

**5.** Вивчаючи органічні речовини, звертайте увагу на їхню будову, наявність функціональної групи як головного фактора, що визначає властивості органічної сполуки.

**6.** Просту речовину і складну також характеризуйте за певним планом, наприклад:

а) назва речовини, хімічна формула;

б) відносна молекулярна маса (де можливо);

в) структурна та електронна формули (де можливо);

г) тип хімічного зв'язку;

д) тип кристалічних ґраток, просторова будова (де можливо);

е) фізичні властивості;

є) хімічні властивості;

ж) застосування речовини;

з) добування в лабораторії та в промисловості;

и) вплив на здоров'я людини і довкілля.

**7.** Опановуючи зміст підручника, зверніть увагу, що хімізація (використання речовин, хімічних процесів, хімічних методів) дає змогу розв'язувати багато господарських проблем і вона ж, хімізація, породжує проблеми, пов'язані

з негативними факторами щодо здоров'я людини і стану навколишнього природного середовища. Намагайтеся зрозуміти, що добре, а що погано. Підручник вам у цьому допоможе.

**8.** Підручник містить додаткову інформацію, яка тісно пов'язана з виучуваним матеріалом. Вона сприяє глибшому розгляду деяких питань, але подається петитом, бо ці відомості необов'язкові для засвоєння. Разом з тим не позбавляйте себе можливості ознайомитися з додатковою інформацією, якщо піклуєтесь про розширення власного хімічного кругозору.

**9.** Наприкінці параграфів наводяться запитання, вправи, задачі (зірочкою \* позначені запитання, вправи, задачі підвищеної складності). Намагайтеся виконувати якомога більше з них. За їх допомогою ви зможете перевірити, чи правильно зрозуміли навчальний матеріал, чи засвоїли його й чи вмієте ним користуватись. Правильність розв'язання розрахункових задач перевіряйте за відповідями, наведеними наприкінці підручника.

**10.** Якщо вам потрібно пригадати забуте чи повторити вивчене, звертайтеся до іменного та предметного покажчиків, розміщених також наприкінці підручника.

Бажаємо вам успіхів у навчанні!

*Автори*

## ПРАВИЛА ПОВЕДІНКИ УЧНІВ У КАБІНЕТІ ХІМІЇ

### Учні зобов'язані:

1. Входити до кабінету хімії і лаборантської тільки з дозволу вчителя.
2. Входити в кабінет і виходити з кабінету спокійно, щоб ненароком не перекинути хімічний посуд, приладдя чи склянки з реактивами, що стоять на столах.
3. Займати в кабінеті завжди одне й те саме робоче місце й не переходити на інше місце без дозволу вчителя.
4. Підтримувати чистоту і порядок на своєму робочому місці, мити за собою хімічний посуд.
5. Під час роботи не тримати на лабораторному столі нічого зайвого. На ньому можуть бути підручник, збірник задач, довідник, зошит і письмове приладдя.
6. Всі досліди виконувати самостійно, крім тих, які за вказівкою вчителя виконуються парами або групами з 3 — 4 учнів.
7. Не починати роботу, доки не перевірено, чи є все необхідне для дослідів, і не продумано послідовність виконання кожного з них.
8. Працювати сидячи, швидко, але без зайвої квапливості, під час роботи дотримувати тиші.
9. Записувати в зошиті хід виконання роботи, спостереження, рівняння виконаних реакцій, робити висновки відразу ж після виконання дослідів.
10. Дбайливо ставитися до обладнання кабінету.
11. Дотримуватися правил користування водопроводом, газом, електричним струмом, не відкривати крани й не вмикати електричні прилади без потреби.



2. Дотримувати правил нагрівання, поводження з реактивами, хімічним посудом, лабораторним обладнанням. Знати запобіжні заходи під час роботи в кабінеті хімії.

13. Знати місцезнаходження в кабінеті аптечки, проти-пожежних засобів і вміти ними користуватися в разі потреби.

## ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС РОБОТИ В КАБІНЕТІ ХІМІЇ

1. Працюйте в кабінеті хімії обов'язково в халаті.
2. Будьте максимально обережними під час виконання будь-яких практичних робіт. Пам'ятайте, що неохайність, неуважність, недостатня обізнаність із властивостями речовин, з якими проводиться робота, можуть спричинити нещасний випадок.

3. Виконуйте тільки ті хімічні досліди, які узгоджено з учителем, під його наглядом або наглядом лаборанта.

4. Уважно читайте етикетку на посудині з речовиною, яку берете для досліду. Відкривши посудину, не кладіть пробку на лабораторний стіл боком, а ставте її так, як зображено на мал. А.



Мал. А. Так потрібно ставити пробку, відкривши склянку з реактивом

5. Реактиви для дослідів беріть лише в тих кількостях, які зазначені в інструкції.

6. Якщо в інструкції не зазначено, яку масу чи об'єм реактиву треба взяти, то суху речовину беріть у такій кількості, щоб вона вкрила лише дно пробірки, а розчину — не більше  $1/6$  її об'єму.

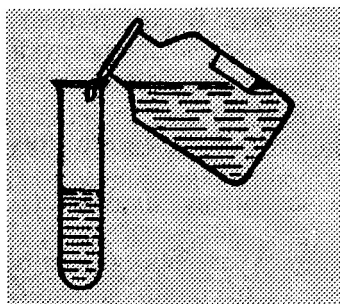
7. Надлишок узятго реактиву ні в якому разі не зливай-те (не зсипайте) назад у посудину, де він зберігався. Його дозволяється зливати (зсипати) у спеціальні склянки.

8. Наливаючи розчин, посудину з реактивом беріть так, щоб етикетка спрямовувалась у бік долоні, знімайте

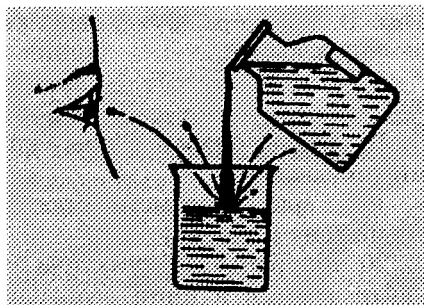
краплю з краю шийки посудини (мал. В), бо рідина стікатиме по склу, псуватиме етикетку, може пошкодити шкіру рук.

9. Посудину, з якої взяли реактив, відразу закрийте корком і поставте на місце.

10. Під час нагрівання розчинів у пробірці користуйтеся дерев'яним тримачем. Уважно стежте за тим, щоб отвір пробірки був спрямований у бік від вас і інших працюючих, бо рідина внаслідок перегрівання може викинутися з пробірки.



Мал. В. Знімання краплі рідини з шийки посудини



Мал. С. Розбризування рідини під час наливання в посудину

11. Під час нагрівання рідин стежте, щоб не перегрівалися стінки посудини над рідиною (особливо, коли рідини мало), бо при потраплянні на перегріте скло крапель рідини посудина може тріснути.

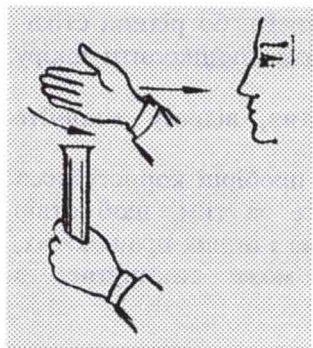
12. Щоб уникнути перегрівання, ніколи не нагрівайте пробірку лише знизу, а рівномірно прогривайте всю пробірку, весь її вміст.

13. Не заглядайте в пробірку, в якій нагрівається рідина, і не нахиляйтеся над посудиною, в яку наливається будь-яка рідина (особливо їдка), бо непомітні бризки можуть потрапити в очі (мал. С).

14. Ніякі речовини не пробуйте на смак.

15. Нюхайте всі речовини обережно, не нахиляйтеся над посудиною і не вдихайте повними грудьми, а спрямовуйте до себе пару чи газ рухами руки (мал. D).





**Мал. D.** Так потрібно нюхати речовини

16. Будьте особливо обережні під час роботи з лугами. Потраплення навіть розбавлених розчинів лугів в очі може призвести до повної втрати зору. Якщо розчин лугу потрапив на руки, негайно змийте його великою кількістю води до зникнення відчуття мильності.

17. Будьте дуже обережні також під час роботи з кислотами. Особливо бережіть очі. В разі потраплення розчину кислоти на руки також негайно змийте його великою кількістю води.

18. Будьте особливо обережні під час роботи з нагрівними приладами.

19. Гарячі предмети ставте на керамічну плитку або спеціальну підставку.

20. Відпрацьовані реактиви зливайте у раковину (після їх нейтралізації), а цінні реактиви — у спеціальний хімічний посуд.

21. Після закінчення роботи приберіть своє робоче місце, відключіть воду, вимкніть електронагрівні прилади й обов'язково ретельно вимийте руки.

22. Не кладіть свої сніданки на лабораторні столи й ніколи не вживайте їжу в хімічному кабінеті.

***У разі нещасного випадку  
негайно звертайтеся до вчителя!***

## ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЕЛЕМЕНТИ- НЕМЕТАЛИ ТА ЇХНІ СПОЛУКИ

### ОКСИГЕН І СУЛЬФУР

#### § 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОКСИГЕНУ І СУЛЬФУРУ

**Історичні відомості.** Про історію відкриття кисню, молекули якого складаються з елемента Оксигену, ви довідалися ще у 8 класі. Тепер ознайомтеся з деякими історичними відомостями про сірку, що складається з елемента Сульфур.

Сірка відома людині з давніх-давен. Легендарний давньогрецький поет Гомер, який жив між XII і VIII ст. до н. е. і вважається автором епічних поем «Іліада» і «Одіссея», зазначає, що сірка застосовувалась для куріння під час релігійних обрядів. Вона входила до складу славнозвісного в історії стародавнього світу грецького вогню. Секретом його виготовлення володіли грецькі царі протягом чотирьох віків. У 941 р. під стінами Царграду було знищено флот київського князя Ігоря. Літописець, розповідаючи про цю подію, зазначає, що греки пускали вогонь, ніби блискавку на небі, яка спалювала воїнів Ігоря, через що вони не змогли подолати греків. Про найдавніше знайомство людини з сіркою свідчить і походження її назви (від санскритського<sup>1</sup> слова «сіра», що означає світло-жовтий).

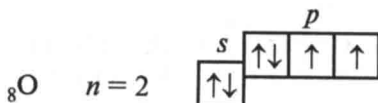
Оксиген і Сульфур — елементи VI групи періодичної системи, належать до головної підгрупи.

- За положенням, яке займають Оксиген і Сульфур у періодичній системі, обґрунтуйте будову їхніх атомів і запишіть електронні формули.

<sup>1</sup> Санскрит — стародавня мова Індії.

**Електронна будова.** Що ж видно з електронних формул Оксигену  $1s^2 2s^2 2p^4$  і Сульфуру  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ , які ви щойно записали?

Вони показують, що в атомах Оксигену і Сульфуру на зовнішньому електронному шарі міститься по 6 електронів (див. підкреслене в електронних формулах,  $n$  — номер шару) —  $ns^2 np^4$ . В атомах Оксигену ці 6 зовнішніх електронів розміщуються на орбіталях двох типів —  $s$  і  $p$  (одна  $s$ - і три  $p$ -орбіталі):



За рахунок двох неспарених  $p$ -електронів атом Оксигену, як правило, утворює два ковалентні зв'язки. При цьому він виявляє ступінь окиснення  $-2$ , наприклад  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ .

У сполуках з найелектронегативнішим елементом — Флуором Оксиген виявляє позитивний ступінь окиснення, наприклад у флуориді оксигену  $\text{O F}_2$ .

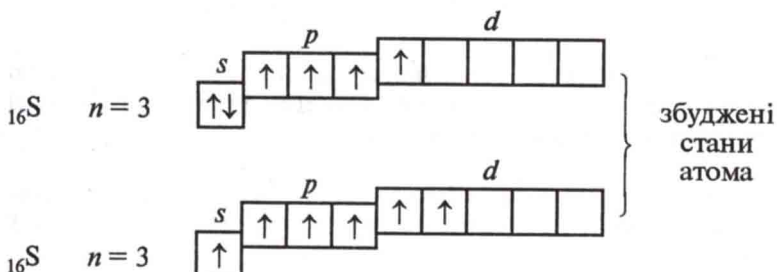
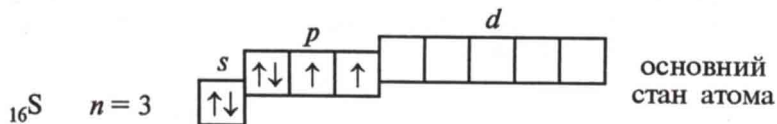
Існують сполуки, що містять зв'язок Оксиген—Оксиген ( $\text{O—O}$ ), наприклад пероксид гідрогену  $\text{H}_2\text{O}_2$  або пероксид барію  $\text{BaO}_2$ . Ступінь окиснення Оксигену в таких сполуках дорівнює, як вважається,  $-1$ .

Оксиген може виявляти ступінь окиснення  $+4$ , наприклад в озоні  $\text{O}_3$  ( $\text{OO}_2$ ).

На відміну від Оксигену, який міститься у другому періоді періодичної системи і електрони в його атомах розміщені на двох електронних шарах (а електрони другого шару — на  $s$ - і  $p$ -орбіталях), Сульфур міститься у третьому періоді. Це означає, що електрони в атомах Сульфуру розміщені на трьох електронних шарах, а електрони третього шару можуть розміщуватись на  $s$ -,  $p$ - і  $d$ -орбіталях (якщо атом перебуває у збудженому стані).

Отже, на відміну від атома Оксигену атом Сульфуру (ізолюваний, хімічно не зв'язаний) на зовнішньому електронному шарі має вільні орбіталі, на які можуть переходити електрони під час збудження атома, коли із затратою деякої енергії відбувається розпаровування електронних пар для утворення хімічних зв'язків з іншими атомами.

Таким чином, в атомі Сульфуру електрони на зовнішньому електронному шарі можуть розміщуватися так:



Атом Сульфуру, в якому є 2, 4 або 6 неспарених електронів, може виявляти у сполуках ступінь окиснення  $-2$ ,  $+4$ ,  $+6$ .

Наприклад:  $\overset{-2}{\text{H}_2\text{S}}$ ;  $\overset{+4}{\text{SO}_2}$ ;  $\overset{+6}{\text{SO}_3}$ ;  $\overset{+6}{\text{H}_2\text{SO}_4}$ ;  $\overset{+6}{\text{Na}_2\text{SO}_4}$ .

Атом Сульфуру порівняно з атомом Оксигену має більший радіус (чому?) і виявляє меншу електронегативність.

- Поясніть, як ви розумієте поняття «радіус атома». Від чого залежать розміри атомів?
- Пригадайте, що таке електронегативність. Порівняйте елементи Оксиген і Сульфур за електронегативністю. Обґрунтуйте її відмінність.

### Завдання для самоконтролю

1. Яке місце у періодичній системі елементів займають Оксиген і Сульфур? Як це пов'язано з будовою їхніх атомів?
2. Чим відрізняється основний стан атома Сульфуру від його збудженого стану?
3. Порівняйте будову атомів елементів Оксигену і Сульфуру, зазначте їхні спільні й відмінні ознаки.

4. Чому ступінь окиснення  $-2$  здатні виявляти атоми Оксигену й Сульфуру, а ступінь окиснення  $+6$  — тільки атоми Сульфуру?

5. Напишіть формули сполук Оксигену та Сульфуру з Кальцієм, Калієм, Алюмінієм. Зазначте ступінь окиснення кожного з елементів і назви сполук.

## § 2. ПОНЯТТЯ ПРО АЛОТРОПІЮ. ОЗОН

Хімічні елементи у вільному стані існують у формі простих речовин. Так, елемент Оксиген утворює дві прості речовини — кисень  $O_2$  та озон  $O_3$ .

- Пригадайте, що являє собою кисень  $O_2$ , які характерні властивості він має, для чого використовується і яку роль відіграє у природі.

**Озон.** Якщо на кисень подіяти електричним розрядом, то з'являється характерний запах свіжості — утворюється газоподібний озон:



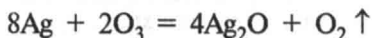
Кисень поглинає енергію і перетворюється на озон, а озон самовільно розкладається, утворюючи кисень.

Обидві прості речовини — кисень  $O_2$  і озон  $O_3$  — утворені одним і тим самим хімічним елементом — Оксигеном, а властивості у них різні (табл. 1).

**Явище існування хімічного елемента у вигляді двох або кількох простих речовин, різних за властивостями і будовою, називається алотропією, а самі прості речовини — алотропними формами (модифікаціями).**

Отже, кисень  $O_2$  і озон  $O_3$  — алотропні форми елемента Оксигену.

Порівняння властивостей кисню  $O_2$  й озону  $O_3$  засвідчує, що окисна активність озону вища, ніж кисню. Наприклад, вже за стандартних умов він окиснює багато які малоактивні прості речовини (срібло, ртуть тощо):





Таблиця 1. Властивості кисню й озону

Властивості простих речовин	Прості речовини	
	кисень	озон
Агрегатний стан за стандартних умов	Газ	Газ
Колір	Безбарвний	Синій
Запах	Без запаху	Різкий, своєрідний
Розчинність (у 100 об'ємах $H_2O$ при 20 °С)	3 об'єми	49 об'ємів
Густина газу за н. у.	1,43 г/л	2,14 г/л
Температура кипіння	-193 °С	-112 °С
Температура плавлення	-219 °С	-192 °С
Фізіологічна дія	Неотруйний	Дуже отруйний
Хімічні властивості	Окисник	Дуже сильний окисник
Реакційна здатність	Висока	Дуже висока

Підвищена окисна здатність озону (порівняно з киснем) пояснюється низькою енергією відриву атома Оксигену від молекули озону  $O_3$ , і в реакціях окиснення беруть участь саме ці атоми Оксигену.

Зверніть увагу на **фізіологічну дію озону**: він отруйний для людини, тварин і рослин. Невеликі концентрації озону в повітрі створюють відчуття свіжості і разом з тим вдихання повітря навіть із зовсім малою концентрацією озону викликає подразнення дихальних шляхів, кашель, блювоту, запаморочення, стомленість.

Проте озон може бути не лише шкідливим, а й корисним.

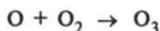
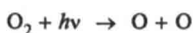
**Застосування озону** зумовлене його винятковими окисними властивостями. Озон використовується для озонування питної води, що значно ефективніше, ніж хлорування; для знешкодження промислових стічних вод; вибілювання тканин, мінеральних масел; як дезінфікуючий засіб у медицині; як окисник ракетного палива.

**Роль озону в збереженні життя на Землі.** Біля поверхні Землі озону мало. Його концентрація у повітрі коливається (вночі менша, вдень більша). Влітку і навесні його в повітрі у 3,5 рази більше, ніж узимку і восени. Над полярними частинами Землі вміст озону в повітрі вищий, ніж над екватором, в атмосфері міст — вищий, ніж у сільській місцевості. З віддаленням від поверхні Землі концентрація озону збільшується і досягає максимуму на висоті 20—25 км. Там утворюється так званий *озоновий шар*.

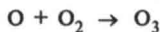
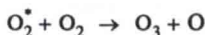
Озоновий шар відіграє значну роль у збереженні життя на нашій планеті. Він затримує найбільш згубну для людини, тварин і рослин частину ультрафіолетової радіації Сонця, яка спричинює онкологічні (ракові) захворювання шкіри. Окрім того, озоновий шар разом з вуглекислим газом  $\text{CO}_2$  поглинає інфрачервоне випромінювання<sup>1</sup> Землі і тим самим запобігає її охолодженню. Так озоновий шар забезпечує збереження життя на Землі.

Виникає запитання, звідки ж береться озон в атмосфері і як саме він захищає нас.

Озон утворюється у верхніх шарах атмосфери внаслідок поглинання киснем ультрафіолетового випромінювання Сонця:



Крім того, поглинаючи променисту енергію Сонця (фотони), молекули кисню переходять у збуджений стан (помічено зірочкою) і під час дальшої взаємодії зі звичайним киснем також утворюють озон:



Озон, що утворився, огортає Землю з усіх боків. Але молекули озону існують недовго. Відбувається зворотна реакція фотохімічного розкладу озону, яка, власне, являє собою поглинання озоном фотонів:



Отже, в атмосфері існує цикл озону — збалансоване утворення і розклад його. Результатом існування цього циклу є перетворення ультра-

<sup>1</sup> *Інфрачервоне випромінювання* — це невидимі електромагнітні хвилі, що їх випромінює нагріте тіло (теплове випромінювання).

<sup>2</sup> *Фотохімічний розклад* — це процес, що відбувається під впливом світла.

фіолетового випромінювання Сонця на теплову енергію. Але для нас головна «заслуга» озону полягає в тому, що він, «жертвуючи собою», поглинає ультрафіолетове випромінювання і тим самим не допускає високоенергетичні фотони Сонця до Землі.

Озоновий шар не є стабільним. Він може самовільно то збільшуватись, то зменшуватись над певною місцевістю по кілька разів на рік. Під впливом природних факторів (фотохімічного розкладу, виверження вулканів, значного переміщення великих повітряних мас), а більшою мірою під впливом забруднення навколишнього середовища він зазнає руйнування, внаслідок чого утворюються так звані «озонові дірки», які збільшують ультрафіолетове навантаження на все живе на Землі.

Причиною техногенного<sup>1</sup> руйнування озонового шару є забруднення атмосфери оксидами нітрогену, наявність яких у 20 разів збільшує токсичність озону. Так, масове викидання в атмосферу вихлопних газів реактивних літаків, що містять оксиди нітрогену, руйнує озоновий шар. Окрім того, використання хлоро- і флуоровмісних речовин (фреонів) у холодильних машинах також спричинює руйнування озонового шару. Адже фреони, якщо потрапляють в атмосферу, реагують лише з озоном, бо відносно інших речовин вони інертні. Внаслідок цього над місцевістю може утворитися «озонова дірка».

Над Україною (окрім південної частини) загальний вміст озону за останні 20 років зменшився на 6 %, і утворилася аномальна<sup>2</sup> зона. Вам про це слід пам'ятати! Особливо небезпечна «озонова дірка» влітку. У цей період дуже потерпають очі, тому треба користуватися сонцезахисними окулярами. Варто утримуватися і від загару, щоб не зашкодити шкірі.

- Як ви гадаєте, чому кисень і озон, що складаються з одного й того самого хімічного елемента, мають різні властивості, тобто у чому полягає суть алотропії?

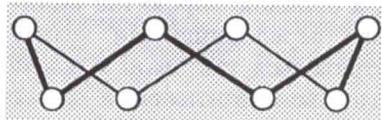
Алотропія кисню й озону зумовлена різною кількістю атомів Оксигену в молекулах речовин —  $O_2$  і  $O_3$ .

<sup>1</sup> Техногенний — той, що пов'язаний з виробничою діяльністю людини.

<sup>2</sup> Аномальний — той, що відхилений від норми.

Проте буває й інша причина алотропії — різна структура кристалів. З таким типом алотропії ви ознайомитеся на прикладі сірки.

Сірка за стандартних умов — крихка кристалічна речовина жовтого кольору. Погано проводить тепло і не проводить електричного струму. У воді не розчиняється, краще розчиняється в деяких розчинниках (у сірковуглеці  $\text{CS}_2$ , бензені, етері та ін.).



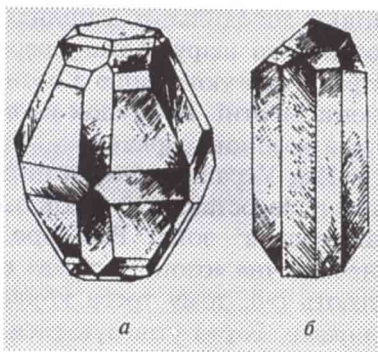
Мал. 1. Форма молекул сірки

І в розчинах, і в кристалах сірка складається з циклічних молекул  $\text{S}_8$ , які за формою нагадують корону (мал. 1). Але в кристалах ці молекули можуть бути упаковані по-різному.

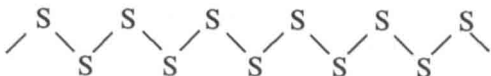
Якщо молекули розташовані щільно, утворюється алотропна форма *ромбічна сірка*. Менш щільне упакування молекул спричинює виникнення іншої алотропної форми — *моноклінної сірки* (мал. 2).

Різна будова кристалів ромбічної і моноклінної сірки зумовлює різні їхні фізичні властивості. Деякі з них наводяться у таблиці 2.

Якщо сірку розплавити і швидко охолодити, утворюється ще одна алотропна форма: *пластична сірка* — коричнева гумоподібна маса. Їй можна надати будь-якої форми, навіть розтягнути в нитку. Ця властивість пластичної сірки пояснюється тим, що вона не містить молекул  $\text{S}_8$ , а складається з довгих ланцюжків атомів Сульфуру.



Мал. 2. Кристалічні форми сірки: а — ромбічна; б — моноклінна



Ці зигзагоподібні ланцюжки безладно переплутані між собою. Під час розтягування вони розпрямляються, а якщо

відпустити — знову скручуються. Цим пояснюється еластичність даної форми. Але пластична сірка дуже нестійка, швидко загусає, твердне, стає крихкою і перетворюється на ромбічну.

Отже, у сірки є дві основні алотропні форми: ромбічна і моноклінна. Обидві вони складаються з молекул  $S_8$ , а різняться кристалічною будовою.

**Таблиця 2. Властивості ромбічної і моноклінної сірки**

Властивості простих речовин	Сірка	
	ромбічна	моноклінна
Колір	Лимонно-жовтий	Блідо-жовтий, майже безбарвний
Густина	2,07 г/см <sup>3</sup>	1,96 г/см <sup>3</sup>
Температура плавлення	112,8 °C	119,3 °C

**У природі** зустрічаються найбільш стійкі алотропні форми. Так, до складу земної атмосфери входить кисень, бо його молекули стійкіші, ніж молекули озону.

- Згадайте, як утворюється в атмосфері озон, і обґрунтуйте його значення. У чому ви вбачаєте подвійну роль озону в природі — його користь і шкоду?

Сірка зустрічається в природі у вільному стані (самородна сірка), а також у вигляді різних сполук — сульфідів металів, сульфатів тощо.

### **Лабораторна робота 1**

#### **Ознайомлення зі зразками сірки та її природних сполук**

Розгляньте видані вам зразки сірки та її природних сполук. Для кожного з них запишіть у зошит: 1) назву, 2) хімічну формулу, 3) агрегатний стан, 4) колір, 5) твердість.

Ви довідалися, що в природі дуже поширені сполуки Сульфору з різними металами. Багато з них є цінними ру-



дами:  $\text{PbS}$  — свинцевий блиск,  $\text{ZnS}$  — цинкова обманка,  $\text{Cu}_2\text{S}$  — мідний блиск,  $\text{FeS}_2$  — залізний колчедан, або пірит. Поширені в природі й інші мінерали Сульфуру, в основному сульфати кальцію і магнію. Поклади сполук Сульфуру є в Україні (Львівська область), Туркменістані, Італії, Японії, США та ін.

### Завдання для самоконтролю

6. Що таке алотропія і чим пояснюється існування різних алотропних форм?

7. Що собою являє озон за стандартних умов? Де він застосовується?

8. Схарактеризуйте відомі вам алотропні форми Сульфуру і зазначте, яка з них найстійкіша.

9. Унаслідок розкладу бертолетової солі  $\text{KClO}_3$  (хлорат калію) за наявності оксиду мангану(IV) добуто кисень об'ємом 6,72 л (н. у.). Маса витраченої при цьому бертолетової солі становить

- |             |               |
|-------------|---------------|
| (а) 24,5 г; | (в) 245 г;    |
| (б) 2,45 г; | (г) 0, 245 г. |

10. Кисень виділяється під час термічного розкладання ряду сполук. Якщо взяти по 0,5 моль таких сполук, як оксид ртуті(II), перманганат калію, бертолетова сіль, нітрат калію (перетворюється на нітрит калію  $\text{KNO}_2$ ), то найбільша кількість речовини кисню виділиться під час розкладання

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| (а) $\text{HgO}$ ;    | (в) $\text{KClO}_3$ ; |
| (б) $\text{KMnO}_4$ ; | (г) $\text{KNO}_3$ .  |

11. Максимальна маса озону, яка може утворитися з 16 г кисню, становить

- |           |           |
|-----------|-----------|
| (а) 12 г; | (в) 24 г; |
| (б) 16 г; | (г) 32 г. |

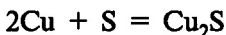
### § 3. ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КИСНЮ І СІРКИ

Ви вже знаєте, що кисень — дуже реакційноздатна речовина. Він реагує з багатьма металами, неметалами і багатьма складними речовинами, виявляючи властивості сильного окисника.

- Які сполуки утворюються під час взаємодії з киснем: а) водню; б) алюмінію; в) метану  $\text{CH}_4$ ? Напишіть рівняння реакцій, зазначте у кожному з випадків ступінь окиснення елементів та окисник і відновник.

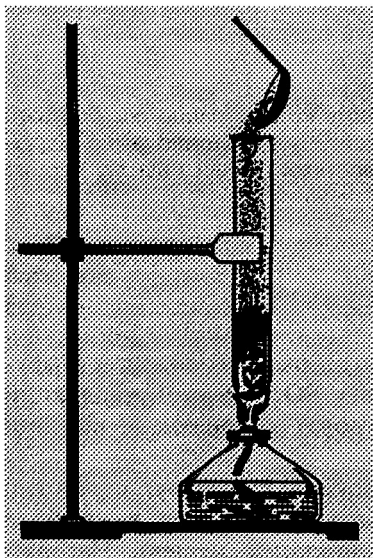
Хімічна активність сірки також доволі висока. При нагріванні вона реагує майже з усіма елементами (у формі простих речовин) і з багатьма складними речовинами, виявляючи при цьому властивості як окисника, так і відновника (порівняйте з киснем), бо для неї характерні як позитивні ступені окиснення (+4, +6), так і негативний (-2).

**1. Взаємодія з металами.** Сірка як типовий неметал взаємодіє з багатьма металами (окрім золота), утворюючи сульфіді. Так, якщо всипати порошок міді у розплавлену сірку (мал. 3), то відбувається реакція з утворенням чорного сульфиду купруму(І) і виділенням великої кількості теплоти:



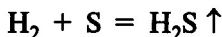
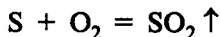
Після початку реакції спиртівку відставляють.

- Сірка безпосередньо сполучається з залізом, цинком, натрієм, алюмінієм. Напишіть рівняння цих реакцій і зазначте назви речовин, що утворилися.



Мал. 3. Взаємодія міді і сірки

**2. Взаємодія з неметалами.** Сірка безпосередньо взаємодіє з усіма неметалами (окрім йоду й азоту). Реакції відбуваються при нагріванні:



**Застосування.** Найбільша маса сірки і природних сульфідів витрачається на виробництво сульфатної кислоти. Сірка використовується і в інших галузях хімічної промисловості: для добування сульфідів  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  і  $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ , що використовуються в легкій промисловості, сульфідів  $\text{Na}_2\text{S}$ ,  $\text{CaS}$ ,  $\text{BaS}$  для шкіряного



виробництва, виготовлення люмінофорів (речовин, здатних світитися). Сірку застосовують у виробництві барвників, гуми, чорного порошу, сірників, ліків, використовують її і в сільському господарстві для боротьби зі шкідниками.

### Завдання для самоконтролю

12. Які хімічні властивості характерні для кисню і сірки? Наведіть рівняння відповідних реакцій.

13. Порівняйте взаємодію водню з киснем і сіркою. У чому подібність і відмінність цих реакцій?

14. Напишіть рівняння реакцій сірки з киснем і цинком. Яку роль відіграє сірка в одній і в другій реакціях?

15. Який тип хімічного зв'язку у сполуках Сульфуру з металами?

16. Чому кисень виявляє окисні властивості, а сірка, як окисні, так і відновні?

17. Наведіть кілька прикладів рівнянь реакцій, які засвідчують, що у кисню окисні властивості виявляються сильніше, ніж у сірки.

18. Якщо 31 г заліза взаємодіє з сіркою за умови, що масова частка використання заліза становить 90 %, то в результаті реакції утворюється сульфід феруму масою

(а)  $\approx 12$  г;

(в)  $\approx 44$  г;

(б)  $\approx 22$  г;

(г)  $\approx 88$  г.

19\*. Маючи аналогічну електронну конфігурацію зовнішнього шару, атоми хімічних елементів Оксигену і Полонію різко відрізняються один від одного за властивостями. Як ви гадаєте, чим це можна пояснити?

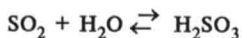
### § 4. ОКСИДИ СУЛЬФУРУ

Сульфур утворює два кислотні оксиди: оксид сульфору(IV)  $\text{SO}_2$  і оксид сульфору(VI)  $\text{SO}_3$ . Різний кількісний склад молекул (і різна їхня будова) зумовлюють відмінні властивості цих речовин.

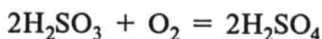
**Оксид сульфору(IV)  $\text{SO}_2$**  (діоксид сульфору, сірчистий газ) — це безбарвний важкий газ (у 2,2 раза важчий за повітря), з різким запахом, що викликає кашель. Негорючий. Дуже легко розчиняється у воді (в 1 л води при  $20^\circ\text{C}$  розчиняється 43 л  $\text{SO}_2$ ). Поряд з «фізичним» розчиненням

одночасно відбувається хімічна взаємодія — приєднання молекул води (гідратація) до молекул оксиду сульфуру(IV)  $\text{SO}_2$ , внаслідок чого утворюється сульфїтна кислота. *Водний розчин  $\text{SO}_2$  називається сульфїтною кислотою*, спрощена формула якої  $\text{H}_2\text{SO}_3$ .

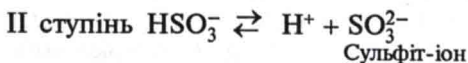
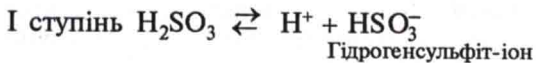
Насправді основна маса розчиненого  $\text{SO}_2$  перебуває в розчині у гідратованій формі  $\text{SO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Під час охолодження розчину можна виділити кристали приблизного складу  $\text{SO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Лише невелика частина молекул розчиненого  $\text{SO}_2$  взаємодіє з водою за схемою:



Сульфїтна кислота  $\text{H}_2\text{SO}_3$  — дуже нетривка сполука. Існує тільки у водних розчинах. За спроб виділити її розкладається на оксид сульфуру(IV) і воду. Легко поглинає з повітря кисень і повільно окиснюється у сульфатну кислоту:



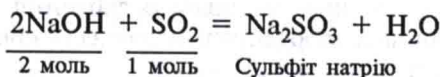
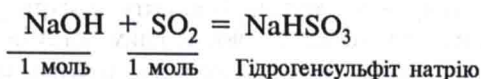
Сульфїтна кислота  $\text{H}_2\text{SO}_3$  двохосновна. Належить до кислот середньої сили. У водному розчині дисоціює ступінчасто, в основному за першим ступенем:



За другим ступенем дисоціація відбувається незначною мірою.

Як двохосновна сульфїтна кислота  $\text{H}_2\text{SO}_3$  може утворювати два ряди солей: а) середні солі — сульфїти і б) кислі солі — гідрогенсульфїти (продукти неповного заміщення Гідрогену кислоти на метал).

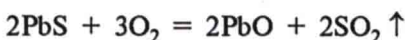
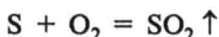
Якщо в розчин їдкого натру  $\text{NaOH}$  пропускати сірчистий газ  $\text{SO}_2$ , то залежно від співвідношення речовин, що реагують, утвориться або середня, або кисла сіль:



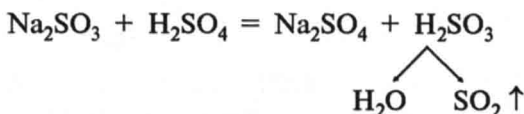
Це слід брати до уваги під час виконання дослідів та розв'язування задач.

Усі сульфіти — нерозчинні солі, за винятком сульфідів лужних металів і амонію.

**Добування.** Оксид сульфуру(IV) добувають спалюванням сірки, а також як побічний продукт випалювання сульфідних руд кольорових металів, наприклад:



У лабораторних умовах оксид сульфуру(IV) добувають дією кислот на сульфіти. При цьому замість нетривкої сульфідної кислоти виділяється оксид сульфуру(IV):



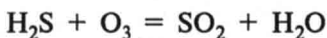
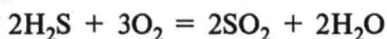
**Застосування.** Найважливіша галузь застосування оксиду сульфуру(IV)  $\text{SO}_2$  — це виробництво сульфатної кислоти  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Його використовують також у виробництві сульфідів і гідрогенсульфітів. Сірчистий газ  $\text{SO}_2$  здатний знищувати мікроорганізми і шкідників сільськогосподарських культур, тому його використовують для обкурювання овочесховищ і з метою перевезення ягід і фруктів. Сірчистий газ знебарвлює багато природних фарб, тому з його допомогою вибілюють солому, шовк, вовну та інші матеріали. Застосовують його також для консервування фруктів і ягід та як дезінфікуючий засіб (для знищення плісені у підвалах, льохах, винних бочках, бродильних чанах).

**Фізіологічна дія.** Оксид сульфуру(IV)  $\text{SO}_2$  токсичний. Невелика концентрація його у повітрі викликає подразнення слизових оболонок дихальних органів і очей. Тривала дія навіть малих концентрацій оксиду сульфуру(IV) призводить до виникнення у людини бронхіту, гастриту та інших хвороб, у тому числі, можливо, й раку легенів. Оксид сульфуру(IV)  $\text{SO}_2$  вважається найнебезпечнішим для здоров'я людини, оскільки викликає загальне ослаблення організму і у поєднанні з іншими забрудниками довкілля спричинює скорочення середньої тривалості життя.

**Вплив на навколишнє середовище.** Діоксид сульфуру  $\text{SO}_2$  один з основних забрудників повітря, він отрує навколишнє середовище.

Звідки ж береться діоксид сульфуру  $\text{SO}_2$  у повітрі?

Природним джерелом  $\text{SO}_2$  є окиснення сірководню  $\text{H}_2\text{S}$  атмосферним киснем й озоном:

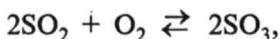


Основними антропогенними джерелами діоксиду сульфуру  $\text{SO}_2$  є спалювання палива, виплавляння металів (димові гази), робота автомобільного транспорту (вихлопні гази).

Діоксид сульфуру  $\text{SO}_2$ , потрапляючи у повітря, викликає утворення «кислотних дощів», шкідливих для усього живого.

Як же утворюються «кислотні дощі»?

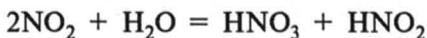
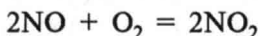
В атмосфері діоксид сульфуру  $\text{SO}_2$  під впливом незначних кількостей розпорошених металів та їхніх солей (в основному Fe і Mn) окиснюється до триоксиду сульфуру  $\text{SO}_3$ :



який взаємодіє з краплинами вологи, утворюючи сторонню для повітря речовину — сульфатну кислоту:



Аналогічним чином роблять свій «внесок» у появу «кислотних дощів» й оксиди нітрогену:



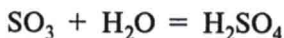
Кислотні опади (дощ, град, сніг тощо) негативно впливають на водні екосистеми, на ріст дерев та сільськогосподарських культур. Вплив кислотних опадів на живі організми, у тому числі на людину, ще недостатньо вивчений. Проте відомо, що в умовах забруднення атмосфери (димовими газами, що утворюються у процесі спалювання палива, або відхідними газами переробки сульфуровмісної сировини чи викидами металургійних підприємств) не слід



ходити під дощем з непокритою головою (це може стати причиною випадання волосся).

**Оксид сульфуру(VI)  $\text{SO}_3$**  (триоксид сульфуру) — безбарвна рідина, яка за температури, нижчої від  $17^\circ\text{C}$ , кристалізується, перетворюючись на довгі шовковисті кристали. Дуже летка речовина, сильний окисник. Токсичний, уражує слизові оболонки й дихальні шляхи, викликає тяжкі опіки шкіри, енергійно руйнує органічні сполуки. Зберігають його у запаяних скляних посудинах.

Оксид сульфуру(VI) на повітрі димить, бурхливо взаємодіє з водою з виділенням великої кількості теплоти, утворюючи сульфатну кислоту:



Він може навіть вбирати вологу з повітря, утворюючи білий туман, що складається з найдрібніших краплинок сульфатної кислоти.

Оксид сульфуру(VI) розчиняється у концентрованій сульфатній кислоті  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , і цей розчин називається *олеумом*.

- Знаючи, що  $\text{SO}_3$  — типовий кислотний оксид, напишіть рівняння реакцій, характерних для нього.

Добувають оксид сульфуру(VI) у результаті окиснення  $\text{SO}_2$  киснем повітря (напишіть рівняння реакції).

За стандартних умов ця реакція відбувається дуже повільно. Значно швидше і легше вона відбувається за температури  $450\text{—}600^\circ\text{C}$  і за наявності каталізатора оксиду ванадію(V)  $\text{V}_2\text{O}_5$ .

Застосовується оксид сульфуру(VI)  $\text{SO}_3$  у виробництві сульфатної кислоти  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . У лабораторній практиці він використовується як водовбирний засіб.

---

### Завдання для самоконтролю

**20.** Схарактеризуйте оксид сульфуру(IV). З якою метою він використовується? На яких властивостях ґрунтується його використання?

**21.** Обчисліть густину за повітрям і масу 1 л сірчистого газу (н. у.). Зробіть висновок, чи можна збирати  $\text{SO}_2$  у циліндр витісненням повітря. Чому?

22. Яка фізіологічна дія оксиду сульфуру(IV)?

23. Що вам відомо про сульфїтну кислоту? Чому її розчин треба оберегати від доступу повітря?

24. Чому внаслідок пропускання  $\text{SO}_2$  крізь вапняну воду вона так само стає каламутною, як і внаслідок пропускання вуглекислого газу? Напишіть відповідні рівняння реакцій.

25. Наведіть рівняння реакції добування сульфїту барію з розчинних солей.

26. Який об'єм діоксиду сульфуру (н. у.) можна добути внаслідок розкладання під час нагрівання сульфїту магнію масою 650 кг з масовою часткою домішок 20 %?

27. Чи вистачить  $14 \text{ м}^3$  кисню для окиснення  $30 \text{ м}^3$  діоксиду сульфуру за нормальних умов?

28\*. Визначте об'ємні частки оксиду сульфуру(IV) і кисню в суміші (н. у.), якщо з 200 мл її після реакції утворилось 0,438 г оксиду сульфуру(VI). Візьміть до уваги, що  $\text{SO}_2$  прореагував повністю.

## § 5. РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ НА НАДЛИШОК

Ви знаєте, що речовини взаємодіють у певних співвідношеннях. Але часто одна з вихідних речовин береться у надлишку, щоб забезпечити повнішу взаємодію іншої речовини. Реакція між речовинами відбувається доти, доки повністю прореагує одна з них, а надлишок іншої речовини залишається. Він участі в реакції не бере. Тому, розв'язуючи задачі цього типу, потрібно:

1) з'ясувати насамперед, яка саме з вихідних речовин узята у надлишку, бо надлишок не реагуватиме;

2) далші обчислення робити за тією речовиною, яка прореагувала повністю.

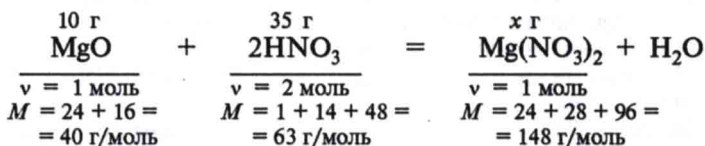
Зверніть увагу, що під час розв'язування задач можливі різні варіанти.

Для прикладу розглянемо розв'язування конкретних задач.

**Задача 1.** До розчину, що містить 35 г нітратної кислоти, добавили 10 г оксиду магнію. Визначте масу солі, що утворилася при цьому.

$$\begin{array}{l|l} \text{Дано: } m(\text{HNO}_3) = 35 \text{ г} & \\ m(\text{MgO}) = 10 \text{ г} & \\ \hline m(\text{Mg}(\text{HNO}_3)_2) = ? & \end{array}$$

Складаємо рівняння реакції, робимо необхідні записи і розрахунки, щоб побачити пропорційну залежність між величинами:



З рівняння реакції дізнаємось про мольне співвідношення речовин, які взаємодіють:

$$\nu(\text{MgO}) : \nu(\text{HNO}_3) = 1 : 2$$

Встановлюємо, яку кількість речовини становлять 10 г MgO і 35 г HNO<sub>3</sub> за формулою  $\nu = \frac{m}{M}$ :

$$\nu(\text{MgO}) = \frac{10 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,25 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{HNO}_3) = \frac{35 \text{ г}}{63 \text{ г/моль}} = 0,55 \text{ моль}.$$

Якщо MgO 0,25 моль, то HNO<sub>3</sub> треба 0,5 моль, а у нас 0,55 моль, отже, HNO<sub>3</sub> взято з надлишком. Це означає, що подальші розрахунки треба робити не за нітратною кислотою, а за оксидом магнію, оскільки він прореагував повністю.

Далі знаходимо масу утвореної солі, як звичайно. З рівняння реакції видно, що 1 моль MgO взаємодіє з нітратною кислотою з утворенням 1 моль Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, а якщо взаємодіє 0,25 моль MgO, то й солі має утворитися 0,25 моль. Отже, маса солі дорівнює:

$$m = M \cdot \nu;$$

$$m(\text{Mg(NO}_3)_2) = 148 \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ моль} = 37 \text{ г}.$$

Відповідь: якщо 35 г нітратної кислоти взаємодіє з 10 г оксиду магнію, то при цьому утворюється 37 г нітрату магнію.

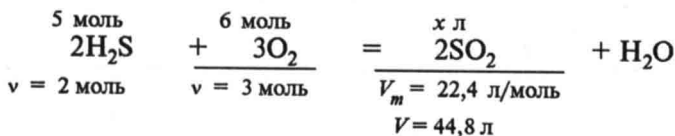
**Задача 2.** Обчисліть об'єм оксиду сульфуру(IV), який утворюється внаслідок взаємодії сірководню кількістю речовини 5 моль і кисню кількістю речовини 6 моль.



Дано:  $\nu(\text{H}_2\text{S}) = 5$  моль

$\nu(\text{O}_2) = 6$  моль

$V(\text{SO}_2) = ?$



$$\nu(\text{H}_2\text{S}) = \frac{5 \text{ моль}}{2 \text{ моль}} = 2,5; \quad \nu(\text{O}_2) = \frac{6 \text{ моль}}{3 \text{ моль}} = 2, \text{ отже,}$$

сірководень узято з надлишком, оскільки  $2,5 > 2$ .

Обчислюємо об'єм оксиду сульфуру(IV). Розрахунки здійснюємо за киснем, бо він прореагував повністю:

$$3 : 44,8 = 6 : x$$

$$x = \frac{44,8 \text{ л} \cdot 6 \text{ моль}}{3 \text{ моль}} = 89,6 \text{ л } (\text{SO}_2).$$

Відповідь:  $V(\text{SO}_2) = 89,6 \text{ л}$ .

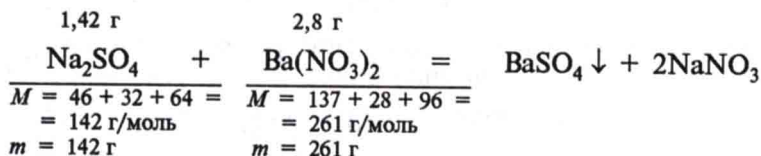
**Задача 3.** До розчину, який містить 1,42 г сульфату натрію, долили розчин, що містить 2,8 г нітрату барію. Утворений осад відфільтрували. Які речовини містяться у фільтраті?

Дано:  $m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1,42 \text{ г}$

$m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 2,8 \text{ г}$

речовини у фільтраті = ?

Аналізуючи умову задачі, бачимо, що для обох солей, які реагують одна з одною, зазначена певна маса, яка може бути стехіометричною. Але, як правило, це ознака того, що задача на надлишок, а він не реагуватиме. Тому визначаємо передусім, яка з вихідних речовин узята у надлишку. Для цього складаємо рівняння реакції:



З рівняння реакції видно, що 142 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  взаємодіє із 261 г  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , а якщо  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  узято 1,42 г, тобто у 100 разів

менше, то й маса  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , що реагуватиме, буде у 100 разів меншою — 2,61 г. Отже, нітрат барію  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  узято у надлишку. Цей надлишок становитиме:  $2,8 \text{ г} - 2,61 \text{ г} = 0,19 \text{ г}$ , і міститиметься він у фільтраті разом з нітратом натрію  $\text{NaNO}_3$ , який залишився в розчині, коли осад  $\text{BaSO}_4$  відфільтрували.

Відповідь: у фільтраті містяться нітрат натрію  $\text{NaNO}_3$  і надлишок нітрату барію  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ .

**Задача 4.** У розчин, що містить їдкий натр масою 20 г, пропустили оксид сульфуру(IV) об'ємом 15 л (н. у.). Визначте масу солі, яка утворилась внаслідок реакції.

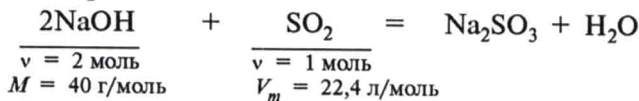
Дано: $m(\text{NaOH}) = 20 \text{ г}$ $V(\text{SO}_2) = 15 \text{ л}$	
$m(\text{солі}) = ?$	

Ознакою того, що дана задача на надлишок, є зазначення в її умові даних **обох** речовин, що взаємодіють між собою. Тож потрібно спочатку з'ясувати, яка речовина узята у надлишку. Для цього слід скласти рівняння реакції. Але як це зробити, якщо ми не знаємо, яка сіль утворилась? Адже може бути або середня, або кисла сіль. Якщо надлишок їдкого натру, то утворюється середня сіль, а якщо надлишок оксиду сульфуру(IV), то — кисла сіль (чому? Обґрунтуйте).

Припускаємо, що утворилася середня сіль, тоді...

*Перший спосіб*

1) Яку з вихідних речовин узято у надлишку, якщо утворюється середня сіль?



Дізнаємось, яку кількість речовини становлять 20 г  $\text{NaOH}$ :

$$v(\text{NaOH}) = \frac{20 \text{ г}}{40 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль.}$$

З'ясовуємо мольне співвідношення речовин, які взаємодіють. З рівняння реакції видно, що

$$v(\text{NaOH}) : v(\text{SO}_2) = 2 : 1,$$

тобто кількість речовини  $\text{SO}_2$  вдвічі менша, отже, якщо взаємодіє 0,5 моль  $\text{NaOH}$ , то  $\text{SO}_2$  — вдвічі менше, а саме 0,25 моль:

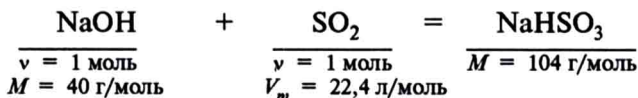
$$2 : 1 = 0,5 : 0,25.$$

Обчислюємо, яку кількість речовини становлять 15 л  $\text{SO}_2$ :

$$\nu(\text{SO}_2) = \frac{15 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,67 \text{ моль};$$

$0,67 > 0,25$ , отже,  $\text{SO}_2$  у надлишку.

А ми вже знаємо, якщо  $\text{SO}_2$  у надлишку, то утворюється кисла сіль (чому?). Складаємо інше рівняння реакції і за ним перевіряємо, чи справді сіль кисла, й обчислюємо її масу:



$$\nu(\text{NaOH}) : \nu(\text{SO}_2) = 1 : 1; \quad 1 : 1 = 0,5 : 0,5;$$

$$\nu(\text{SO}_2) = \frac{15 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 0,67 \text{ моль};$$

$0,67 > 0,5$ , отже,  $\text{SO}_2$  у надлишку, сіль — кисла.

Це означає, що подальші розрахунки треба проводити за їдким натром, оскільки він прореагував повністю.

2) Яка маса утвореної солі?

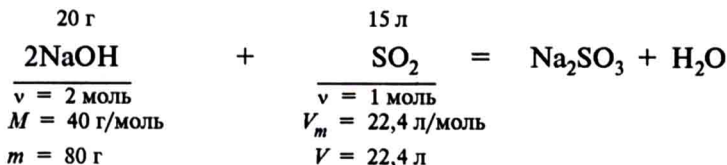
$$m = M \cdot \nu;$$

$$m(\text{NaHSO}_3) = 104 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 52 \text{ г}.$$

Відповідь:  $m(\text{NaHSO}_3) = 52 \text{ г}$ .

*Другий спосіб*

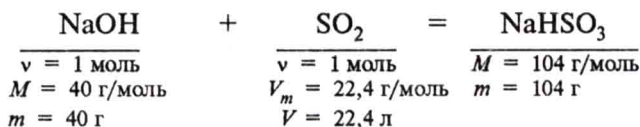
1) Яку з вихідних речовин узято у надлишку, якщо утворюється середня сіль?



З рівняння реакції видно, що 80 г  $\text{NaOH}$  повністю взаємодіють з 22,4 л  $\text{SO}_2$ , а 20 г  $\text{NaOH}$  — з  $x$  л  $\text{SO}_2$ , отже:

$$80 : 20 = 22,4 : x; \quad x = \frac{20 \text{ г} \cdot 22,4 \text{ л}}{80 \text{ г}} = 5,6 \text{ л } (\text{SO}_2).$$

За умовою задачі пропускали 15 л  $\text{SO}_2$ , а прореагувало лише 5,6 л. Отже, оксид сульфуру(IV) взято у надлишку. Це означає, що сіль, яка утворюється, кисла. У такому разі треба скласти інше хімічне рівняння і за ним перевірити, чи справді утворюється кисла сіль:



$$40 : 20 = 22,4 : x; \quad x = \frac{20 \text{ г} \cdot 22,4 \text{ л}}{40 \text{ г}} = 11,2 \text{ л } (\text{SO}_2).$$

Сіль кисла  $\text{NaHSO}_3$ , і у даному разі  $\text{SO}_2$  у надлишку.

2) Тепер можна обчислювати масу утвореної солі. Ви пам'ятаєте, що розрахунок ведеться за речовиною, яка прореагувала повністю, тобто за гідроксидом натрію  $\text{NaOH}$ .

З рівняння реакції видно, якщо взаємодіє  $\text{SO}_2$  і 40 г  $\text{NaOH}$ , то утворюється 104 г  $\text{NaHSO}_3$ , а якщо з  $\text{SO}_2$  взаємодіє 20 г  $\text{NaOH}$ , то —  $x$  г солі гідрогенсульфіту натрію:

$$40 : 20 = 104 : x; \quad x = \frac{20 \text{ г} \cdot 104 \text{ г}}{40 \text{ г}} = 52 \text{ г } (\text{NaHSO}_3)$$

Відповідь:  $m(\text{NaHSO}_3) = 52 \text{ г}$ .

### Завдання для самоконтролю

**29.** У розчин, що містить гідроксид барію масою 350 г, пропустили оксид сульфуру(IV) об'ємом 44,8 л (н. у.). Яка сіль і якої маси утворилась у результаті реакції?

**30.** Змішали оксид кальцію масою 300 г і оксид сульфуру(VI) масою 400 г. Які речовини і якої маси залишилися після закінчення реакції?

**31\*.** Оксид сульфуру(IV), добутий у результаті спалювання сірководню об'ємом 44,8 л (н. у.), пропущено крізь 0,5 л розчину їдкого натру з масовою часткою  $\text{NaOH}$  25 % і густиною 1,28 г/см<sup>3</sup>. Яка сіль утворилась?

## § 6. СУЛЬФАТНА КИСЛОТА

Сульфатна кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (безводна, 100%-ва) — важка безбарвна оліїста рідина. Густина її концентрованого розчину ( $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98\%$ ) за стандартних умов  $1,84 \text{ г/см}^3$ . Вона нелетка, запаху не має. Надзвичайно гігроскопічна. Активно вбирає вологу. Змішується з водою у будь-яких співвідношеннях. Розчинення сульфатної кислоти у воді супроводжується виділенням великої кількості теплоти, що може призвести до закипання води і розбризкування кислоти.

Сульфатна кислота — їдка рідина, тому треба остерігатись, щоб вона не потрапила на шкіру й одяг. А якщо це сталося, треба швидко змити її великою кількістю води, після чого нейтралізувати розчином соди і знову змити водою.

Пам'ятайте таке правило:

**не можна воду доливати до концентрованої сульфатної кислоти! Для розбавлення кислоти треба доливати до води невеликими порціями.**

**Хімічні властивості** сульфатної кислоти багато в чому залежать від її концентрації. В лабораторіях та промисловості використовують розбавлену і концентровану сульфатну кислоту, хоча такий поділ дещо умовний.

Розбавлена сульфатна кислота виявляє всі хімічні властивості, характерні для кислот.

**1. Зміна кольору індикатора.** Пригадайте, якого кольору набувають відомі вам індикатори в кислому середовищі.

**2. Дисоціація кислоти.** Сульфатна кислота двохосновна, належить до сильних кислот. У водних розчинах вона дисоціює на йони за двома ступенями (за першим — практично повністю):

I ступінь  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$  — гідрогенсульфат-іон

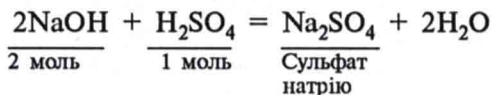
II ступінь  $\text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$  — сульфат-іон

Ось чому в процесі нейтралізації розчинів сульфатної кислоти  $\text{H}_2\text{SO}_4$  утворюються два ряди солей: середні солі — сульфати і кислі солі — гідрогенсульфати.

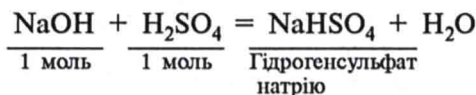
**3. Взаємодія з основами.** Якщо у пробірку з розбавленою сульфатною кислотою додати дві-три краплі фіолетового



лакмусу, розчин набуває червоного забарвлення (кисле середовище). Потім у цю пробірку доливатимемо краплями розчин гідроксиду натрію доти, доки вміст пробірки набуде фіолетового забарвлення (нейтральне середовище):



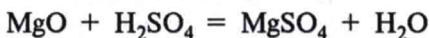
Якщо ж розчину лугу NaOH не вистачає для нейтралізації усієї кислоти, то сіль, що утворюється, буде кислою:



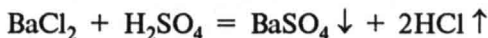
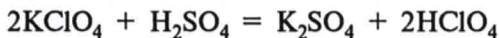
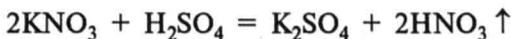
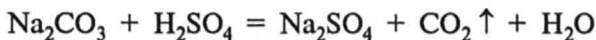
Отже, гідрогенсульфати утворюються тоді, коли кислота береться у надлишку.

Більшість сульфатів добре розчиняються у воді. Малорозчинним є сульфат кальцію  $\text{CaSO}_4$ , ще менше розчиняється сульфат плумбуму  $\text{PbSO}_4$  і практично нерозчинним є сульфат барію  $\text{BaSO}_4$  (див. таблицю розчинності).

**4. Взаємодія з оксидами металів.** Сульфатна кислота реагує з основними та амфотерними оксидами, утворюючи солі, наприклад:



**5. Взаємодія з солями.** Сульфатна кислота сильна і не-летка, одна з найстійкіших із відомих мінеральних кислот. Вона може вступати в реакцію обміну з солями, утвореними слабкішими або леткими кислотами і навіть сильними кислотами, якщо вони менш стійкі:



Останнє рівняння відображує якісну реакцію на кислоту та її солі, бо утворюється нерозчинний у воді сульфат барію  $\text{BaSO}_4$ .

Сульфатна кислота може взаємодіяти зі своїми солями — сульфатами. При цьому середні солі — сульфати перетворюються на кислі солі — гідрогенсульфати:



- Усі реакції, рівняння яких наведені у пункті 5, є реакціями йонного обміну. Напишіть їх у повній і скороченій йонних формах, за винятком останнього.

## *Лабораторна робота 2*

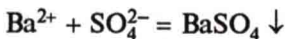
### **Визначення сульфат-іонів у розчині**

Налийте у першу пробірку трохи розбавленої сульфатної кислоти, у другу — розчину сульфату натрію, у третю — розчину нітрату натрію. До кожної з пробірок додайте кілька крапель розчину хлориду барію (або нітрату барію). Що спостерігається? До білого осаду, що утворився у двох пробірках (чому?) додайте по кілька крапель розбавленої нітратної кислоти. Якщо осад не розчиняється, то це — сульфат барію  $\text{BaSO}_4$ . Він свідчить про те, що в цих пробірках розчини містили сульфат-іони  $\text{SO}_4^{2-}$ .

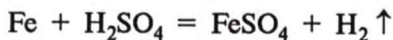
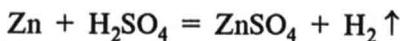
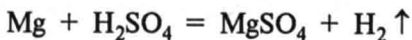
Складіть рівняння здійснених реакцій і запишіть їх у повній і скороченій йонних формах.

Отже, про наявність у розчині сульфатної кислоти та її солей можна робити висновок на підставі утворення білого осаду  $\text{BaSO}_4$ , який практично не розчиняється ні у воді, ні в нітратній кислоті.

Таким чином, реактивом на сульфат-іони  $\text{SO}_4^{2-}$  є йони барію  $\text{Ba}^{2+}$ :



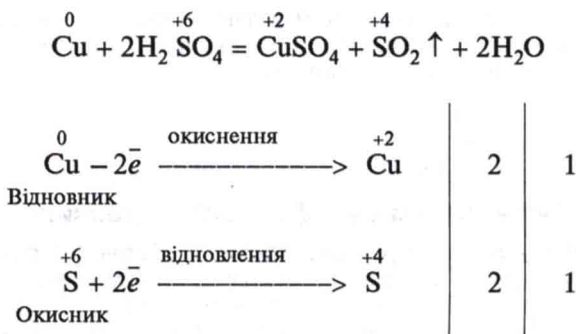
**6. Взаємодія з металами.** Розбавлена сульфатна кислота реагує з активними металами, наприклад з магнієм, цинком, залізом з виділенням водню:



Малоактивні метали (мідь, срібло, золото) з розбавленою сульфатною кислотою **не реагують**.

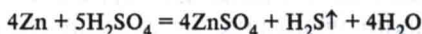


Концентрована сульфатна кислота — сильний окисник. Вона може взаємодіяти з малоактивними металами, наприклад з міддю:



Зверніть увагу: під час взаємодії концентрованої сульфатної кислоти з малоактивними металами відновлюється не Гідроген кислоти, а Сульфур, тому газоподібний водень  $\text{H}_2$  не виділяється!

У разі взаємодії з активними металами — цинком, магнієм тощо — концентрована сульфатна кислота відновлюється найчастіше до сірководню  $\text{H}_2\text{S}$ :



Із залізом концентрована сульфатна кислота (масова частка  $\text{H}_2\text{SO}_4$  понад 75 %) не взаємодіє. Це дає змогу зберігати і перевозити її у сталених цистернах.

**Застосування сульфатної кислоти і сульфатів.** Сульфатна кислота є важливим продуктом хімічної промисловості. Зона у великих кількостях застосовується у виробництві мінеральних добрив, волокон, пластмас, барвників, вибухових речовин, у металургії в процесі добування міді, нікелю, тантану та інших металів. Використовується також як осушувач газів.

Серед сульфатів велике практичне значення мають мідний і залізний купороси  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Вони використовуються в сільському господарстві для боротьби зі шкідниками рослин, у виробництві фарб, для просочення деревини як антисептичний засіб.

## Купороси — технічна назва кристалогідратів сульфатів деяких важких металів.

Отже, купороси — це солі сульфатної кислоти, кристали яких містять кристалізаційну воду. В основному це солі Феруму, Купруму, Ніколу, Кобальту й Цинку. Гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  до купоросів не належить оскільки Кальцій не є важким металом.

Гіпс — кристалогідрат сульфату кальцію — так само, як і безводний сульфат кальцію  $\text{CaSO}_4$  використовують у будівництві, медицині та інших галузях.

Сульфат натрію  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  застосовують у виробництві скла. Він входить до складу природного мінералу  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  глауберової солі, яка використовується в медицині як проносний засіб.

Сульфати калію  $\text{K}_2\text{SO}_4$  і амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  використовують як добрива.

Сульфат барію  $\text{BaSO}_4$  застосовують у виробництві паперу, гуми та білої мінеральної фарби, а також у медицині для рентгеноскопії шлунку («Барієва каша»).

---

### Завдання для самоконтролю

32. Схарактеризуйте фізичні й хімічні властивості сульфатної кислоти. Напишіть відповідні рівняння реакцій.

33. У чому подібність і відмінність властивостей сульфатної кислоти і властивостей інших відомих вам кислот, наприклад хлоридної?

34. Сульфатну кислоту нейтралізують розчином гідроксиду кальцію. Як піде процес нейтралізації за наявності надлишку: а) гідроксиду кальцію; б) сульфатної кислоти? Напишіть відповідні рівняння реакцій і назвіть утворені солі.

35. Щоб утворилася кисла сіль — гідрогенсульфіт натрію, з їдким натром масою 20 г має прореагувати оксид сульфуру(IV) об'ємом (н. у.)

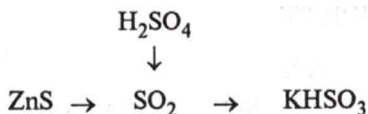
(а) 11,2 л;

(в) 33,6 л;

(б) 22,4 л;

(г) 44,8 л.

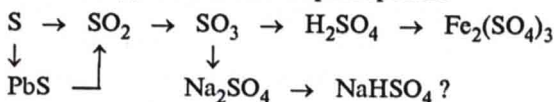
36. Напишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:



37. В одній пробірці міститься розчин сульфатної кислоти, в іншій — хлоридної. Як розпізнати, де яка кислота міститься?

38. Для добування оксиду карбону(IV) на карбонат кальцію діють хлоридною кислотою. Чому для цієї мети не можна використати сульфатну кислоту?

39\*. Як здійснити такі перетворення:



Напишіть рівняння реакцій.

40\*. Напишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:



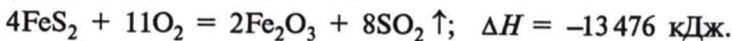
41\*. Визначте масу розчину хлориду барію з масовою часткою  $\text{BaCl}_2$  10 %, необхідного для осадження сульфат-іонів, які містяться у 5 г розчину сульфату натрію з масовою часткою  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  6 %. Яка маса утвореного осадку?

42\*. До розчину сульфату купрум(II) масою 62 г з масовою часткою  $\text{CuSO}_4$  5 % долили розчин хлориду барію масою 31,2 г з масовою часткою  $\text{BaCl}_2$  20 %. Осад відфільтрували. Які речовини і якої маси містяться у фільтраті? Визначте їхню масу.

## § 7. ВИРОБНИЦТВО СУЛЬФАТНОЇ КИСЛОТИ

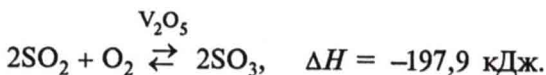
Найсучасніший спосіб добування сульфатної кислоти у промисловості — це контактний. Як сировина використовується пірит  $\text{FeS}_2$  (залізний, або сірчаний, колчедан).

*Перша стадія* процесу — випалювання колчедану і добування діоксиду сульфуру:



Цей процес відбувається у колчеданних печах, з яких виходить випалювальний газ. Він містить, окрім діоксиду сульфуру  $\text{SO}_2$ , ще кисень, азот, водяну пару та інші домішки. Його очищають, висушують і подають на другу стадію виробництва у контактний апарат.

*Друга стадія* — окиснення діоксиду сульфуру і добування триоксиду сульфуру:



Окиснення відбувається в контактному апараті за наявності каталізатора і високої температури.

Але ви можете запитати, навіщо тут висока температура, якщо реакція екзотермічна. Адже ми знаємо, що згідно з принципом Ле Шательє зміщенню рівноваги у бік утворення  $\text{SO}_3$  сприятимуть низька температура і високий тиск.

Це справедливо, але річ у тім, що високий тиск застосувати майже неможливо, бо  $\text{SO}_2$  одразу перейде у рідкий стан. І низькі температури використати не можна, бо швидкість реакції буде надто малою. Тому й застосовують каталізатор  $\text{V}_2\text{O}_5$ , щоб пришвидшити процес, а каталізатор сам стає активним лише при  $450^\circ\text{C}$ . Ось чому, незважаючи на екзотермічність реакції, використовують ще додаткове нагрівання. Теплоту, яка виділяється під час реакції, відводять і використовують для нагрівання випалювального газу, який встигає охолонути, проходячи складну систему очисних споруд перед надходженням у контактний апарат (див. схему виробництва сульфатної кислоти на вклейці).

Отже, процес окиснення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  здійснюється складно, бо ця реакція оборотна й екзотермічна. Умови її здійснення визначаються в основному згідно з принципом Ле Шательє.

- Сформулюйте принцип Ле Шательє так, як ви його розумієте. Яких умов окиснення  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  слід додержувати, щоб збільшити вихід триоксиду сульфуру? Обґрунтуйте ці умови.

*Третя стадія* виробництва — поглинання триоксиду сульфуру й утворення сульфатної кислоти  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Добутий у контактному апараті триоксид сульфуру  $\text{SO}_3$  надходить у поглинальну башту — *абсорбер*<sup>1</sup>, де поглинається концентрованою сульфатною кислотою (масова частка  $\text{H}_2\text{SO}_4$  96—98 %). В абсорбері  $\text{SO}_3$  взаємодіє з водою, що міститься у концентрованому розчині сульфатної кислоти, утворюючи безводну, 100%-ву сульфатну кислоту, яка називається *монопідратом*:



<sup>1</sup> *Абсорбція* (від лат. *absorptio* — поглинання) — вбирання газів або рідин усім об'ємом (а не поверхнею) іншої речовини.



Чистою водою поглинати триоксид сульфуру  $\text{SO}_3$  не можна, оскільки утворюється дуже стійкий «туман» із дрібних крапель сульфатної кислоти, який погано конденсується.

Кінцевий продукт виробництва — *олеум* (розчин  $\text{SO}_3$  у моногідраті). Його розбавляють водою до сульфатної кислоти потрібної концентрації.

- Поясніть, як можна, виходячи з концентрованої сульфатної кислоти, дістати її розбавлений розчин. Обґрунтуйте дії, необхідні при цьому.

**Охорона праці та навколишнього середовища у виробництві сульфатної кислоти.** Захист біосфери від забруднення викидами хімічних виробництв — найважливіша проблема сучасності. У виробництві сульфатної кислоти можуть бути втрати якоїсь кількості діоксиду  $\text{SO}_2$  і триоксиду сульфуру  $\text{SO}_3$  та викидання їх в атмосферу, що спричинює кислотні дощі. Вони сприяють підвищенню кислотності ґрунтів і зниженню врожаїв, збільшенню кислотності водойм і загибелі його мешканців. Кислотні дощі спричиняють корозію металів, руйнують лакофарбові покриття. Під їх згубною дією руйнуються будівельні матеріали, пам'ятники архітектури тощо.

Щоб запобігти утворенню кислотних дощів і забезпечити охорону здоров'я працівників, намагаються не допускати викидання оксиду сульфуру(IV)  $\text{SO}_2$  в атмосферу і в цехи заводу. З цією метою своєчасно ремонтують апаратуру, встановлюють фільтри, поглиначі, вентиляцію, суворо дотримують технологічного режиму, використовують засоби індивідуального захисту працівників, удосконалюють й автоматизують виробничі процеси, герметизують устаткування та апаратуру, впроваджують принцип безвідхідності та ефективні методи очищення відхідних газів. З них тепер вловлюють  $\text{SO}_2$  і знову повертають його у виробництво. Застосовують також методи добування цінних побічних продуктів із промислових відходів.

Над проблемою повної утилізації<sup>1</sup> та переробки відходів виробництва сульфатної кислоти нині працюють інженери і

---

<sup>1</sup> Утилізація (від лат. *utilis* — корисний) — доцільне застосування відходів.

техніки. Адже реалізація принципу безвідхідності дає змогу не тільки істотно збільшувати вихід кислоти, підвищувати ефективність виробництва, а й охороняти здоров'я людей: зберігати чистоту навколишнього середовища.

---

### Завдання для самоконтролю

43. Напишіть рівняння реакцій, які відбуваються у процесі добування сульфатної кислоти в техніці. Обґрунтуйте оптимальні умови їх здійснення.

44. Поясніть терміни «моногідрат» і «олеум».

45. Як ви гадаєте, чому перед надходженням суміші газів у контактний апарат її ретельно очищують?

46\*. Яку масу моногідрату можна добути з 5 т сірчаного колчедану, масова частка Сульфуру в якому 45 %?

47\*. Обчисліть масу розчину сульфатної кислоти з масовою часткою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20 %, який можна добути з 50 кг олеуму з масовою часткою  $\text{SO}_3$  10 %.

## § 8. РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ НА ВИХІД ПРОДУКТУ

В основі виробництва сульфатної кислоти (так само і будь-якого іншого хіміко-технологічного процесу) лежить хімічне перетворення речовин — хімічні реакції. Їхню суть виражають хімічними рівняннями, що складаються на основі закону збереження маси речовин.

- Сформулюйте закон збереження маси речовин і поясніть його суть з погляду атомно-молекулярного вчення.

Знання закону збереження маси дає змогу не тільки складати рівняння реакцій, а й проводити за ними різні розрахунки, у тому числі обчислювати вихід продукту виробництва.

*Вихід продукту* — важливий показник ефективності виробничого процесу. На його підставі роблять висновок про повноту використання сировини тощо. Річ у тім, що в реальних виробничих умовах через оборотність багатьох



реакцій і виробничі втрати вихід продукту реакції завжди менший від того, який мав би утворитись згідно з рівнянням реакції (на підставі закону збереження маси). Отже, практичний вихід продукту завжди менший за теоретичний.

**Вихід продукту — це відношення фактично добутого продукту до максимально можливого, обчисленого за рівнянням реакції.**

Вихід продукту виражають у частках одиниці або у відсотках. Зверніть увагу, що для розв'язування задач на вихід продукту зовсім не має значення, як його обчислювати: за відношенням мас, об'ємів чи кількості речовини. В усіх цих випадках буде знайдено те саме значення шуканої величини.

Розглянемо конкретні приклади.

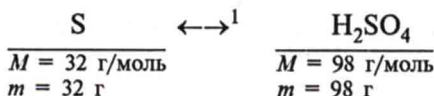
**Задача 1.** З 320 т сірчаного колчедану, масова частка Сульфору в якому 45 %, добуто сульфатну кислоту масою 405 т (у перерахунку на безводну). Обчислити вихід сульфатної кислоти.

Дано:	$m(\text{FeS}_2) = 320 \text{ т}$ $w(\text{S}) = 45 \% = 0,45$ $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 405 \text{ т}$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> $\text{вихід}(\text{H}_2\text{SO}_4) = ?$
-------	---

1. Обчислюємо масу Сульфору, що міститься у 320 т сірчаного колчедану:

$$m(\text{S}) = 320 \text{ т} \cdot 0,45 = 144 \text{ т.}$$

2. Обчислюємо масу сульфатної кислоти, яку можна було б добути теоретично з цього Сульфору — 144 т.



<sup>1</sup> Між Сульфуром S і сульфатною кислотою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (за кількістю Сульфору) існує взаємно однозначна відповідність, яку будемо позначати знаком  $\longleftrightarrow$ .

Із запису видно, що 32 г (32 кг, 32 т) Сульфуру відповідають 98 г (98 кг, 98 т) сульфатної кислоти  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , а 144 т Сульфуру —  $x$  т сульфатної кислоти, отже:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{144 \text{ т} \cdot 98 \text{ т}}{32 \text{ т}} = 441 \text{ т}.$$

### 3. Обчислюємо вихід сульфатної кислоти.

Ми бачимо, що теоретично можна було б добути 441 т сульфатної кислоти, а фактично добули лише 405 т. Отже, відношення практично добутого продукту до теоретично можливого і буде виходом продукту:

$$\text{вихід}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{405 \text{ т}}{441 \text{ т}} = 0,918, \text{ або } 91,8 \ \%.$$

Відповідь: вихід сульфатної кислоти становить 91,8 %.

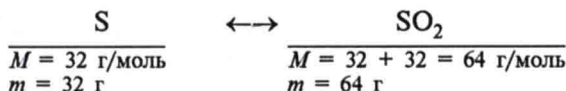
**Задача 2.** Обчислити масу діоксиду сульфуру, яку можна добути з 1 т сірчаного колчедану з масовою часткою Сульфуру 45 %, якщо вихід  $\text{SO}_2$  становить 98 %.

Дано:	$m(\text{FeS}_2) = 1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}$ $w(\text{S}) = 45 \% = 0,45$ $\text{вихід}(\text{SO}_2) = 98 \%$
$m(\text{SO}_2) = ?$	

1. Обчислюємо масу Сульфуру, що міститься в 1 т колчедану:

$$m(\text{S}) = 1000 \text{ кг} \cdot 0,45 = 450 \text{ кг}.$$

2. Знаходимо, яку масу  $\text{SO}_2$  можна добути з 450 кг Сульфуру теоретично:



Теоретично виходить, що з будь-якої маси Сульфуру S утворюється вдвічі більше діоксиду сульфуру  $\text{SO}_2$ , тобто з 450 кг S утворюється 900 кг  $\text{SO}_2$ :

32 кг S — 64 кг $\text{SO}_2$ 450 кг S — $x$	$x = 900 \text{ кг}(\text{SO}_2)$
---	-----------------------------------

3. Знаходимо масу діоксиду сульфуру, яка фактично утворилась.

Теоретичний вихід  $\text{SO}_2$ , що становить 900 кг, приймаємо за 100 %, або за одиницю, тоді практичний вихід, який ми шукаємо, становитиме 98 %, або 0,98, звідси:

$$m(\text{SO}_2) = 900 \text{ кг} \cdot 0,98 = 882 \text{ кг}.$$

Відповідь: маса  $\text{SO}_2$ , якщо вихід 98 %, становить 882 кг.

---

### Завдання для самоконтролю

48. Обчисліть масу безводної сульфатної кислоти, яку можна було б добути з 800 т сірчаного колчедану з масовою часткою Сульфуру 45 %, якби вихід кислоти був стовідсотковим.

49. Із 100 т сірчаного колчедану з масовою часткою Сульфуру 48 % добувають 132,3 т сульфатної кислоти. Визначте вихід кислоти.

50. Обчисліть вихід сульфатної кислоти, якщо з 800 т сірчаного колчедану з масовою часткою Сульфуру 46 % добуто її масою 1000 т.

51. Яку масу сірки спалено, якщо добуто діоксид сульфуру об'ємом  $89,6 \text{ м}^3$  (н. у.), що становить 80 % від теоретично можливого виходу?

52\*. Обчисліть масу розчину сульфатної кислоти з масовою часткою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  80 %, який можна добути, використовуючи 2 кг руди, що містить пірит і домішки. Масова частка домішок у руді становить 40 %. Вихід кислоти з руди дорівнює 90 %.

## § 9. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА НІТРОГЕНУ І ФОСФОРУ

**Історичні відомості.** Відкриття азоту  $N_2$ , молекули якого складаються з елемента Нітрогену N, приписують шотландському вченому Данієлю Резерфорду, який у 1772 р., досліджуючи частину повітря, що залишилася під дзвоном, де кілька днів жила миша, встановив, що це «повітря» не підтримує ні дихання, ні горіння. Він вважав, що воно насичене флогістоном, і назвав його «отруйним повітрям».

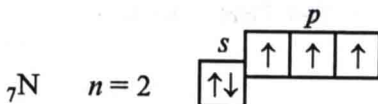
Майже у цей самий час азот добули К. Шеєле, Дж. Прістлі, Г. Кавендіш. Проте всі ці видатні вчені були переконаними прихильниками теорії флогістону і з ним пов'язували властивості «отруйного повітря». Лише А. Лавуазьє, який вів наступ на флогістон, у 1776 р. дослідив цей газ і довів, що він є простою речовиною, а згодом і запропонував для нього назву *азот* — «безжиттєвий» (від грец. слів «*a*» — заперечення і «*зоє*» — життя).

Фосфор було відкрито у 1669 р. Хеннінгом Брандом, алхіміком з Гамбурга, який намагався відшукати філософський камінь, за допомогою якого старі люди нібито молодшають, хворі видужують, а неблагородні метали перетворюються на золото. Під час одного з дослідів Х. Бранд випарив сечу, залишок змішав з вугіллям та піском і продовжував випарювати. Невдовзі у колбі утворилася речовина, що світилася у темряві (фосфор — від грец. *світлоносний*).

Нітроген і Фосфор — типові елементи V групи періодичної системи, належать до головної підгрупи.

- Пригадайте будову атомів Нітрогену і Фосфору на основі положення цих елементів у періодичній системі й запишіть схеми будови їх атомів і електронні формули.

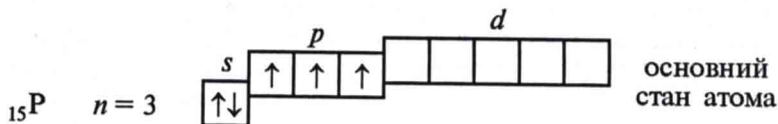
**Електронна будова.** Електронні формули Нітрогену  $1s^2 2s^2 2p^3$  і Фосфору  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$  показують, що в їхніх атомах на зовнішньому електронному шарі міститься по 5 електронів. В атомі Нітрогену вони розміщені на орбіталах у такий спосіб:



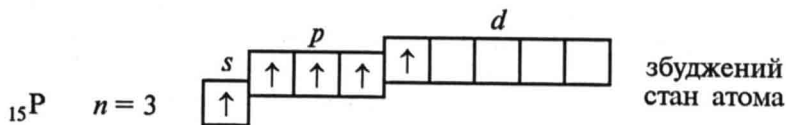
Ступінь окиснення Нітрогену в сполуках може бути від  $-3$  (коли атом відтягує 3 електрони від атома менш електронегативного елемента) до  $+5$  (коли 1, 2, 3, 4 або всі 5 валентних електронів відтягуються до атомів більш електронегативних елементів, ніж Нітроген).

- Напишіть формули сполук Нітрогену з Гідрогеном і Оксигеном, де Нітроген виявляє різні ступені окиснення, і в кожному з випадків поясніть, чим зумовлений даний ступінь окиснення атома Нітрогену.

Атом Фосфору має подібну електронну будову зовнішнього електронного шару:



Відмінність полягає у тому, що в атомі Фосфору на зовнішньому електронному шарі є вільні  $d$ -орбіталі, це дає можливість йому переходити у збуджений стан (порівняйте з Сульфуром):

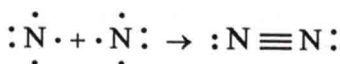


Згідно з кількістю неспарених електронів у основному і збудженому станах атом Фосфору в сполуках може виявляти ступені окиснення  $-3, +3, +5$ .

- Напишіть формули сполук Фосфору з Гідрогеном і Оксигеном, де Фосфор виявляє зазначені ступені окиснення, і поясніть, чим вони зумовлені.
- Як ви можете пояснити той факт, що для атома Нітрогену збуджений стан неможливий. Чому?



Елемент Нітроген у вільному стані існує у формі простої речовини — азоту. Молекула азоту двохатомна  $N_2$ . Атоми Нітрогену об'єднуються один з одним за допомогою трьох електронних пар і утворюють міцний потрійний зв'язок (три ковалентні зв'язки):

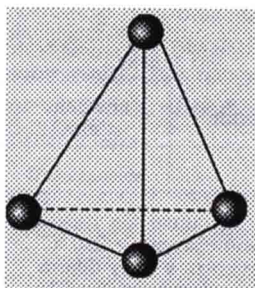


**Фізичні властивості.** За стандартних умов азот — газ без кольору і запаху. Молекули його неполярні, тому взаємодія між ними слабка, вона не може перешкодити їхньому хаотичному рухові. Цим пояснюється газуватий стан азоту за стандартних умов і це є причиною того, що азот зріджується ( $-196\text{ }^\circ\text{C}$ ) і твердне ( $-210\text{ }^\circ\text{C}$ ) за дуже низьких температур. У твердому стані має молекулярні кристалічні ґратки. неполярністю молекул азоту пояснюється його низька розчинність у воді (в 1 об'ємі води за  $20\text{ }^\circ\text{C}$  розчиняється 0,0154 об'єми азоту). Він трохи легший за повітря, маса 1 л азоту дорівнює 1,25 г.

Хімічний елемент Фосфор, на відміну від Нітрогену, утворює кілька простих речовин, які помітно різняться за властивостями.

Це — білий, червоний і чорний фосфор.

*Білий фосфор* — м'яка кристалічна речовина, у чистому вигляді зовсім безбарвна і прозора, але зазвичай жовтуватого кольору (схожа на віск), летка, має запах часнику, легкоплавка ( $t_{\text{пл.}} = 44\text{ }^\circ\text{C}$ ) і легкозаймиста. Має молекулярні кристалічні ґратки, у вузлах яких розміщені тетраедричні молекули  $P_4$  (мал. 4). У воді не розчиняється. Розчиняється у сірковуглеці  $CS_2$  та бензені. У темряві на повітрі світиться зеленкувато-жовтим світлом



Мал. 4. Будова молекули білого фосфору

(люмінесценція), при цьому виділяється теплота (хімічна енергія перетворюється на світлову). Таке явище спричинюється повільним окисненням. Теплота, що виділяється при цьому, може розплавити фосфор і призвести до його займання. Через це білий фосфор зберігають під водою. Під

час нагрівання або на світлі він перетворюється на червоний фосфор.

**Білий фосфор** — надзвичайно отруйна речовина, навіть у малих дозах (50 мг) діє смертельно!

**Червоний фосфор** — порошок від темно-коричневого до червоного і фіолетового кольору, з атомними кристалічними ґратками (структура до кінця не з'ясована), без запаху, не отруйний, на повітрі окиснюється повільно, у темряві не світиться, загоряється лише за 260 °С. Легко вбирає вологу (гігроскопічний), але у воді і в сірковуглеці  $CS_2$  не розчиняється. Під час нагрівання без доступу повітря випаровується, а при охолодженні його пара перетворюється на білий фосфор.

**Чорний фосфор** — речовина, схожа на графіт, має шарувату будову, металічний блиск, виявляє властивості напівпровідника, не отруйний. Це найстійкіша алотропна форма. Утворюється з білого фосфору при тривалому нагріванні (200 °С) під великим тиском (1220 МПа).

**Таблиця 3. Властивості алотропів Фосфору**

Алотропи Фосфору / Ознаки для порівняння	Білий фосфор	Червоний фосфор	Чорний фосфор
Колір	білий	від коричневого до фіолетового	сіро-чорний
Запах	часнику	без запаху	
Твердість	схожий на віск	твердий	відносно м'який
Характер алотропа	неметалічний		металічний
Температура плавлення	44 °С	плавиться лише під тиском, за температури > 280 °С переходить у пару білого фосфору	
Розчинність	мало в $H_2O$ , добре в $CS_2$	нерозчинні	
Реакційна здатність	висока	низька	середня
Люмінесценція	зеленкувате світіння	—	—
Кристалічні ґратки	молекулярні $P_4$	атомні	атомні

Утворення Фосфором кількох алотропних форм пояснюється різним розміщенням атомів один відносно одного у кристалічних ґратках.

У природі Нітроген зустрічається як у вільному стані, так і у зв'язаному. У вільному стані Нітроген у вигляді азоту входить до складу повітря (об'ємна частка  $N_2$  становить 78 %, масова — 75,6 %). Оскільки азот з повітря витрачається мало, його запаси в атмосфері залишаються сталими. У вигляді неорганічних сполук Нітроген у невеликих кількостях є в ґрунті. Проте у вигляді складних органічних сполук — білків — він увіходить до складу всіх живих організмів, беручи участь у їх життєдіяльності.

На відміну від Нітрогену Фосфор зустрічається в природі тільки в сполуках (чому?). Найважливіші мінерали, до складу яких уходить фосфат кальцію  $Ca_3(PO_4)_2$ , — це фосфорити й апатити. Найбільше у світі родовище апатитів на Кольському півострові у Хібінських горах.

В Україні родовища фосфоритів зустрічаються у Придністров'ї, на Харківщині, в Чернігівській та Запорізькій областях.

Елемент Фосфор — важливий складовий елемент організму людини, тварин і рослин. З рослин найбагатші на Фосфор бобові, соняшник і горіхи. В організмі людини Фосфор виявлений в усіх тканинах, особливо у нервовій і кістковій. Він входить до складу деяких ферментів, міститься в зубах. Фосфор — життєво важливий елемент для всіх організмів.

---

### Завдання для самоконтролю

53. Яке місце у періодичній системі елементів займають Нітроген і Фосфор? Як це пов'язано з будовою їхніх атомів?

54. Запишіть електронну формулу атома Нітрогену. В чому подібність і відмінність будови атома Нітрогену й атомів Оксигену та Флуору?

55. Покажіть графічно будову зовнішнього електронного шару атома Нітрогену та атома Фосфору. Що ви вбачаєте спільного і чим вони різняться між собою?

56. Які ступені окиснення властиві Нітрогену? Як їх можна пояснити? Визначте валентність і ступінь окиснення Нітрогену в молекулі азоту  $N_2$ .

57. Якого типу кристалічні ґратки в азоту? На підставі яких фізичних властивостей азоту можна про це робити висновок?

58. Доведіть розрахунком, що азот трохи легший за повітря.

59. Обчисліть густину азоту за воднем.

60. Що таке алотропія? Схарактеризуйте найголовніші алотропні форми Фосфору. Розкрийте причину відмінності їхніх властивостей.

61. Як ви гадаєте, чому азот — газ, а фосфор — тверда речовина?

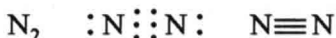
62. Порівняйте алотропію Оксигену і Фосфору. Що тут спільного і в чому відмінність?

63. Розкрийте фізіологічну роль Нітрогену і Фосфору.

64. У якому вигляді Нітроген і Фосфор зустрічаються в природі і чому?

## § 10. ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АЗОТУ І ФОСФОРУ

Ви вже знаєте, що в молекулі азоту  $N_2$  за рахунок трьох неспарених електронів кожного з атомів утворюється потрійний зв'язок:



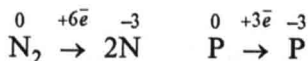
Через це молекула азоту дуже міцна. Потрібно витратити велику кількість енергії на руйнування зв'язку, щоб почалася реакція. Тому молекулярний азот, як правило, вступає в хімічну взаємодію за високих температур.

Фосфор хімічно активніший, ніж азот. Хімічна активність фосфору залежить від алотропної форми. Так, найактивніший білий фосфор. Ви знаєте, що він легко окиснюється на повітрі і світиться в темряві, може самовільно спалахувати. Червоний фосфор менш активний. Він окиснюється під час нагрівання. Ще менш активний — чорний фосфор.

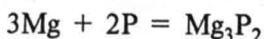
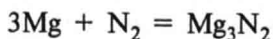
У рівняннях хімічних реакцій білий фосфор звичайно позначають формулою  $P_4$ , що відповідає складу його молекули. Червона і чорна алотропні форми фосфору позначаються символом P. Такий самий символ використовують, коли форма невідома або може бути будь-якою. Це хімічна формула фосфору, умовна для всіх його алотропних форм.



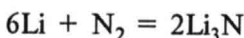
Оскільки Нітроген і Фосфор у сполуках можуть виявляти як позитивний, так і негативний ступені окиснення, їхні прості речовини в реакціях можуть бути як окисниками, так і відновниками. Азот і фосфор поведуться як окисники відносно найактивніших металів і водню. При цьому



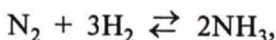
**1. Взаємодія з металами.** Азот і фосфор під час нагрівання реагують з багатьма металами, утворюючи відповідно *нітриди* і *фосфіди*:



Лише з літієм азот реагує за звичайної температури, утворюючи нітрид літію:

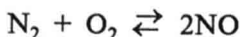


**2. Взаємодія з неметалами:** а) з воднем азот сполучається за наявності каталізатора, високих тиску і температури, утворюючи *аміак*:

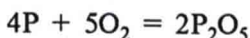


а фосфор з воднем практично не взаємодіє;

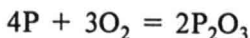
б) з киснем азот сполучається за температури електричної дуги, понад 2000 °С, утворюючи оксид нітрогену(II):



Фосфор енергійно взаємодіє з киснем. Якщо його підпалити, він згоряє в кисні сліпучим яскравим полум'ям, утворюючи оксид фосфору(V):



Під час повільного окиснення утворюється оксид фосфору(III):



**Застосування.** Азот у великих кількостях використовується для добування *аміаку* і для наповнення електроламп (інертне середовище).



Білий фосфор широкого застосування не має. Його використовують для добування інших алотропних форм, фосфатних кислот, як бойову запалювальну речовину, а також для утворення димових завіс.

Червоний фосфор використовується для виробництва сірників.

У 1831 р. французький винахідник сірників Шарль Соріа почав застосовувати білий фосфор для виготовлення сірникових головок. Такі сірники легко займалися під час тертя об будь-яку поверхню, але були отруйними, шкідливими для здоров'я і вогнебезпечними. Невдовзі від них відмовились.

Сучасні безпечні сірники винайдено у 1855 р. в Швеції. Білий фосфор замінено червоним. Він входить не до складу головки сірника, а до складу намазки, що наноситься на коробку (разом із сульфідом стибію(III)  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ , залізним суриком  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , домішкою кварцу  $\text{SiO}_2$  і клею). Головки сірників складаються, головним чином, з бертолетової солі  $\text{KClO}_3$ , молотого скла, сірки та клею. Під час тертя головки по намазці сірникової коробки червоний фосфор займається, підпалює головку, а від неї загоряється дерево.

Крім виробництва сірників, фосфор застосовують у металургії. Використовують його і для виготовлення напівпровідників, фосфорорганічних препаратів — засобів знищення комах — шкідників сільськогосподарських рослин.

---

### Завдання для самоконтролю

**65.** Запишіть рівняння реакцій, які характеризують хімічні властивості азоту і фосфору. Яка з цих речовин хімічно активніша і чому?

**66.** На кальцій кількістю речовини 1,5 моль за високої температури подіяли азотом кількістю речовини 1 моль. Які речовини і в якій кількості можна виявити після закінчення реакції?

**67.** Обчисліть, чи вистачить 100 л кисню (н. у.) для спалювання 100 г фосфору.

**68.** З 5 т фосфату кальцію, якщо вихід продукту становить 90 % від теоретичного, можна добути фосфор масою

(а) 0,9 т;

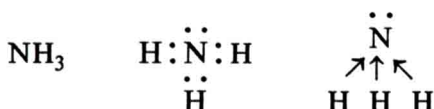
(в) 4 т;

(б) 2 т;

(г) 0,4 т.

## § 11. АМІАК

**Будова молекули.** Молекула аміаку  $\text{NH}_3$  являє собою *диполь*: спільні електронні пари дуже зміщені до атома Нітрогену (чому?):

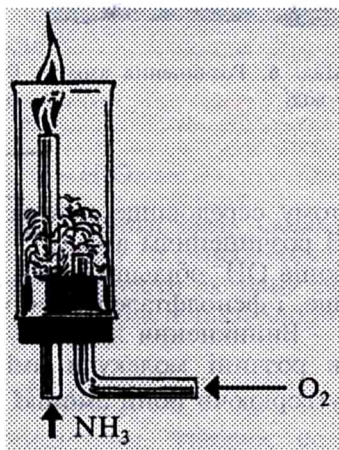


- Зазначте електронні формули атомів Нітрогену і Гідрогену, покажіть графічно розміщення електронів по орбіталях і поясніть, якими електронами утворюється ковалентний зв'язок у молекулі аміаку і чому він полярний. Яка валентність і ступінь окиснення Нітрогену в аміаку?

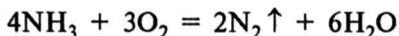
**Фізичні властивості.** Аміак  $\text{NH}_3$  — безбарвний газ, з різким запахом, набагато легший за повітря, дуже добре розчиняється у воді (за  $20^\circ\text{C}$  в 1 об'ємі води — 700 об'ємів  $\text{NH}_3$ ), за температури, нижчій за  $-33,4^\circ\text{C}$  переходить у рідкий стан. Дуже уражує слизові оболонки очей і дихальних шляхів.

**Хімічні властивості.** Для аміаку характерні реакції окиснення і приєднання.

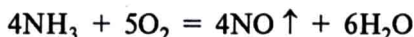
**1. Окиснення аміаку.** Аміак, маючи низький ступінь окиснення Нітрогену  $-3$ , поводить себе як відновник. Відновні властивості аміаку виявляються під час горіння його в кисні (мал. 5).



Мал. 5. Горіння аміаку

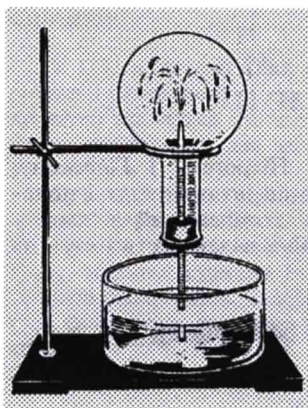


За наявності каталізатора (Pt) реакція окиснення аміаку змінюється: замість вільного азоту утворюється оксид нітрогену(II) NO:



- Складіть для наведених рівнянь електронний баланс, обґрунтуйте розстановку коефіцієнтів і доведіть, що аміак в обох випадках — відновник.

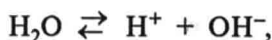
**2. Взаємодія з водою.** Аміак добре розчиняється у воді, утворюючи *аміачну воду*. Висока розчинність аміаку пояснюється тим, що він реагує з водою. Якщо суху колбу, заповнену аміаком і закриту пробкою зі вставленою трубкою з відтягнутим кінцем, занурити у воду, до якої додано кілька крапель розчину фенолфталеїну, то з безбарвної рідини починає бити малиновий «фонтан» (мал. 6). Забарвлення аміачної води свідчить про те, що водний розчин аміаку має лужну реакцію.



Мал. 6. Розчинення аміаку у воді

Як це можна пояснити?

У воді концентрації йонів Гідрогену  $\text{H}^+$  і гідроксид-іонів  $\text{OH}^-$  — однакові:



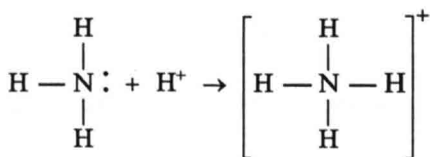
тому середовище нейтральне, і фенолфталеїн безбарвний. З розчиненням аміаку  $\text{NH}_3$  у воді концентрація гідроксид-іонів  $\text{OH}^-$  збільшується, отже, утворюється лужне середовище, і фенолфталеїн стає малиновим.

Виникнення лужного середовища пояснюється тим, що в розчині молекули аміаку приєднують йони Гідрогену, утворюючи йони амонію  $\text{NH}_4^+$ .



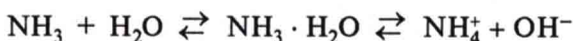
При цьому вивільнюються з води гідроксид-іони  $\text{OH}^-$ , що й надає розчину лужної реакції.

Кожний йон амонію  $\text{NH}_4^+$  має чотири ковалентні зв'язки. Три з них утворюються за рахунок трьох неспарених електронів, які є на  $p$ -орбіталях зовнішнього електронного шару атома Нітрогену. Четвертий зв'язок утворюється за донорно-акцепторним механізмом між атомом Нітрогену аміаку (донор) та йоном Гідрогену (акцептор):



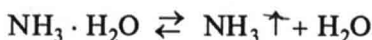
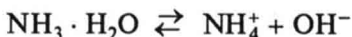
Усі чотири зв'язки Нітроген-Гідроген N — H в йоні амонію рівноцінні, незважаючи на різні механізми їхнього утворення.

Взаємодія аміаку з водою відбувається за рівнянням:



Але в розчині лише невелика частина молекул  $\text{NH}_3$  перетворюється на йони амонію  $\text{NH}_4^+$ . Тому аміачна вода пахне аміаком.

Аміачну воду позначають формулою  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  і називають гідроксидом амонію, або нашатирним спиртом. Він належить до слабких і нестійких основ:



**3. Взаємодія з кислотами.** Якщо змочити одну скляну паличку концентрованим розчином аміаку, а іншу — концентрованою хлоридною кислотою і піднести їх одну до одної, то з'являється білий дим — дрібні кристалики хлориду амонію (нашатирю):

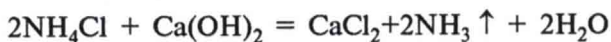


Отже, аміак, взаємодіючи з кислотами, утворює солі амонію.

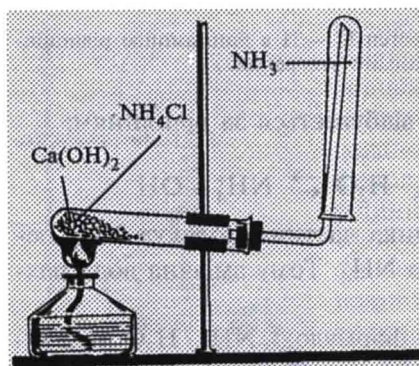
- Напишіть рівняння реакцій між аміаком і: а) нітратною, б) сульфатною кислотами. Які солі амонію при цьому утворюються?
- Що спільного і відмінного між речовинами, назви яких «нашатир» і «нашатирний спирт»?

**Добування.** У лабораторії аміак добувають із суміші твердих речовин — нашатирю  $\text{NH}_4\text{Cl}$  і гашеного вапна  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (мал. 7) за рівнянням:





- Чому для добування аміаку беруть сухі речовини, а не їхні розчини? Чому збирають аміак у пробірку, перевернену догори дном?



Мал. 7. Добування аміаку в лабораторії

**Застосування.** Аміак — важливий продукт хімічної промисловості. Його використовують як добриво і для виробництва азотних добрив, а також нітратної кислоти, вибухових речовин, соди. Як холодоагент аміак застосовують у холодильниках.

У вигляді аміачної води він використовується у медицині під назвою «нашатирний спирт». Вдихання малих кількостей аміаку

стимулює роботу серця і нервової системи, тому нашатирний спирт дають нюхати при знепритомленні та отруєннях, наприклад чадним газом  $\text{CO}$ . Як слабкий луг аміачну воду широко застосовують у хімічних лабораторіях, а також у побуті: під час прання білизни, для виведення плям, чищення килимів і ювелірних виробів.

### Завдання для самоконтролю

69. Які фізичні властивості аміаку? Як його добувають у лабораторних умовах? Напишіть відповідне рівняння реакції.

70. Чи можна зібрати аміак способом: а) витіснення повітря; б) витіснення води? Чому?

71. Зазначте електронні конфігурації атомів Нітрогену і Гідрогену та поясніть, якими електронами утворюються ковалентні зв'язки в молекулі аміаку і чому вона полярна. Яка валентність і який ступінь окиснення Нітрогену в аміаку?

72. Які реакції аміаку з іншими речовинами ведуть до утворення йонів амонію?

73. В якому напрямі (на підставі принципу Ле Шательє) зміститься рівновага реакції аміаку з водою під час: а) нагрівання; б) охолодження; в) додавання кислоти; г) додавання лугу?



74. На каталітичне окиснення аміаку кількістю речовини 2 моль витрачається кисень об'ємом (н. у.)

- (а) 11,2 л; (в) 28 л;  
(б) 22,4 л; (г) 56 л.

75. Під час взаємодії нашатирю з гашеним вапном масою 370 кг виділяється аміак об'ємом (н. у.)

- (а) 11,2 м<sup>3</sup>; (в) 224 м<sup>3</sup>;  
(б) 22,4 м<sup>3</sup>; (г) 448 м<sup>3</sup>.

76\*. Прокип'ятили 200 г розчину з масовою часткою аміаку в ньому 25 %. При цьому 20 г аміаку звітрилося. Якою стала масова частка аміаку в розчині? Яка маса хлороводню потрібна для його нейтралізації?

## § 12. СОЛІ АМОНІЮ

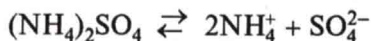
Солі амонію — це кристалічні речовини з йонним типом зв'язку. До складу солей амонію входять один або кілька катіонів амонію і аніон кислотного залишку.

- Напишіть формули трьох солей амонію і зазначте назву кожної з них.

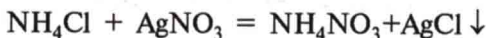
**Фізичні властивості.** Солі амонію — тверді кристалічні речовини, що за зовнішнім виглядом нагадують солі лужних металів. У воді добре розчиняються.

**Хімічні властивості.** Солі амонію виявляють типові для всіх солей властивості і деякі специфічні.

**1. Дисоціація на йони.** Як сильні електроліти солі амонію у водному розчині добре дисоціюють на йони:

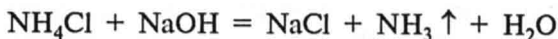


**2. Взаємодія з іншими солями.** Якщо в пробірку з розчином хлориду амонію долити розчин нітрату аргентуму, то випадає сирнистий (схожий на зсіле молоко) білий осад:



- Ви переконалися, що солі амонію вступають у реакцію йонного обміну з іншими солями. Напишіть наведене рівняння у повній і скороченій йонних формах. Пригадайте, яких умов треба дотримувати, щоб реакція обміну між двома солями відбулася до кінця, тобто практично була б необоротною. Чи витримані такі умови у даному разі?

**3. Взаємодія з лугами.** В результаті взаємодії солей амонію з лугами утворюється аміак, через що дану реакцію використовують як якісну на солі амонію:



Виділення аміаку  $\text{NH}_3$  — характерна ознака для розпізнавання солей амонію.

### *Лабораторна робота 3*

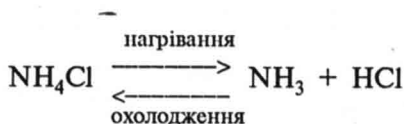
#### **Виявлення йонів амонію в розчині**

Налийте в пробірку 2 мл розчину сульфату амонію і додайте до нього стільки ж розчину гідроксиду натрію. Нагрійте рідину в пробірці до кипіння й обережно понюхайте газ, що виділяється. Піднесіть до отвору пробірки червоний лакмусовий папірець, змочений водою. Що спостерігається? Чому? Напишіть рівняння реакції.

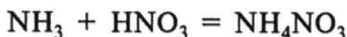
Отже, якісною реакцією на солі амонію є дія лугів при нагріванні з виділенням аміаку, який виявляють за запахом або посинінням червоного вологого лакмусового папірця.

- Доведіть за допомогою йонного рівняння, що гідроксид-іони  $\text{OH}^-$  є реактивом на йони амонію  $\text{NH}_4^+$ .

#### **4. Розклад під час нагрівання:**



**Добування.** Солі амонію добувають внаслідок взаємодії аміаку або аміачної води ( $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) з кислотами:



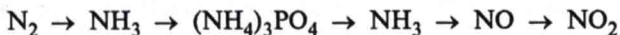
Як пояснити утворення диму? Дослід повторіть, взявши замість хлоридної концентровану нітратну кислоту. Напишіть рівняння проведених реакцій.

Коли нагрітий паяльник запурюють у нашатир  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , то сіль розкладається (див. вище). Утворений хлороводень  $\text{HCl}$  взаємодіє з оксидом купруму(II)  $\text{CuO}$ , що вкриває поверхню паяльника, внаслідок чого з'являється хлорид купруму(II)  $\text{CuCl}_2$ , який сплавляється з надлишком нашати-рю  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . В результаті поверхня паяльника звільняється від оксидів, і розплавлене олово прикипає до очищеної міді.

## Завдання для самоконтролю

78. Напишіть рівняння взаємодії аміаку з сульфатною кислотою. Зважте на те, що можуть утворитися як середня, так і кисла солі амонію. Поясніть, від чого це залежить.

**80.** Напишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:



(а) 11,2 л; (в) 33,6 л;  
(б) 22,4 л; (г) 44,8 л.

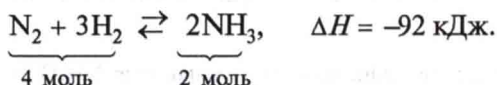
82. На 6,8 г аміаку подіяли хлороводнем. Добутий хлорид амонію розчинили у 200 г води. Масова частка  $\text{NH}_4\text{Cl}$  у добутому розчині становить

- (а) 9,7 %; (б) 10,7 % (в) 21,4 % (г) 53,5 %

83. Аміак об'ємом 11,2 л (н. у.) пропустили в розчин, який містить 35 г нітратної кислоти. Визначте маси речовин, що перебувають у розчині після завершення реакції.

### § 13. ПРОМИСЛОВИЙ СИНТЕЗ АМІАКУ

У промисловості аміак синтезують із простих речовин азоту  $\text{N}_2$  і водню  $\text{H}_2$ :



За яких умов здійснюється цей синтез, можна дізнатись з рівняння реакції. Але для виробництва цього замало, бо основним завданням є не просто добути аміак, а добути його найбільш економічним способом. Для цього необхідно з'ясувати *оптимальні умови синтезу*, тобто такі, за яких досягається найбільший вихід аміаку і процес здійснюється з великою швидкістю.

Звернімося до рівняння реакції. Що з нього видно?

Ми бачимо, що: 1) ця реакція є оборотною, отже, до кінця не доходить, у процесі реакції встановлюється хімічна рівновага; 2) реакція відбувається між газами зі зменшенням об'єму; 3) реакція екзотермічна, відбувається з виділенням теплоти.

Як же керувати такою реакцією, пам'ятаючи, що виробництво аміаку має бути економічно вигідним?

Згадаємо теорію, а саме — принцип Ле Шательє: якщо система перебуває у стані рівноваги, то в процесі дії на неї сил, що викликають зсув рівноваги, система переходить у такий стан, в якому ефект цього впливу послаблюється.

Виходячи з принципу Ле Шательє, розмірковуємо так: якщо реакція екзотермічна, то треба знизити температуру, щоб аміак не розклався. Але зі зниженням температури



швидкість реакції зменшиться. Це нібито не страшно, бо можна використати каталізатор. Проте відомо, що каталізатор виявляє свою активність лише із нагріванням до певної температури. Отже, знижувати температуру можна, але тільки до певної межі.

Далі звертаємо увагу, що реакція між газами відбувається зі зменшенням об'єму. Це означає, що рівновага зміщуватиметься у бік утворення аміаку за умови підвищеного тиску. Проте навіть за дуже високого тиску зв'язати весь азот і водень не вдається, а застосування високих тисків спричинює збільшення вартості обладнання і збільшення витрат енергії на стиснення газової суміші.

Виходячи з обговорення умов процесу, робимо висновок, що для синтезу аміаку треба:

а) застосувати невеликий тиск (30 МПа), який дає змогу змістити рівновагу в бік утворення аміаку;

б) використати каталізатор (губчасте залізо з домішками  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{K}_2\text{O}$ );

в) підвищити температуру (до 450—550 °C).

Такі умови вважаються оптимальними для економічно доцільного синтезу аміаку.

Реакція відбувається в колоні синтезу (див. форзац). Колона синтезу складається з теплообмінника (нижня частина) і каталізаторної коробки (верхня частина), діаметр якої дещо менший, ніж внутрішній діаметр корпусу колони. Отже, між каталізаторною коробкою і корпусом утворюється щілина. Холодна суміш азоту з воднем надходить у колону через цю щілину і запобігає перегріванню корпусу. Газова суміш іде донизу, проходить між гарячими трубками теплообмінника, нагрівається і потрапляє до каталізаторної коробки. Тут, на каталізаторі, відбувається синтез аміаку. При цьому виділяється багато теплоти. Гаряча суміш аміаку, азоту й водню надходить у трубки теплообмінника, тому вони гарячі. Відбувається *теплообмін*, теплота реакції *утилізується* — це один з важливих принципів сучасного виробництва.

Газ, що виходить з колони синтезу, містить 12—15 % аміаку. В такому разі не зрозуміло, чому синтез вважається економічно доцільним. Річ у тім, що далі в процесі виробництва використовують *принцип циркуляції*, за яким азот і водень, що не прореагували, відокремлюються від зрідженого аміаку і знову повертаються в колону синтезу. Завдяки



принципу циркуляції на сучасних заводах вихід аміаку становить 96—98 %.

В Україні перший завод з виробництва синтетичного аміаку став до ладу у 1933 р. в Горлівці Донецької області. Пізніше з'явилися заводи у Дніпродзержинську (1938), Сіверськодонецьку (1958), Черкасах (1962), Рівному (1965) тощо. Нині триває робота з дальшого вдосконалення технології аміачного виробництва.

### Завдання для самоконтролю

84. Які хімічні процеси лежать в основі лабораторного і промислового способів добування аміаку?

85. Назвіть оптимальні умови промислового синтезу аміаку. Як вони узгоджуються з принципом Ле Шательє? Дайте обґрунтовану відповідь, виходячи з рівняння реакції.

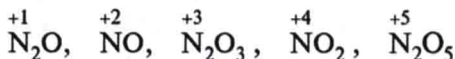
86. За кольоровим малюнком на форзаці спробуйте пояснити призначення кожного з апаратів технологічної схеми виробництва аміаку. Поясніть принцип дії колони синтезу.

87. Корпус колони синтезу аміаку зроблено із сталі. Відомо, що за високої температури і високого тиску водень і аміак руйнують сталь. Яке інженерне рішення дає змогу захистити колону від хімічного руйнування?

88. Який об'єм водню (н. у.) необхідний для виробництва аміаку масою 5 т, якщо вихід аміаку завдяки використанню циркуляції становить 95 %?

## § 14. ОКСИДИ НІТРОГЕНУ І ФОСФОРУ

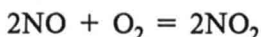
Нітроген з Оксигеном утворює п'ять оксидів, в яких він виявляє ступінь окиснення від +1 до +5:



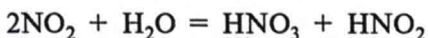
Різний кількісний склад оксидів нітрогену (і різна їхня будова) зумовлює відмінність їхніх властивостей.

Усі оксиди нітрогену дуже отруйні, за винятком  $\text{N}_2\text{O}$ . Серед них розглянемо оксид нітрогену(II)  $\text{NO}$  та оксид нітрогену(IV)  $\text{NO}_2$ .

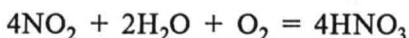
**Оксид нітрогену(II) NO** — безбарвний газ, без запаху, у воді не розчиняється. Належить до несолетвірних оксидів. На повітрі легко окиснюється, перетворюючись на бурий газ — діоксид нітрогену, або оксид нітрогену(IV) NO<sub>2</sub>:



**Оксид нітрогену(IV) NO<sub>2</sub>** — бурий газ із характерним запахом. Належить до солетвірних (кислотних) оксидів. Добре розчиняється у воді, бо реагує з нею, утворюючи суміш двох кислот — нітратної і нітритної:

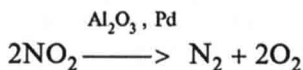


За наявності надлишку кисню у воді утворюється тільки нітратна кислота:



Бурій газ NO<sub>2</sub> отруйний, подразнює слизові оболонки очей і дихальних шляхів. Він є шкідливим відходом хімічного виробництва. У вигляді «лисячого хвоста» бурий газ викидається в атмосферу заводами, що виробляють нітратну кислоту, і є шкідливим для всього живого.

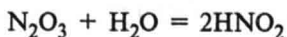
Тепер знайдено ряд хімічних способів боротьби з «лисячими хвостами» й захисту навколишнього середовища. Наприклад, оксид нітрогену(IV), що міститься у відхідних газах, розкладається за допомогою каталізатора (паладова-ний оксид алюмінію) на азот і кисень:



Такий спосіб боротьби із забрудненням атмосфери застосовують нині на багатьох сучасних підприємствах.

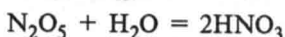
**Оксид нітрогену(I) N<sub>2</sub>O** — безбарвний газ із приємним запахом. Належить до несолетвірних оксидів. Під назвою «веселильний газ» N<sub>2</sub>O у суміші з киснем використовується в медицині для наркозу. Не отруйний.

**Оксид нітрогену(III) N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** — нестійка темно-синя рідина за низьких температур, солетвірний (кислотний) оксид, розчиняючись у воді, утворює нітритну кислоту:



Нітритна кислота є слабкою одноосновною кислотою. Її солі — нітри-ти (наприклад,  $\text{NaNO}_2$  — нітрит натрію) отруйні.

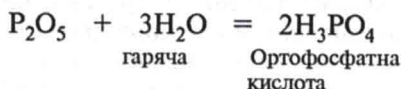
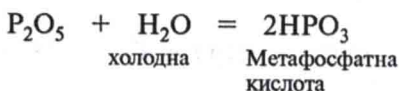
Оксид нітрогену(V)  $\text{N}_2\text{O}_5$  — білі кристали, також солетвірний (кислот-ний) оксид, реагує з водою, утворюючи нітратну кислоту:



Нітратна кислота являє собою сильну одноосновну кислоту. Її солі — нітрати (наприклад,  $\text{NaNO}_3$  — нітрат натрію) також отруйні.

З оксидів фосфору ( $\text{P}_2\text{O}_5$  і  $\text{P}_2\text{O}_3$ ) найбільше значення має оксид фосфору(V).

**Оксид фосфору(V)  $\text{P}_2\text{O}_5$**  — білий дрібнокристалічний по-рошок, дуже гігроскопічний, тому застосовується для осу-шування газів. Типовий кислотний оксид. Енергійно реагує з водою, утворюючи різні фосфатні кислоти, залежно від співвідношення і температури води:



$\text{HPO}_3$  — найпростіша формула, якою умовно виражають склад мета-фосфатних кислот — із загальною формулою  $(\text{HPO}_3)_n$ . У даному разі під час взаємодії оксиду фосфору(V) з холодною водою утворюється тетраме-тафосфатна кислота:



- Оксид фосфору(V) і оксид нітрогену(V) — типові кислотні оксиди. Напишіть рівняння їх взаємодії з типовими основними оксидами і лугами.

## § 15. НІТРАТНА І ФОСФАТНА КИСЛОТИ

**Фізичні властивості.** Безводна нітратна кислота  $\text{HNO}_3$  — безбарвна летка рідина, з різким запахом, на повітрі «димить», дуже добре розчиняється у воді, змішуючись з нею у будь-яких співвідношеннях.

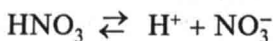
Ортофосфатна кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , яку звичайно називають просто фосфатною, — тверда, безбарвна, кристалічна речо-

вина, нелетка, також добре розчиняється у воді і змішується з нею у будь-яких співвідношеннях.

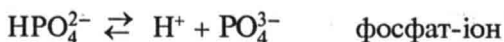
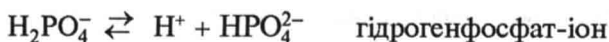
## Хімічні властивості

### 1. Дія на індикатори.

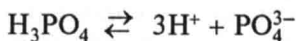
2. Дисоціація на йони. Нітратна кислота — сильний електроліт, у водному розчині практично повністю дисоціює на йони:



Фосфатна кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$  — електроліт середньої сили. У водному розчині вона дисоціює ступінчасто:



Сумарне йонне рівняння дисоціації фосфатної кислоти:



Дисоціація відбувається переважно за першим ступенем, за другим — менше, за третім — ще менше.

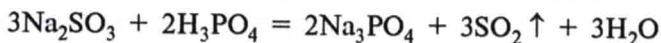
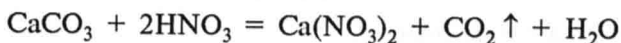
- Які кислі солі може утворювати фосфатна кислота з магнієм? Напишіть формули таких солей і назвіть їх. Чому нітратна кислота не утворює кислих солей?

3. Взаємодія з основними оксидами й основами. У даному разі нітратна і фосфатна кислоти виявляють властивості, типові для кислот.

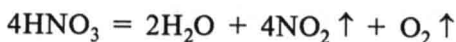
- Напишіть рівняння реакцій нітратної і фосфатної кислот з оксидами натрію і барію та гідроксидами калію і кальцію.
- Як, на ваш погляд, взаємодіють нітратна і фосфатна кислоти з амфотерними гідроксидами? Відповідь обґрунтуйте, підтвердивши, де можливо, рівнянням реакції.

4. Взаємодія з солями. Нітратна й фосфатна кислоти вступають у реакцію з обмеженою кількістю солей. Це пояснюється тим, що нітратна кислота сильна, але летка, а

фосфатна кислота середньої сили, але нелетка. Взаємодія нітратної та фосфатної кислот з солями відбувається за умови, що береться сіль слабкішої або леткішої кислоти:



**5. Термічний розклад.** Нітратна кислота під час нагрівання (і під впливом світла) розкладається з виділенням бурого газу  $\text{NO}_2$ , через що у процесі зберігання поступово жовтіє:

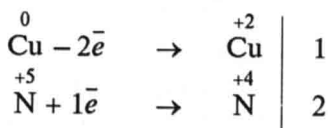
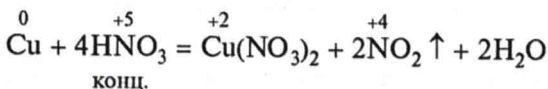


Під час нагрівання фосфатної кислоти з неї виділяється вода й утворюється дифосфатна кислота:



**6. Взаємодія з металами.** Нітратна кислота реагує з металами інакше, ніж інші кислоти. Це пояснюється тим, що нітратна кислота — сильний окисник. Вона окиснює майже всі метали (за винятком золота, платини та деяких інших), перетворюючи їх на солі — нітрати. При цьому *водень не виділяється*, бо відновлюється Нітроген, а не Гідроген. Нітроген відновлюється тим повніше, чим активніший метал і чим розбавленіша кислота. Отже, продукти відновлення нітратної кислоти можуть бути різні. Проте концентрована кислота відновлюється, як правило, до  $\text{NO}_2$  в разі взаємодії з важкими металами.

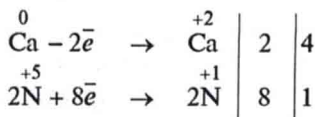
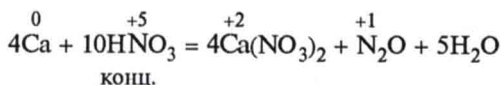
Якщо на дно колби опустити обрізки мідного дроту і долити до них концентрованої нітратної кислоти (у витяжній шафі), то одразу ж почне виділятися бурий газ  $\text{NO}_2$ , а розчин забарвиться у синій колір:



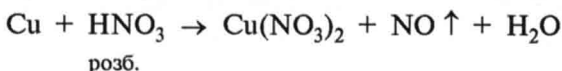


У даному разі Нітроген  $\overset{+5}{\text{N}}$  відновлюється до ступеня окиснення  $+4$ , а мідь окиснюється. Отже, мідь — відновник, а  $\text{HNO}_3$  — окисник.

У процесі взаємодії концентрованої нітратної кислоти з активними металами (лужними та лужноземельними) утворюється оксид нітрогену(I)  $\text{N}_2\text{O}$ , наприклад:



Якщо ж узяти розбавлену нітратну кислоту, то під час взаємодії з міддю<sup>1</sup> замість оксиду нітрогену(IV)  $\text{NO}_2$  виділяється оксид нітрогену(II)  $\text{NO}$ :



- У наведеній схемі реакції розставте коефіцієнти на підставі електронного балансу. Зазначте окисник і відновник.

Завдяки яскраво вираженим окисним властивостям нітратна кислота, діючи на деякі метали (алюміній, хром, залізо), пасивує їх. Це особливо характерно для концентрованої  $\text{HNO}_3$ . Під її впливом на поверхні металів утворюється дуже щільна захисна оксидна плівка, стійка проти дії кислоти.

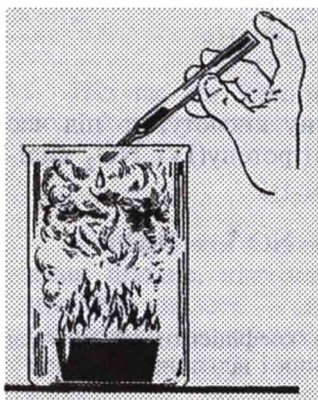
Нітратна кислота настільки сильний окисник, що вона може окиснювати різні органічні речовини і матеріали. Так, під час дії концентрованої нітратної кислоти спалахують солома, папір, тирса, скипидар (мал. 8). Вона руйнує вовну, роз'їдає шкіру, забарвлює її у жовтий колір і спричинює на ній виразки, що не можуть довго загоїтися. Тому з нітратною кислотою треба поводитися дуже обережно.

<sup>1</sup> У разі взаємодії з розбавленою нітратною кислотою активних металів ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Zn}$ ) утворюються сполуки Нітрогену нижчих ступенів окиснення ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ).

Фосфатна кислота, на відміну від нітратної, окисні властивості виявляє набагато слабше, тому реагує тільки з активними металами, утворюючи сіль і водень:



Фосфат магнію — нерозчинна сіль, викликає пасивацію металу, і реакція припиняється. А в надлишку кислоти реакція відбувається, але з утворенням кислої солі<sup>1</sup>:



Мал. 8. Займання скипидару в нітратній кислоті

**Застосування.** Нітратну кислоту використовують для виробництва добрив, барвників, пороху та інших вибухових речовин, пластмас, штучного волокна, лікарських препаратів (стрептоцид), кіно- і фотоплівки. Вона застосовується і як сильний окисник у самозаймистих ракетних паливах.

Фосфатна кислота також використовується для виробництва добрив, а крім того — для виробництва кормових добавок, як каталізатор в органічному синтезі, для надання кислуватого смаку безалкогольним н

### Завдання для самоконтролю

89. Напишіть рівняння реакцій концентрованої і розбавленої нітратної кислоти зі сріблом.

90. Наведіть по три способи добування: а) нітрату купрум(II); б) фосфату магнію.

91. Складіть рівняння реакції між нітратною кислотою і гідроксидом кальцію і запишіть його у повній і скороченій йонних формах.

92. Напишіть рівняння реакцій, які характеризують хімічні властивості фосфатної кислоти.

<sup>1</sup> Має місце і такий процес:  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 + 4\text{H}_3\text{PO}_4 = 3\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ .

93. Об'єм оксиду нітрогену(II), що виділяється під час взаємодії міді з 2 моль розбавленої нітратної кислоти, становить (за н. у.)

(а) 5,6 л; (в) 22,4 л;

(б) 11,2 л; (г) 44,8 л.

94. Маса нітратної кислоти, яку можна добути з 1 г аміаку при 70%-вому виході, становить

(а) 1 г; (в) 2,6 г;

(б) 1,3 г; (г) 3,9 г.

95. Напишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:



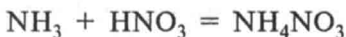
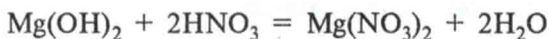
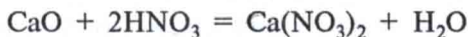
96. Яка сіль утвориться, якщо до розчину, що містить 4,9 г ортофосфатної кислоти, долити розчин, який містить 2,8 г гідроксиду калію? Обчисліть масу добутої солі.

97\*. У концентровану нітратну кислоту помістили суміш міді з оксидом купрум(II) масою 32 г, в якій масова частка міді становить 20 %. Який об'єм і якого газу виділиться за нормальних умов унаслідок реакції? Визначте кількість речовини солі, що при цьому утворюється.

98\*. Обчисліть масову частку ортофосфатної кислоти в розчині, що утворився внаслідок розчинення 71 г оксиду фосфору(V) в 600 мл розчину ортофосфатної кислоти з масовою часткою  $H_3PO_4$  85 % і густиною 1,7 г/мл.

## § 16. НІТРАТИ. АЗОТНІ ДОБРИВА

Солі нітратної кислоти називають нітратами. Нітрати можна добути внаслідок дії нітратної кислоти на метали, основні оксиди, основи, аміак і деякі солі, наприклад:

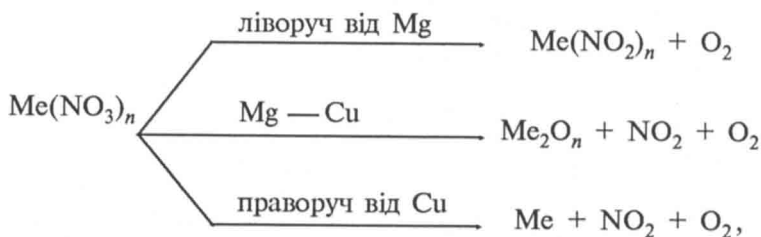


Нітрати утворюються також і під час взаємодії оксиду нітрогену(V) з лугами, бо  $N_2O_5$  — кислотний оксид:



Усі нітрати — тверді кристалічні речовини, добре розчинні у воді, токсичні (отруйні).

Характерною хімічною властивістю нітратів є їхня здатність розкладатися під час нагрівання з виділенням кисню та інших продуктів. Продукти розкладання залежать від природи металу, який входить до складу солі, від його місця у витискувальному ряді металів:



тобто солі таких металів, які у витискувальному ряді стоять ліворуч від магнію Mg, під час розкладання утворюють нітрити і кисень; від Mg до Cu — оксид металу, бурий газ  $\text{NO}_2$  і кисень, а праворуч від міді Cu — вільний метал, бурий газ  $\text{NO}_2$  і кисень  $\text{O}_2$ .

- Напишіть рівняння реакцій розкладання під час нагрівання нітратів калію, купруму, меркурію й аргентуму.

Нітроген — один з хімічних елементів, необхідних для росту і життєдіяльності рослин. Як правило, вміст його в ґрунті невеликий, і рослинам не вистачає Нітрогену. Доводиться вносити його у ґрунт у вигляді азотних добрив.

**Речовини, які містять Нітроген і вносяться у ґрунт для підвищення врожайності, називаються азотними добривами.**

Азотні добрива поділяються на дві групи:

1) мінеральні добрива — селітри<sup>1</sup>  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{Ca(NO}_3)_2$ ; солі амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; рідкий аміак  $\text{NH}_3$ , аміачна вода  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  та ін.;

<sup>1</sup> *Селітра* (від лат. *sal* — сіль і *nitrum* — луг) — загальна назва нітратів калію, натрію, амонію, кальцію.



## БУССЕНГО ЖАН БАТИСТ (1802—1887)

Французький учений, один із засновників агрохімії, член Паризької АН (з 1839). Досліджував живлення рослин. Першим почав вивчати колообіг речовин (у землеробстві). Довів, що всі рослини (крім бобових) беруть Нітроген із ґрунту, а бобові самі здатні нагромаджувати його. Довів, що вміст Карбону в урожаї не пов'язаний з вмістом його в гної і що джерелом Карбону для зелених рослин є вуглекислий газ повітря. Вивчав газообмін у рослин і тварин, вплив нітратів та фосфатів на розвиток рослин.



2) органічні добрива — гній, компост<sup>1</sup>, послід та зелені добрива (люпин, сочевиця, горох, конюшина, серадела). Крім Нітрогену, вони містять інші елементи, необхідні для живлення рослин.

**Наука про живлення рослин і застосування добрив з метою підвищення врожайності сільськогосподарських культур та поліпшення якості врожаю називається агрохімією.**

Велику роль у становленні агрохімії відіграли французький вчений Ж. Буссенго, який дослідив колообіг речовин у землеробстві та роль Нітрогену в живленні рослин, та німецький хімік Ю. Лібіх, який обґрунтував теорію виснаження ґрунтів (1840 р.) через винесення поживних речовин рослинами і показав необхідність повернення цих речовин у ґрунт у вигляді мінеральних добрив.

### *Лабораторна робота 5*

#### **Ознайомлення зі зразками азотних добрив**

Розгляньте видані вам азотні добрива, занотуйте у зошит їхні назви, хімічні формули та опишіть їхній зовнішній вигляд.

Нітрати лужних металів, крім того, використовують як компоненти ракетного палива та піротехнічних сумішей,

<sup>1</sup> *Компост* (англ., фр. *compost*, від лат. *compositus* — складений) — місцеве органічне добриво, що його одержують з різних органічних решток внаслідок їхнього біологічного розкладання.





## ЛІБІХ ІОСТУС (1803—1873)

Видатний німецький хімік, президент Баварської АН (з 1860), один із засновників агрохімії. Розробив теорію мінерального живлення рослин, що сприяло розвитку виробництва мінеральних добрив і впровадженню їх у землеробство. Вважав принципово можливим синтез будь-яких агрохімічних сполук. Поряд з цим припускав існування «життєвої сили». Відкрив ізомерію (1823). Автор хімічної теорії бродіння і гниття, один із творців теорії радикалів. Добув багато органічних речовин.

для виробництва вибухових речовин, скла, ліків і для обробки та консервування харчових продуктів. Так, нітрат натрію  $\text{NaNO}_3$  застосовують (у чітко визначеній нормі!) для виготовлення ковбас, шинки, окосту, деяких сортів сиру і риби. Він відновлюється мікроорганізмами до нітриту натрію  $\text{NaNO}_2$ , який перешкоджає окисненню м'яса і зберігає рожевий колір м'ясних виробів, поліпшує смак сирів, облагороджує їхній запах.

У домашніх умовах використання нітратів і нітритів неприпустиме, бо вживання навіть дещо перевищеної норми цих солей може призвести до порушення функції крові як переносника кисню й створити загрозу для життя. Адже нітрати спричиняють набряк легенів, кашель, блювоту і серцеву недостатність.

Нітрити, зокрема  $\text{NaNO}_2$ , у шлунково-кишковому тракті утворюють високотоксичні сполуки, що вражають печінку і спричиняють розвиток злоякісних пухлин.

На жаль, багато хто вже перебуває під впливом цих високотоксичних сполук. Вони хоч і у невеликих кількостях, але є в забрудненому повітрі та сигаретному диму. Не завадить згадати про нітрити та інші токсичні речовини, перш ніж закурити чергову сигарету.

Отже, в сільському господарстві, у харчовій промисловості з нітратами треба поводитися грамотно: неухильно додержувати норм внесення їх у ґрунт, запобігати надлишку нітратів, щоб вони не накопичувались у фруктах, овочах та інших продуктах. Адже гранично допустиме споживання за добу 5 мг на кілограм маси тіла.

Зменшити кількість нітратів можна, якщо всі овочі, плоди, в тому числі цитрусові, перед вживанням ретельно

помити гарячою водою, після чого яблука, огірки почистити, а з моркви вирізати серцевину. Зниженню шкідливого впливу на організм нітратів і нітритів сприяє вживання вітамінів, особливо А, Е, В<sub>9</sub>.

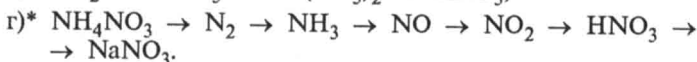
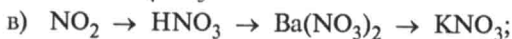
## Завдання для самоконтролю

**99.** Що таке нітрати? Як їх можна добути? Напишіть відповідні рівняння реакцій.

**100.** Що являють собою азотні добрива? Запишіть формули і назвіть найважливіші з них.

**101.** Напишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:

а) оксид нітрогену(IV) → нітратна кислота → нітрат калію → нітрит калію;



**102.** Для приготування рідкого мінерального добрива аміак об'ємом 20 л розчинили у воді масою 400 г (об'єм газу приведено до нормальних умов). Масова частка аміаку в добутому розчині становить

(а) 20%; (в) 7,4 %;

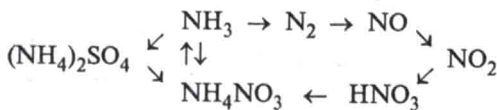
(б) 10 % (г) 3,7 %.

**103.** Унаслідок нагрівання 40 г суміші, яка містить нітрат натрію, добуто кисень об'ємом 4,48 л (н. у.). Масова частка  $NaNO_3$  у вихідній суміші становить:

(а) 30 %; (в) 85 %;

(б) 50 % (г) 95 %.

**104.** Як здійснити такі перетворення



Напишіть відповідні рівняння реакцій.

**105\*.** Назвіть сполуки  $x$  і  $y$  і напишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:

а)  $HNO_3 \rightarrow x \rightarrow N_2O$ ; б)  $HNO_3 \rightarrow y \rightarrow NO_2$ .

Зазначте умови перебігу цих реакцій.

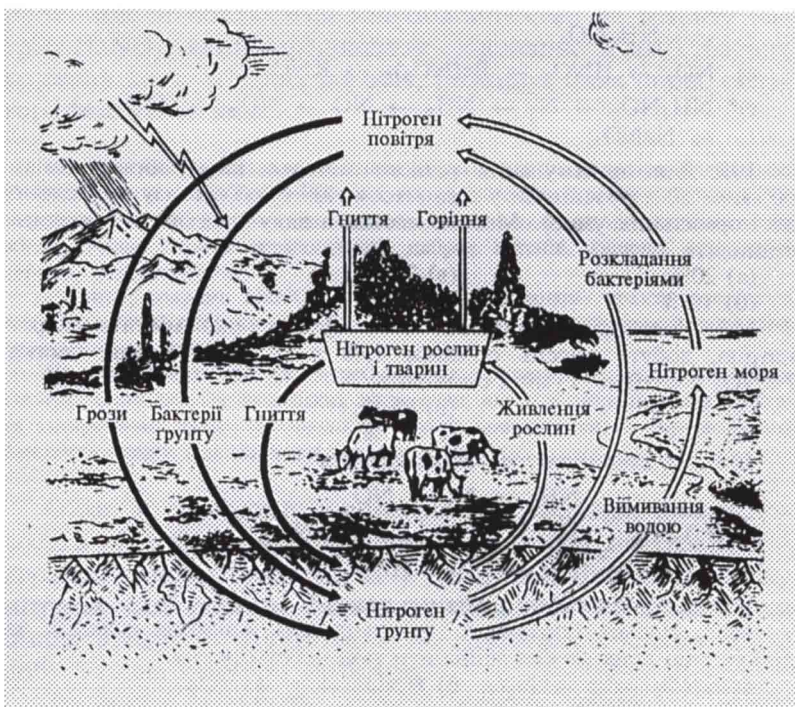
## § 17. КОЛООБІГ НІТРОГЕНУ В ПРИРОДІ

Хімічні елементи, як і вся природа, перебувають у постійному русі. Процеси відбуваються в усіх трьох оболонках Землі — літосфері, гідросфері, атмосфері.

Значну роль у процесах, що відбуваються у природі, відіграє біосфера — зона існування живих організмів. Так, вам відомо, що Нітроген входить до складу білків і, отже, зумовлює існування рослин, тварин, взагалі життя на Землі.

З Нітрогену складається азот  $N_2$ , його багато в повітрі. Проте безпосередньо з повітря Нітроген у вигляді азоту засвоюють лише деякі бактерії, а всі інші організми здатні засвоювати Нітроген тільки у складі сполук.

Рослини засвоюють Нітроген неорганічних сполук, які є у ґрунті, у вигляді йонів  $NH_4^+$  і  $NO_3^-$ . У рослинах здійснюється



Мал 9. Колообіг Нітрогену в природі



**ПРЯНИШНИКОВ  
ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ  
(1865—1948)**



Видатний російський учений, академік, спеціаліст у галузі агрохімії, фізіології рослин і рослинництва. Розробив теорію нітратного живлення рослин (1916), наукові основи вапнування кислих ґрунтів, гіпсування солонців, застосування мінеральних добрив у землеробстві. Встановив, що нітратний Нітроген ( $\text{NO}_3$ ) тільки після відновлення до аміаку може бути використаний рослиною для синтетичного процесу. Розробив проблему використання фосфоритів безпосередньо на добриво і довів можливість переробки їх на суперфосфат, склав фізіологічну характеристику вітчизняних калійних добрив. Розробляв проблему розміщення добрив у сівозмінах, питання норм, строків і техніки внесення добрив у ґрунт, виробництва складних мінеральних

ся синтез білків. Рослини частково поїдаються травоядними тваринами, і білкові речовини потрапляють до організму тварин. Під час гниття залишків рослин і тварин під впливом спеціальних бактерій відбуваються складні біохімічні процеси, внаслідок яких органічні сполуки, що містять Нітроген, перетворюються на неорганічні сполуки Нітрогену, які повертаються в ґрунт. Ці сполуки знову засвоюються рослинами, і цикл перетворень замикається (мал. 9).

Крім того, під час грози атмосферний азот сполучається з киснем, утворюючи  $\text{NO}$ , що окиснюється киснем повітря до  $\text{NO}_2$  і зрештою перетворюється на нітратну кислоту (кислі дощі), яка потрапляє в ґрунт і там унаслідок взаємодії з мінералами переходить у нітрати.

Зв'язування атмосферного азоту в основному здійснюється в біосфері за рахунок життєдіяльності бульбочкових бактерій, що живуть на корінні деяких бобових рослин (конюшина, люцерна, люпин та ін.).

Існують у природі й зворотні процеси: одночасно відбувається розкладання нітрогеновмісних речовин і виділення вільного азоту в атмосферу (також робота спеціальних бактерій). Перетворення Нітрогену органічних сполук на вільний азот відбувається і під час лісових пожеж.

Отже, в природі постійно відбуваються процеси утво-

рення сполук з атмосферного азоту і розкладання цих сполук до вільного азоту, тобто відбувається колообіг Нітрогену.

Збираючи врожай, людина втручається у цей процес, порушуючи природну рівновагу, збіднюючи ґрунт Нітрогеном. Тому й треба постійно вносити Нітроген у ґрунт у вигляді азотних добрив.

Ви вже знаєте, що вивченням питань живлення рослин і підвищенням їхньої урожайності за допомогою застосування добрив займається агрохімія. Великий внесок у розвиток цієї науки зробили французький учений Ж. Б. Буссенго, німецький хімік Ю. Лібіх і російський учений Д. М. Прянішников.

## § 18. ФОСФАТИ. ФОСФАТНІ ДОБРИВА

Солі фосфатної кислоти називають *фосфатами*. Фосфатна кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$  як триосновна утворює три ряди солей:

$\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  — середні солі — фосфати;

$\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{CaHPO}_4$  — кислі солі — гідрогенфосфати;

$\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  — кислі солі — дигідрогенфосфати.

- Розгляньте наведені вище приклади і зробіть висновок, які фосфати являють собою середні, а які кислі солі (чому?). Як ви можете пояснити назви «гідрогенфосфат» і «дигідрогенфосфат»?

Фосфати, як правило, у воді нерозчинні, за винятком фосфатів лужних металів і амонію. Але кислі фосфати розчиняються у воді. Цю властивість фосфатів використовують у сільськогосподарській практиці. Оскільки рослини можуть вбирати з ґрунту солі з корисними елементами лише у вигляді розчинів, фосфати необхідні для їх живлення, можуть засвоюватися тільки у вигляді розчинних сполук. Ось чому під час виробництва фосфатних добрив добувають кислі фосфати із середніх, які зустрічаються в природі у вигляді мінералів фосфоритів і апатитів.

### *Лабораторна робота 6*

#### **Ознайомлення зі зразками фосфатних добрив**

Розгляньте видані вам фосфатні добрива і занотуйте у зошит їхню назву, хімічну формулу, опишіть їхній зовнішній вигляд.



**ЗАЙКЕВИЧ  
АНАСТАСІЙ ЄГОРОВИЧ  
(1842—1931)**



Відомий український учений-агроном, один з перших організаторів сільськогосподарської дослідної справи в Росії. Народився на Полтавщині, закінчив фізико-математичний факультет Новоросійського (Одеського) університету, з 1884 р. — професор Харківського університету. Наукова спадщина багатогранна, включає праці з агрохімії, фізіології рослин, агротехніки, селекції, тваринництва, бджільництва. Він уперше запропонував спосіб рядкового внесення мінеральних та органічних добрив. Зробив великий внесок у справу виведення вітчизняних сортів пшениці, кукурудзи, цукрових буряків, визначив найефективніші добрива для цих культур.

Отже, ви дізналися, що важливими фосфатними добривами є такі:

подвійний суперфосфат —  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ;

простий суперфосфат —  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  з домішкою гіпсу  $\text{CaSO}_4$ ;

преципітат —  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;

фосфоритне борошно —  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

Останнім часом широкого розповсюдження набули *комплексні добрива*, які містять кілька необхідних рослинам елементів. Наприклад, Нітроген разом з Фосфором входять до складу добрив, які називаються *амофосами* —  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ .

- Хімічні формули амофосів запишіть у зошит і для кожного з них зазначте хімічну назву.

Якщо амофоси змішати з калійною селітрою, то утворюється *амофоска* — добриво, що містить Нітроген, Фосфор і Калій.

Розвиток агрохімії пов'язаний з працями Д. І. Менделєєва, який досліджував роль вапнування ґрунтів, був ініціатором вивчення у ґрунтових умовах ефективності кісткового борошна (містить  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) і суперфосфату; передбачав, що «ера фосфатних добрив ще настане».

В Україні важливі дослідження з питань агрохімії, фізіології рослин і ґрунтознавства пов'язані з працями професора Харківського університету А. Є. Зайкевича і професора



**ВЛАСЮК  
ПЕТРО АНТИПОВИЧ  
(1905—1980)**

Відомий український учений, академік, спеціаліст у галузі агрохімії, фізіології рослин, ґрунтознавства. Народився на Черкащині, закінчив Уманський і Ленінградський (Санкт-Петербурзький) сільськогосподарські інститути, з 1931 р. — професор Уманського інституту, з 1947 по 1956 — професор Київського університету ім. Т. Шевченка, далі — голова Відділу сільськогосподарських наук АН України. Працював у НДІ цукрового буряку, Інституті ботаніки АН України, понад 20 років був директором Інституту фізіології рослин АН України. Досліджував хімічні елементи, які потрібні рослинам у мікро- й ультрамікродозах, вивчав їх вплив на розвиток і врожайність сільськогосподарських культур. Довів, що при аміачному живленні Манган у рослинах діє як сильний окисник, а при нітратному — як сильний відновник, що Манган як мікроелемент сприяє економії  $\text{CO}_2$  у процесі фотосинтезу, а також відпливу продуктів асиміляції з листків до коренів. Розробив нові види мікродобрив.

Київського університету, пізніше — професора Інституту фізіології рослин АН України академіка П. А. Власюка.

---

**Завдання для самоконтролю**

**106.** Як відбувається колообіг Нітрогену в природі?

**107.** Складіть рівняння таких реакцій і запишіть їх у повній і скороченій йонних формах:

- а) фосфат калію + нітрат барію;
- б) фосфат кальцію + сульфатна кислота;
- в)\* фосфат кальцію + фосфатна кислота.

**108.** Унаслідок нейтралізації гідроксиду натрію масою 20 г фосфатною кислотою масою 49 г утворюється сіль

- (а) фосфат натрію;
  - (б) гідрогенфосфат натрію;
  - (в) дигідрогенфосфат натрію.
- Маса утвореної солі становить
- (г) 30 г; (с) 90 г;
  - (д) 60 г; (е) 120 г.

**109.** Якщо відомо, що масова частка дигідрогенфосфату кальцію в суперфосфаті становить 35 %, то масова частка оксиду фосфору(V) у цьому добриві становитиме

- (а) 21, 2 %; (в) 68,6 %;
- (б) 42,4 %; (г) 50 %.

## § 19. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБОНУ І СИЛІЦІЮ

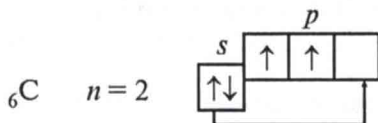
**Історичні відомості.** Ім'я першовідкривача вуглецю, що складається в основному з Карбону, невідоме. Невідомо й те, яка з алотропних форм Карбону — алмаз чи графіт — була відкрита раніше. Історія використання людиною цієї речовини сягає у глибочинь століть, у доісторичні часи. Напевно твердити можна лише те, що до алмазу й графіту людина вже знала вугілля. А визнання Карбону хімічним елементом сталося лише у 1775 р., завдяки роботам французького вченого А. Лавуазьє.

Силіцій, незважаючи на велику поширеність його у природі, відкрили порівняно пізно. У 1811 р. французькі хіміки Ж. Л. Гей-Люссак і Л. Ж. Тенар добули чистий силіцій (проста речовина, що складається з елемента Силіцію). Новий елемент назвали Силіцієм (від лат. *silex* — кремень), що означає «камінь, який дає вогонь». Так називали твердий камінь, що під час удару викресав іскру. Тривалий час його використовували замість сірників для добування вогню.

Карбон і Силіцій — типові елементи IV групи періодичної системи, належать до головної підгрупи.

- Пригадайте будову атомів Карбону і Силіцію на основі розміщення цих елементів у періодичній системі й запишіть схеми будови їх атомів і електронні формули.

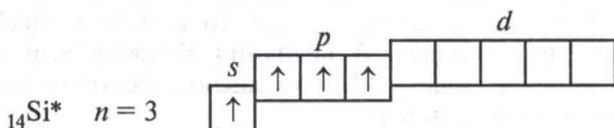
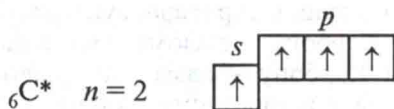
**Електронна будова.** Електронні формули Карбону  $1s^2 2s^2 2p^2$  і Силіцію  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$  показують, що в їхніх атомах на зовнішньому електронному шарі міститься по 4 електрони. Вони розміщені на орбіталях у такий спосіб:



Структура зовнішнього електронного шару атома Силіцію аналогічна структурі атома Карбону.

- Покажіть графічно розміщення на орбіталях електронів зовнішнього шару атома Силіцію.

Зверніть увагу: в атомах Карбону і Силіцію на зовнішньому електронному шарі є вільна  $p$ -орбіталь. Тому один  $s$ -електрон зовнішнього шару під час збудження атома може переходити на цю  $p$ -орбіталь (збуджений стан атома):



Згідно з такою електронною будовою атомів елементи Карбон і Силіцій виявляють у сполуках ступінь окиснення  $-4, +2, +4$ .

- Напишіть формули сполук Карбону з Оксигеном і Гідрогеном. Зазначте ступені окиснення елементів і назвіть сполуки. Поясніть у кожному з випадків, чим зумовлений даний ступінь окиснення.

**Алотропія Карбону і Силіцію.** У природі зустрічаються три алотропні форми Карбону: алмаз, графіт і карбін. Основними й добре вивченими алотропами Карбону є алмаз і графіт.

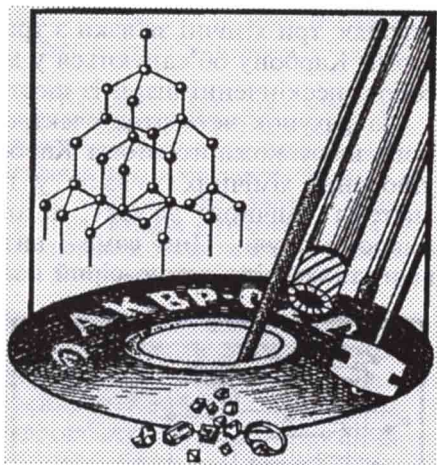
**Алмаз** (від грец. *adamas* — непохитний, твердий) — кристалічна речовина, тугоплавка, хімічно малоактивна, діелектрик, практично не проводить електричного струму. Кристалічні ґратки атомні (мал. 10.). Зустрічаються кристали безбарвні або забарвлені у жовтий, коричневий, рожево-бузковий, зелений, голубий, синій і чорний колір. Кристали можуть бути прозорі і непрозорі, для них характерний сильний блиск.

У кристалі алмазу кожний атом Карбону з'єднується міцними ковалентними зв'язками з чотирма сусідніми атомами. Такою будовою кристалів пояснюється виключна твердість алмазу. Він найтвердіший з усіх відомих речовин.



Завдяки твердості алмаз широко використовується для свердління твердих порід, виготовлення шліфувальних дисків, різців, свердел, різання скла (див. мал. 10) тощо. Для цього застосовують технічні алмази, тобто такі, що містять різні домішки.

Чисті алмази — безбарвні прозорі кристали. Їх гранують, шліфують (алмазним порошком) і виготовляють з них діаманти. Прозорі алмази красивого синього, зеленого, червонуватого кольору надто рідкісні й оцінюються дуже високо. Чим більше граней має кристал, тим краще він «грає». Маса діамантів вимірюється каратами (1 карат = 0,2 г).



Мал. 10. Кристалічні ґратки алмазу. Приклади застосування алмазу

Найбільший з будь-коли знайдених на Землі алмазів — це алмаз «Куллінан». Його знайшли у 1905 р. Назву він здобув від імені одного із володарів. До огранювання його розмір був з жіночий кулак і маса 3106 каратів, тобто 621 г. Під час обробки алмаз розкололи за напрямом тріщин, що були у ньому, і вирізали 105 діамантів. Найбільший серед них назвали «Зоряна Африка». Він має форму краплі і масу 530 каратів.

Цікаво, що серед індійських алмазів є славнозвісний «Шах» масою 89 каратів, яким перський уряд, щоб «уласкавити білого царя», розплатився за кров відомого російського дипломата і видатного письменника О. С. Грибоєдова, полеглого від рук розпоченого натовпу перських фанатиків у 1829 р. у Тегерані — столиці Персії.

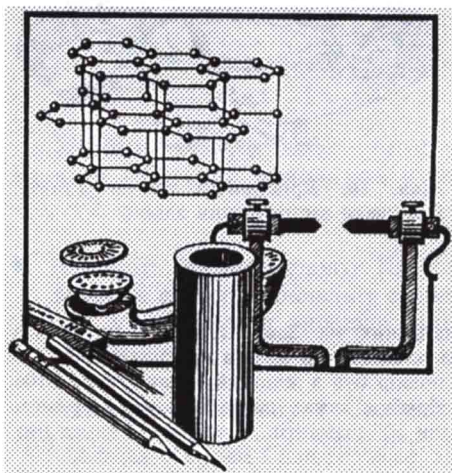
Розроблено штучне добування алмазів (1954 р., США) з графіту в умовах високих тисків і температур. Як правило, утворюються дрібні кристали. Їх використовують для виготовлення різальних інструментів і як опору для підшипників та інших рухливих частин у точних вимірювальних інструментах. Нині виробляються й синтетичні алмази ювелірної якості. Промисловий синтез алмазів — велике досягнення науки і техніки.

*Графіт* (від грец. *grapho* — пишу) — кристалічна речовина, жирна на дотик, сірого або чорного кольору з металіч-



ним блиском. Структура графіту шарувата (мал. 11): атоми Карбону розміщені шарами, що складаються з шестичленних кілець. У межах одного шару кожний атом Карбону утворює три хімічні зв'язки з трьома сусідніми атомами. Усі атоми Карбону об'єднуються у макромолекули, які являють собою нескінченні шари із шестичленних кілець.

За рахунок четвертих електронів зовнішнього електронного шару кожного атома Карбону, що не беруть участі в утворенні хімічних зв'язків у площині, виникає загальна система хімічного зв'язку, делокалізованого у межах всієї макромолекули. Цим саме і визначається електрична провідність графіту, темно-сірий колір і металічний блиск.



Мал. 11. Кристалічні ґратки графіту. Приклади застосування графіту

Шари атомів Карбону об'єднуються у кристалічні ґратки за рахунок міжмолекулярних сил.

Всередині шару графіту зв'язки між атомами ковалентно-металічні, доволі міцні, а між шарами діють міжмолекулярні сили, доволі слабкі. Тому графіт легко розшаровується на лусочки. Це робить кристали графіту неміцними, а сам мінерал м'яким. Навіть під час слабого тертя графіту по паперу на ньому залишається сірий слід.

Графіт тугоплавкий ( $t_{\text{пл.}} = 3800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), хімічно дуже стійкий. З нього виготовляють вогнетривкі тиглі, мастила, синтетичні алмази, електроди, обкладки для електролітичних ванн, труби теплообмінників (див. мал. 11). В ядерних реакторах графіт використовують як уповільнювач нейтронів. З графіту роблять грифелі для олівців.

У промисловості, крім природного, використовують штучний графіт. Його добувають з кращих сортів кам'яного вугілля (кокс, антрацит). Процес відбувається в електродпечах за температури  $2600\text{--}3000\text{ }^{\circ}\text{C}$  і тиску  $250\text{ МПа}$  без доступу повітря.

Карбін— речовина білого кольору, хімічно інертна, виявляє властивості напівпровідника. Характеризується ланцюговою будовою молекул, де атоми Карбону зв'язані між собою то одинарними і потрійними зв'язками, що чергуються —  $C \equiv C - C \equiv C - C \equiv C -$ , то лише подвійними  $= C = C = C = C = C = C =$ . Зустрічається в природі у вигляді мінералу чаюїту і добутий штучно.

За умови високих тисків (понад 60 ГПа) синтезовано дуже компактну модифікацію (густина на 15—20 % вища за густину алмазу) лонсдейліт, що виявляє металічну провідність. Лонсдейліт знайдено також у метеоритах.

Фулерени  $C_{60}$  і  $C_{70}$  — нова молекулярна форма існування Карбону в природі. Це дрібнокристалічні речовини, молекули яких являють собою порожні сфери (наприклад,  $C_{60}$  за формою нагадує футбольний м'яч, а  $C_{70}$  — диньоподібний м'яч для регбі). Їх поверхня утворена п'яти- і шестикутниками з атомів Карбону. Виявляють властивості напівпровідників.

Існують ще так звані *вуглецеві матеріали* (раніше називали «аморфний вуглець»). До них належать вугілля (кокс, деревне вугілля), технічний вуглець (сажа) та ін. Вони не є самостійними алотропними формами Карбону, як це раніше вважалося, бо мікрокристалічна структура їх така сама, як у графіту, але кристали розміщені безладно.

Сажу використовують як наповнювач для гуми і пластмас, пігмент для друкарської фарби, копіювального паперу, стрічки для друкарських машинок та ін.

Кокс використовують у металургії як паливо і відновник.

Застосування деревного вугілля ґрунтується на його здатності притягувати до своєї поверхні молекули речовин з навколишнього середовища (вбирання на поверхні). Таке явище називають *адсорбцією*. Зрозуміло, що чим більша поверхня, тим сильніша адсорбція. Щоб збільшити поверхню вугілля, його активують — обробляють перегрітою водною парою для видалення з його пор сторонніх домішок і збільшення поруватості. Таке вугілля називають *активованим*.

Активоване вугілля чудовий *адсорбент* (вбирник). Саме тому його використовують у промисловості для очищення газів, вловлювання цінних органічних розчинників, виготовлення протигазів, у медицині — для очищення крові і вбирання шкідливих речовин із шлунково-кишкового тракту.

**Силіцій** як проста речовина має кристалічну будову, крихкий, темно-сірого кольору з металічним блиском. Як хімічний елемент силіцій на відміну від Карбону існує лише в одній формі, структура якої аналогічна структурі алмазу (див. мал. 10), оскільки графітоподібна форма дуже нестійка. Але, на відміну від алмазу, силіцій — напівпровідник.

Це пояснюється тим, що деякі ковалентні зв'язки між його атомами легко руйнуються, що зумовлює помітну рухливість електронів у кристалі.

Силіцій використовують в електроніці як напівпровідник, а також для виготовлення діодів, транзисторів, сонячних батарей, фотоприймачів, детекторів частинок у ядерній фізиці. В металургії силіцій використовують як відновник і для видалення кисню з розплавлених металів. Силіцій — компонент електротехнічних сталей, чавунів, бронзи, силумінів (сплавів з алюмінієм).

Силіцій — другий хімічний елемент після Оксигену за поширенням у природі, його масова частка в земній корі 26,6 %. Але у вільному стані він не зустрічається, тільки у вигляді сполук.

Найпоширенішою сполукою Силіцію є оксид силіцію(IV)  $\text{SiO}_2$ , або кремнезем. Це — мінерал кварц і багато його різновидів (пісок, гірський криштал, кремін, яшма, опал, агат, аметист та ін.). Силіцій у вигляді силікатів і алюмосилікатів входить до складу таких мінералів, як азбест, тальк, польовий шпат, каолін, нефелін, слюда тощо. Входить він і до складу рослинних (хвощі, бамбук та ін.) і тваринних організмів (кістяк, сполучна тканина).

---

### Завдання для самоконтролю

**110.** Які місця у періодичній системі хімічних елементів займають Карбон і Силіцій? Як це пов'язано з будовою їхніх атомів?

**111.** Порівняйте фізичні властивості алмазу і графіту.

**112.** Як пояснити різку відмінність у фізичних властивостях алмазу і графіту?

**113.** Що таке активоване вугілля? Чому його рекомендують вживати всередину, якщо виник розлад шлунка?

**114.** Схарактеризуйте фізичні властивості силіцію. Назвіть галузі його застосування.

**115.** Як пояснити з погляду електронної теорії структуру атома Силіцію? Чому неметалічні ознаки виявлені у нього меншою мірою, а металічні ознаки — більшою, ніж у елемента Карбону?

**116.** Силіцій плавиться за температури  $1420^\circ\text{C}$ , а білий фосфор — за  $44^\circ\text{C}$ . Як пояснити таку різку відмінність у температурах плавлення цих простих речовин?

**117.** Біла глина містить каолін  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  і сторонні домішки, масова частка яких у глині становить 10 %. Обчисліть масову частку Силіцію в глині.



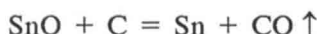
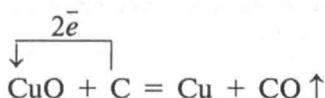
## § 20. ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЮ ТА СИЛІЦЮ

Вуглець виявляє невисоку хімічну активність: більшість реакцій за його участю відбувається лише за високої температури.

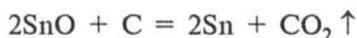
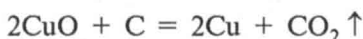
Силіцій ще менш активний, ніж вуглець. За низьких температур він навіть хімічно інертний, а під час нагрівання його здатність до реагування різко зростає.

Найголовніша хімічна властивість вуглецю і силіцію — це їхня відновна здатність. У вуглецю вона виражена яскравіше, ніж у силіцію. Вуглець — один з найкращих відновників.

**1. Взаємодія з оксидами металів.** Під час нагрівання вуглець відновлює метали з їхніх оксидів:



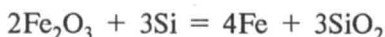
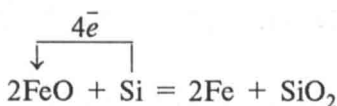
За наявності вільного доступу повітря при цьому утворюється оксид карбону(IV)  $\text{CO}_2$ :



У металургійній практиці, як правило, утворюється суміш газів  $\text{CO}$  і  $\text{CO}_2$ .

Такі процеси, що ґрунтуються на відновленні металів з їхніх оксидів вуглицем (коксом), називаються *карботермією*.

Силіцій також виявляє відновні властивості, але вони виражені значно слабше, ніж у вуглецю. Наприклад, силіцій поводить себе як відновник у процесі виплавляння сталі: за високої температури він відновлює металічне залізо з оксиду феруму(II), що міститься у брухті разом з іншими речовинами ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ):



**2. Взаємодія з киснем.** Вуглець легко горить на повітрі. При цьому виділяється велика кількість теплоти, що свідчить про велику міцність зв'язків у молекулі оксиду карбону(IV), який утворюється:

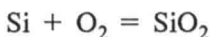


Продукт реакції горіння вуглецю залежить від температури. За порівняно невисоких температур горіння утворюється діоксид карбону  $\text{CO}_2$ , а за високих (понад  $1000^\circ\text{C}$ ) — поряд з  $\text{CO}_2$  утворюється значна кількість оксиду карбону(II)  $\text{CO}$ :



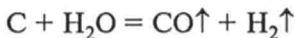
Саме така реакція (поряд з іншими) відбувається під час спалювання коксу, вугілля, бензину за високої температури та нестачі кисню. Тому вихлопні гази автомобільних двигунів, відхідні гази печей за умови поганої тяги, тютюновий дим обов'язково містять чадний газ  $\text{CO}$  і забруднюють повітря.

Силіцій за стандартних умов хімічно стійкий. Але під час сильного нагрівання (понад  $400^\circ\text{C}$ ) порошок силіцію згорає, утворюючи оксид силіцію(IV):



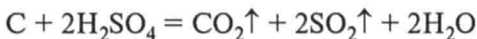
При цьому також виділяється велика кількість теплоти, що свідчить про велику міцність зв'язку між атомами Силіцію й Оксигену.

**3. Взаємодія з водою.** Якщо на розжарений вуглець подавати водяну пару, то внаслідок реакції утвориться так званий водяний газ — суміш оксиду карбону(II) і водню:

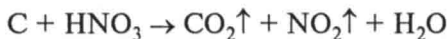


Водяний газ використовують як сировину для синтезу хімічних продуктів.

**4. Відношення до лугів та кислот.** Вуглець стійкий до дії лугів та кислот. Лише концентровані сульфатна та нітратна кислоти за температури  $100^\circ\text{C}$  окиснюють його:



конц.



конц.



- У наведеній схемі реакції розставте коефіцієнти на підставі електронного балансу. Зазначте окисник і відновник.

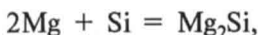
**5. Взаємодія з металами.** Під час нагрівання вуглець може взаємодіяти з деякими металами, утворюючи карбіди:



Карбіди — тверді і тугоплавкі речовини.

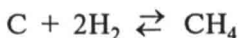
У цих реакціях вуглець виступає як окисник, що для нього не характерно.

Силіцій також виявляє окисні властивості, але лише відносно деяких металів, утворюючи силіциди:



що для силіцію також не характерно.

**6. Взаємодія з воднем.** Вуглець може взаємодіяти з воднем. Реакція відбувається під час нагрівання до 500 °С за наявності порошку нікелю як каталізатора:



Утворюється органічна сполука — метан  $\text{CH}_4$  (головна складова частина природного газу).

- Який ступінь окиснення виявляє атом Карбону в молекулі метану  $\text{CH}_4$ ? Як ви гадаєте, окисником чи відновником у даному разі є вуглець. Чому для нього взаємодія з воднем нехарактерна?

Силіцій з воднем безпосередньо не взаємодіє. Його водневу сполуку  $\text{SiH}_4$  — силан добувають непрямим способом.

---

### Завдання для самоконтролю

**118.** Порівняйте хімічні властивості простих речовин — вуглецю і силіцію. Напишіть необхідні рівняння реакцій.

**119.** Під час спалювання вуглецю масою 187,5 г утворився діоксид карбону об'ємом 336 л (н. у.). Масова частка Карбону у вуглеці становить

- |           |           |
|-----------|-----------|
| (а) 12 %; | (в) 48 %; |
| (б) 24 %; | (г) 96 %. |

**120.** За певних умов окиснили 120 г вуглецю (тепловий ефект реакції 110,5 кДж/моль) до оксиду карбону(II). Кількість теплоти, що виділилася в результаті реакції, становить

- (а) 110, 5 кДж; (в) 1105 кДж;  
(б) 221 кДж; (г) 2210 кДж.

**121.** Маса міді, яку можна добути, відновлюючи оксид купруму(II) за допомогою 24 кг вуглецю, враховуючи, що виробничі втрати міді становлять 5 %, дорівнює

- (а) 121,6 кг; (в) 134,4 кг;  
(б) 128 кг; (г) 64 кг.

## § 21. ОКСИДИ КАРБОНУ Й СИЛІЦІЮ

Елемент Карбон з елементом Оксигеном утворює два оксиди —  $\text{CO}_2$  і  $\text{CO}$ .

$\text{CO}_2$  — оксид карбону(IV), діоксид карбону, вуглекислий газ;

$\text{CO}$  — оксид карбону(II), монооксид карбону, чадний газ.

Для елемента Силіцію характерним є  $\text{SiO}_2$  — оксид силіцію(IV), діоксид силіцію, кремнезем.

### Фізичні властивості

**Оксид карбону(IV), або вуглекислий газ,  $\text{CO}_2$**  за стандартних умов — безбарвний газ, без запаху, важчий за повітря в 1,5 раза, доволі добре розчиняється у воді, особливо під тиском, легко перетворюється на рідину навіть за кімнатної температури і невеликого тиску (5 МПа). Зріджений  $\text{CO}_2$  зберігають у сталевих балонах. Якщо його швидко вилити з балона, вуглекислий газ випаровується, внаслідок чого частина газу перетворюється на снігоподібну масу. Твердий вуглекислий газ називають *сухим льодом*.

**Оксид карбону  $\text{CO}$ , або чадний газ,** — безбарвний газ, без запаху, отруйний, погано розчиняється у воді, трохи легший за повітря.

- Обчисліть відносні молекулярні маси вуглекислого та чадного газів і порівняйте їх з усередненою відносною молекулярною масою повітря, яка дорівнює 29. Чи залежить густина газу від його молекулярної маси?

Вуглекислий газ  $\text{CO}_2$  у великих кількостях шкідливий для людини і тварин, спричинює запаморочення, може ви-

кликати ядуху, тому приміщення, де перебувають люди, треба часто провітрювати.

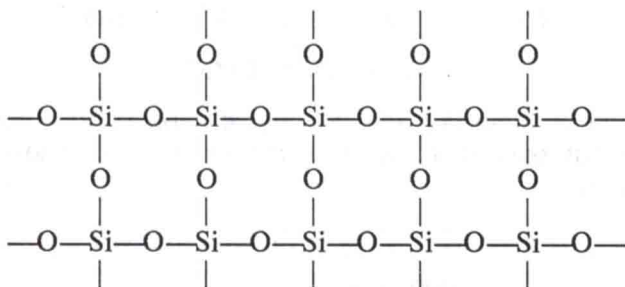
Чадний газ  $\text{CO}$  — дуже отруйний. Він утворює стійку сполуку з гемоглобіном крові, внаслідок чого кров втрачає властивість переносити кисень в організмі, і настає кисневе голодування. У людини з'являються сильний головний біль, нудота, вона може знепритомніти і навіть померти!

Особливо небезпечно заводити автомобіль у гаражі за зачиненими дверима... Це рівнозначно самогубству! Заслінку в печі можна закривати тільки тоді, коли вугілля вже не горить полум'ям, а лише слабо жевріє...

Оксид силіцію(IV)  $\text{SiO}_2$ , або діоксид силіцію, — тверда речовина, кристалічна, безбарвна, тугоплавка ( $t_{\text{пл.}} = 1728^\circ\text{C}$ ), у воді не розчиняється (пригадайте білий річковий пісок).

Чому ж така велика відмінність у властивостях діоксиду силіцію  $\text{SiO}_2$  і діоксиду карбону  $\text{CO}_2$  (за стандартних умов  $\text{CO}_2$  — газ, а  $\text{SiO}_2$  — тверда тугоплавка речовина), адже за хімічним складом ці оксиди є аналогами?

Щоб зрозуміти причину відмінності їхніх властивостей, пригадайте, що властивості речовини залежать від її будови. Отже, причина відмінності властивостей оксиду карбону(IV) і оксиду силіцію(IV) полягає у відмінності будови цих речовин. Оксид карбону(IV) складається з молекул  $\text{CO}_2$ , тобто має молекулярні кристалічні ґратки, а оксид силіцію(IV) — атомні кристалічні ґратки, кожна структурна одиниця яких являє собою *тетраедр* з атомом Силіцію в центрі та атомами Оксигену по вершинах. Це можна пояснити тим, що атом Силіцію має більший радіус, ніж атом Карбону. Навколо нього може розміститись не два, а чотири атоми Оксигену, кожний з яких з'єднується з двома атомами Силіцію. Відповідне розміщення атомів можна зобразити на площині схемою:



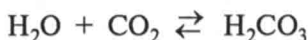
Така будова оксиду силіцію(IV) й обумовлює його високу твердість і тугоплавкість.

Отже, відмінністю у будові кристалічних ґраток пояснюється відмінність властивостей діоксидів карбону й силіцію.

### Хімічні властивості

Оксид карбону(IV)  $\text{CO}_2$  і оксид силіцію(IV)  $\text{SiO}_2$  — солетвірні кислотні оксиди, а оксид карбону(II)  $\text{CO}$  — несолетвірний оксид.

**1. Взаємодія з водою.** Якщо у пробірку з водою (1—2 мл) додати 1—2 краплі розчину лакмусу, а потім пустити туди вуглекислий газ, лакмус змінить своє забарвлення, і розчин почервоніє. Це пояснюється тим, що  $\text{CO}_2$  взаємодіє з водою з утворенням нестійкої карбонатної кислоти:

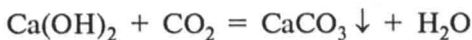


- Знаючи закономірності зміщення хімічної рівноваги, зазначте, в якому напрямі можна змістити рівновагу в реакції, рівняння якої наведено вище:

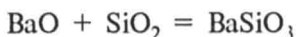
а) підвищуючи тиск; б) підвищуючи температуру.

Оксид силіцію(IV)  $\text{SiO}_2$  хоча й належить до кислотних оксидів, але з водою не реагує. Відповідна йому силікатна кислота  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  утворюється іншим шляхом (вивчатиметься пізніше).

**2. Взаємодія з основами і основними оксидами.** Оксид карбону(IV)  $\text{CO}_2$  реагує з лугами у водних розчинах та з твердими лугами і основними оксидами за стандартних умов, утворюючи солі — карбонати:



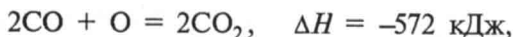
Оксид силіцію(IV)  $\text{SiO}_2$  взаємодіє з твердими лугами та основними оксидами під час сплавляння, утворюючи солі — силікати:





Оксид карбону(II) CO як несолетвірний оксид зазначених вище реакцій не дає (солей не утворює). Йому притаманні інші властивості:

а) здатність горіти васильково-синім полум'ям, виділяючи велику кількість теплоти:



через що його використовують (разом з іншими газами) як газувате паливо (у доменному виробництві);

б) здатність відновлювати метали з оксидів (під час нагрівання):



Зазначена властивість використовується під час виплавляння металів із руд.

**Добування оксиду карбону(IV).** У лабораторних умовах CO<sub>2</sub> добувають дією хлоридної кислоти на мармур:



- Запишіть рівняння даної реакції у повній і скороченій йонних формах.

У промисловості оксид карбону(IV) добувають прожарюванням вапняку:



**Застосування.** Вуглекислий газ CO<sub>2</sub> застосовують під час виробництва соди, цукру, для газування води, гасіння пожеж (наприклад, содові вогнегасники). Сухий лід використовують для зберігання продуктів, які швидко псуються.

Діоксид силіцію SiO<sub>2</sub> у вигляді піску широко застосовують у будівництві, для добування скла, кераміки, порцеляни, фаянсу, цегли, цементу, абразивів<sup>1</sup>. У вигляді кварцу SiO<sub>2</sub> використовують у радіотехніці, в акустoeлектроніці, в оптичному приладобудуванні. Синтетичний діоксид силіцію SiO<sub>2</sub> («біла сажа») застосовується як наповнювач у виробництві гуми.

<sup>1</sup> Абразиви (фр. *abrasif* — шліфувальний, від лат. *abrado* — зіскоблюю) — природні або штучні матеріали високої твердості.

## Завдання для самоконтролю

**122.** Порівняйте фізичні властивості діоксиду карбону  $\text{CO}_2$  й монооксиду карбону  $\text{CO}$ .

**123.** Схарактеризуйте фізичні властивості діоксиду силіцію  $\text{SiO}_2$ .

**124.** Під час спалювання оксиду карбону(II) об'ємом 112 л (н. у.) утворюється оксид карбону(IV) об'ємом

- |           |            |
|-----------|------------|
| (а) 28 л; | (в) 112 л; |
| (б) 56 л; | (г) 224 л. |

**125.** В результаті окиснення вуглецю кількістю речовини 4 моль утворюється оксид карбону(II) об'ємом (н. у.)

- |             |             |
|-------------|-------------|
| (а) 22,4 л; | (в) 11,2 л; |
| (б) 89,6 л; | (г) 5,6 л.  |

**126.** Прожарюванням вапняку масою 250 кг, масова частка домішок в якому 20 %, можна добути вуглекислий газ об'ємом (н. у.)

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| (а) 44,8 $\text{м}^3$ ; | (в) 89,6 $\text{м}^3$ ; |
| (б) 22,4 $\text{м}^3$ ; | (г) 112 $\text{м}^3$ .  |

**127.** У лабораторії для добування чистого силіцію використовують кварцовий пісок і магній. З підпалюванням суміші утворюється білий порошок оксиду магнію та кристалічний силіцій. Напишіть рівняння реакції і запропонуйте спосіб очищення силіцію від домішки оксиду магнію.

**128.** Під час відновлення вуглецем у дугових печах за  $1800^\circ\text{C}$  1 кг оксиду силіцію(IV), масова частка домішок в якому 10 %, можна добути кристалічний силіцій масою

- |            |            |
|------------|------------|
| (а) 28 г;  | (в) 840 г; |
| (б) 280 г; | (г) 420 г. |

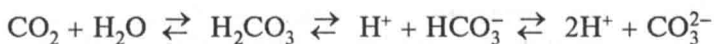
**129\*.** Суміш оксиду карбону(II)  $\text{CO}$  й оксиду карбону(IV)  $\text{CO}_2$  об'ємом 16 мл (н. у.) спалили в надлишку кисню, після чого об'єм суміші зменшився на 2 мл. Обчисліть масову частку  $\text{CO}$  в суміші.

## § 22. КАРБОНАТНА КИСЛОТА І КАРБОНАТИ

**Карбонатна кислота.** Солетвірному оксиду карбону(IV)  $\text{CO}_2$  відповідає карбонатна кислота  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

Карбонатна кислота  $\text{H}_2\text{CO}_3$  — нестійка сполука. Вона існує лише у водному розчині. Під час намагання виділити

її з розчину вона легко розкладається на воду і оксид карбону(IV). У водному розчині має місце рівновага:



Цим пояснюються кислотні властивості карбонатної кислоти  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Карбонатна кислота належить до слабких кислот, тобто дисоціює на йони незначною мірою. Як двохосновна, вона утворює два ряди солей: середні — *карбонати* і кислі — *гідрогенкарбонати*.

Наприклад:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  — карбонат натрію,  $\text{NaHCO}_3$  — гідрогенкарбонат натрію;  $\text{CaCO}_3$  — карбонат кальцію і  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  — гідрогенкарбонат кальцію.

*Карбонати* — кристалічні речовини. У воді не розчиняються, за винятком карбонатів лужних металів та амонію.

Унаслідок дії кислот на тверді карбонати або їхні водні розчини виділяється оксид карбону(IV), що викликає спінювання:



- Наведене рівняння запишіть у йонній формі, а також складіть два рівняння реакцій, що ілюструють дію інших кислот на карбонати та їхні розчини.

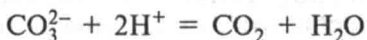
### *Лабораторна робота 7*

#### **Якісна реакція на карбонат-іони**

У дві пробірки всипте потроху (аби тільки вкрилось дно) карбонату магнію і карбонату натрію. В обидві пробірки додайте по 1 мл розбавленої хлоридної кислоти й одразу ж закрийте кожну пробірку пробкою з відведеною трубкою, кінець якої опустіть у пробірку з вапняною водою (розчин  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

Що спостерігається? Складіть рівняння реакцій і запишіть їх у повній та скороченій йонних формах. Зробіть висновок, що є реактивом на карбонат-іони  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Отже, для розпізнавання карбонатів (і гідрокарбонатів) використовують сильні кислоти. Під час їх дії відбувається характерне «закипання» внаслідок бурхливого виділення вуглекислого газу  $\text{CO}_2$ . Реакція виражається таким йонним рівнянням:



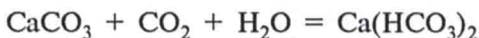
- Поясніть, чому карбонатами, як і основами, можна користуватися для нейтралізації кислот.

**Практичне значення.** Із солей карбонатної кислоти важливе значення має карбонат кальцію  $\text{CaCO}_3$ . Він зустрічається в природі у вигляді мармуру, вапняку, крейди. Мармур використовують як оздоблювальний матеріал у будівництві та скульптурі, вапняк — для добування вапна, яке також застосовується у будівництві, а крім того, вноситься у ґрунт для зниження кислотності та поліпшення його структури. Крейду застосовують для побілки, а також у скляній, гумовій та інших галузях промисловості.

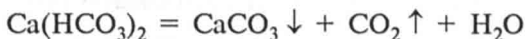
Карбонат кальцію  $\text{CaCO}_3$  у воді не розчиняється. Тому вапняна вода (розчин гідроксиду кальцію) внаслідок пропускання крізь неї оксиду карбону(IV) стає каламутною:



Проте, якщо пропускати  $\text{CO}_2$  довго, то каламуть із часом зникає. Це пояснюється утворенням розчинної кислої солі — гідрогенкарбонату кальцію:



Гідрогенкарбонат кальцію  $\text{Ca(HCO}_3)_2$  — речовина нестійка. Під час кип'ятіння розчину або тривалого стояння на повітрі гідрогенкарбонат розкладається з виділенням  $\text{CO}_2$  й утворенням середньої солі:



Гідрогенкарбонати лужноземельних металів, на відміну від їх карбонатів, добре розчиняються у воді. Розчинністю гідрогенкарбонатів у воді пояснюється постійне пересування карбонатів у природі. Ґрунтові води, що містять  $\text{CO}_2$ , проходячи крізь ґрунт і особливо крізь шари вапняку, розчиняють карбонат кальцію й виносять його з собою у вигляді гідрогенкарбонату в струмки, річки й море. Звідти він потрапляє в організм морських тварин і йде на побудову їхніх кістяків або, виділяючи вуглекислий газ, знову перетворюється на карбонат кальцію і відкладається у вигляді вапняку і т. д.

Карбонат натрію  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (кальцинована сода) і його кристалогідрат  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (кристалічна сода) використовуються у виробництві скла, мила, мийних засобів,



барвників тощо. У великій кількості їх потребують целюлозно-паперова, текстильна, нафтова та інші галузі промисловості.

Гідрогенкарбонат натрію  $\text{NaHCO}_3$  (питна сода) широко використовується під час випікання хліба, у харчовій промисловості, медицині, побуті. Питна сода входить до складу наповнювачів для вогнегасників. •

Карбонат калію  $\text{K}_2\text{CO}_3$  (поташ) застосовують для виготовлення мила, тугоплавкого скла, у фотосправі.

**Твердість води.** Вода, що біжить вапнистими гірськими породами, взаємодіє з оксидом карбону(IV) і перетворює карбонати кальцію й магнію на розчинні кислі солі — гідрогенкарбонати.

● Складіть відповідні рівняння реакцій і запишіть їх у йонній формі.

Перетворення нерозчинних карбонатів на розчинні гідрогенкарбонати призводить до вимивання карбонатів із земної кори, внаслідок чого утворюються порожнини — печери. А вода, що насичується розчинними гідрогенкарбонатами кальцію і магнію та іншими солями, стає твердою.

**Твердість води, зумовлена наявністю йонів кальцію  $\text{Ca}^{2+}$  і йонів магнію  $\text{Mg}^{2+}$ , називається загальною твердістю води.**

Чим вищий вміст у воді цих йонів, тим більша твердість води.

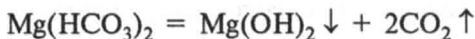
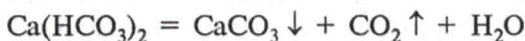
Загальна твердість води складається з *карбонатної* (тимчасової) і *некарбонатної* (постійної). Карбонатна твердість спричинюється наявністю у воді гідрогенкарбонатів кальцію і магнію. Вона усувається кип'ятінням. Некарбонатна твердість обумовлюється наявністю у воді сульфатів, хлоридів, нітратів тощо кальцію і магнію.

Ми розглядатимемо карбонатну, або тимчасову, твердість води.

Тверда вода непридатна для промислових і господарських потреб. У ній погано намилюється мило, дуже важко вимити волосся, прати білизну; погано розварюються овочі, а якщо використовувати таку воду у парових котлах, то утворюється накип. Він має погану теплопровідність, тому спричинює місцеве перегрівання стінок. Випадкове відлу-

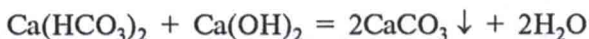
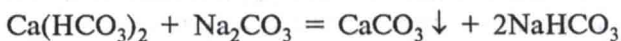
щення частини накипу від розпеченої стінки може призвести до швидкого випаровування води і вибуху котла.

З таких причин тверду воду перед використанням треба пом'якшувати, тобто видаляти з неї гідрокарбонати кальцію і магнію, переводячи їх у нерозчинні. Цього досягають насамперед кип'ятінням води. При цьому гідрокарбонати кальцію та магнію розкладаються:



Карбонати кальцію та магнію, а також гідроксид магнію випадають в осад, і вода втрачає твердість.

У домашніх умовах (під час прання, наприклад) для пом'якшення води можна додавати соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , у промислових умовах — частіше додають гашене вапно  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та інші речовини:



- Напишіть наведені рівняння реакцій у йонній формі.

---

### Завдання для самоконтролю

**130.** У першу порцелянову чашку насипали карбонат кальцію, в другу — нітрат калію, в третю — хлорид натрію і почали прожарювати, забувши позначити вміст чашок. Як можна, спостерігаючи процес прожарювання і випробовуючи продукти реакції, розпізнати взяті солі?

**131.** Як здійснити такі перетворення:

- а)  $\text{Ca} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCl}_2$ ;  
б)  $\text{MgCl}_2 \rightarrow \text{MgCO}_3 \rightarrow \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{MgCO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$ ?

Напишіть відповідні рівняння реакцій.

**132.** Як, маючи у розпорядженні тільки хлоридну кислоту, розпізнати карбонат барію, сульфат барію, сульфід барію? Відповідь проілюструйте рівняннями реакцій.

**133.** Як позбутися тимчасової твердості води? Відповідь проілюструйте рівняннями реакцій і запишіть їх у йонній формі.

**134.** Крізь розчин їдкого натру пропустили 5,6 л (н. у.) оксиду карбону(IV). Маса утвореного гідрогенкарбонату натрію становить (а) 21 г; (б) 42 г; (в) 84 г; (г) 168 г.

**135.** Унаслідок термічного розкладу 1 моль гідрогенкарбонату натрію, масова частка домішок в якому становить 2 %, утворюється вуглекислий газ об'ємом (н. у.)

(а) 5,5 л; (б) 11 л; (в) 22 л; (г) 22,4 л.

**136\*.** Для аналізу вапняку на вміст карбонату кальцію взяли наважку 5 г. На розчинення карбонату, який міститься у цій пробі, витрачено 100 мл 0,9 М розчину хлороводню. Яка масова частка карбонату кальцію у вапняку?

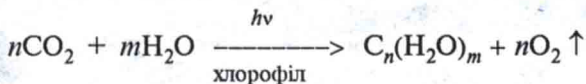
**137\*.** Суміш карбонату і гідрогенкарбонату натрію масою 146 г нагрівали доти, поки не припинилось зменшення маси. Маса залишку, що утворився після нагрівання, становить 137 г. Обчисліть масову частку карбонату натрію у цій суміші.

## § 23. КОЛООБІГ КАРБОНУ В ПРИРОДІ. СИЛІЦІЙ У ПРИРОДІ

Природні сполуки, до складу яких входить Карбон, постійно зазнають змін, унаслідок яких здійснюється колообіг Карбону.

Важлива роль у колообігу Карбону належить оксиду карбону(IV), що входить до складу атмосфери Землі. Цей газ надходить в атмосферу внаслідок багатьох процесів: виверження вулканів, горіння палива, розкладання вапняку, дихання людини, тварин і рослин, процесів бродіння і гниття.

З повітря  $\text{CO}_2$  у значних кількостях поглинається наземними рослинами та фітопланктоном Світового океану. Процес поглинання  $\text{CO}_2$  відбувається тільки на світлі — фотосинтез, унаслідок якого утворюються органічні сполуки, що містять Карбон. Внаслідок фотосинтезу в атмосферу виділяється кисень  $\text{O}_2$ :



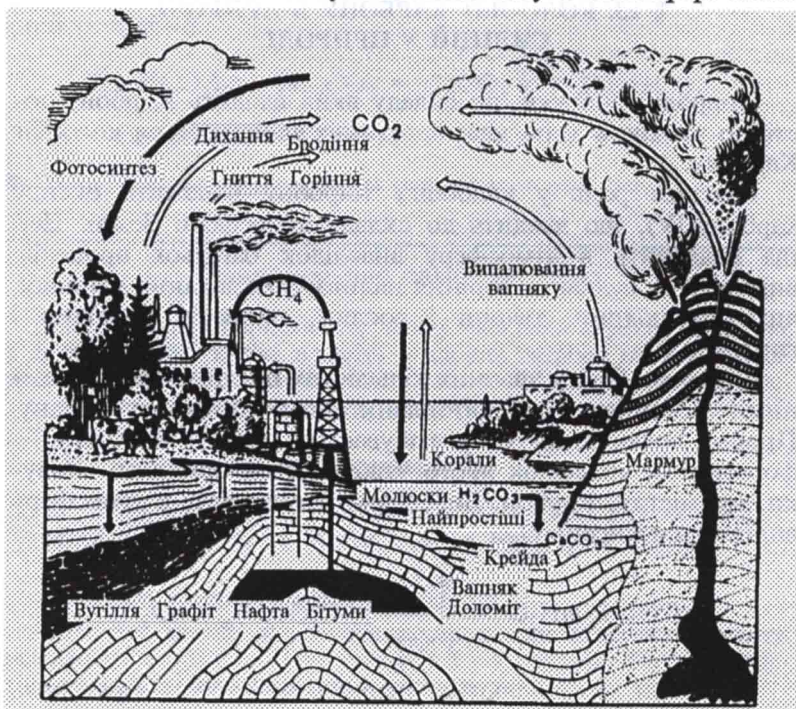
Із рослин, які поїдаються тваринами, Карбон переходить у тваринні організми. Тварини виділяють Карбон у вигляді вуглекислого газу під час дихання. Рослини і тварини з



часом відмирають, починають гнити, окиснюватись і частково перетворюватись на  $\text{CO}_2$ , що повертається у повітря й знову поглинається рослинами. А частково рослинні та тваринні рештки у ґрунті перетворюються на горючі копалини — кам'яне вугілля, нафту, природний газ. Горючі копалини використовують як паливо, внаслідок згоряння якого  $\text{CO}_2$  знову повертається в атмосферу.

Вуглекислий газ із атмосфери поглинається також водою Світового океану й реагує з гірськими породами під час їх руйнування. Відтак утворюються вапняки, доломіти та інші карбонати. Така різноманітність процесів забезпечує постійний колообіг Карбону в природі (мал. 12).

Проте через різке збільшення спалювання різних видів палива вміст вуглекислого газу в атмосфері дедалі збільшується, а вміст кисню зменшується. Порушення рівноваги між вмістом кисню й вуглекислого газу в атмосфері може



Мал. 12. Колообіг Карбону в природі



призвести до так званого «парникового ефекту» (шар  $\text{CO}_2$  відіграє таку саму роль, як скло в теплиці). Це доволі загрозливе явище. Річ у тім, що вуглекислий газ вільно пропускає на Землю випромінювання Сонця, але сильно затримує теплове випромінювання Землі. Порушується нормальна тепловіддача Землі у космічний простір, а це спричинює потепління клімату.

Потепління клімату Землі може викликати танення льодовиків і призвести до підвищення рівня Світового океану. В результаті позатоплюються всі низько розташовані частини материків — низини, що межують з океаном і густозаселені. Почнеться танення вічної мерзлоти, що спричинить заболочування великих територій, випадання рясних дощів, а це позначиться на сільському господарстві тощо.

Відомо, що головним регулятором співвідношення вуглекислого газу і кисню в атмосфері Землі є фотосинтез. Ще 50 років тому це співвідношення було оптимальним: об'ємна частка кисню в атмосфері становила 21 %, вуглекислого газу — 0,03 %. Нині нормальне співвідношення порушується. Господарська діяльність людини, з одного боку, призводить до посилення викидів  $\text{CO}_2$  в атмосферу, а з другого — до знищення «природних лабораторій», в яких здійснюється фотосинтез, тобто поглинається вуглекислий газ (вирубання лісів, масова загибель фітопланктону тощо). Отже, нині проблема охорони навколишнього середовища, у тому числі й повітря, дуже гостра, без її розв'язання людство не зможе вижити.

**Силіцій у природі.** Силіцій — другий хімічний елемент після Оксигену за поширенням у земній корі, його масова частка становить 27,6 %. У вільному стані в природі не зустрічається, лише у вигляді сполук, переважно у вигляді діоксиду силіцію  $\text{SiO}_2$  і силікатів.

Діоксид силіцію  $\text{SiO}_2$  в природі зустрічається у вигляді кварцу та багатьох його різновидів (кварцовий пісок, гірський кристаль, кремін, яшма, агат, аметист, опал тощо). Кремнезем  $\text{SiO}_2$  — основний компонент будь-якого піску.

У земній корі містяться силікати й алюмосилікати. До природних силікатів належать мінерали азбест і тальк, до алюмосилікатів — польовий шпат, каолін, слюда, нефелін. Алюмосилікати зустрічаються в природі окремо і в сумішах. Так, біла глина — це чистий каолін, а звичайна жовто-бура глина — це каолін з домішкою сполук Феруму. Гірська по-

рода граніт являє собою суміш кристалів польового шпату, слюди і кварцу.

Силіцій у вигляді  $\text{SiO}_2$  входить до складу рослинних і тваринних організмів (діатомові водорості, губки, хвощ, бамбук, солома, частини хребта тощо). Масова частка  $\text{SiO}_2$  у крові та плазмі людини становить 0,001 %. Проте штучне проникнення пилу  $\text{SiO}_2$  у живі тканини шкідливе, викликає подразнення бронхів, силікоз легенів, захворювання шлуноково-кишкового тракту.

---

### Завдання для самоконтролю

**138.** Як відбувається колообіг Карбону в природі? Яку роль у цьому процесі відіграє фотосинтез?

**139.** Що таке «парниковий ефект»? Які заходи потрібні, щоб протидіяти цьому явищу? Відповідь мотивуйте.

**140.** У якому вигляді елемент Силіцій зустрічається в природі?

## § 24. СИЛІКАТНА КИСЛОТА Й СИЛІКАТИ

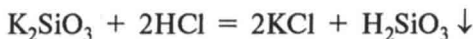
Силікатна кислота  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  належить до слабких двохосновних кислот (слабкіша за карбонатну кислоту). У воді — практично нерозчинна, проте легко утворює колоїдні розчини.

Колоїдні розчини — це системи, що складаються з дуже подрібнених частинок, рівномірно розподілених в однорідному середовищі. Вони займають проміжне місце між істинними розчинами і зависями. До колоїдних розчинів належать, наприклад, молоко, кров, яєчний білок.

Силікатна кислота за стандартних умов під час нагрівання поступово розкладається на оксид силіцію(IV)  $\text{SiO}_2$  і воду:



Силікатну кислоту не можна добути взаємодією її оксиду з водою у стандартних умовах (чому?). Її добувають дією кислот на розчини силікатів  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  або  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ :



Силікатну кислоту можна синтезувати з  $\text{SiO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ , але тільки в результаті нагрівання під дуже великим тиском. Така реакція відбувається у глибинах Землі. Подібним способом у лабораторіях добувають монокристали штучного кварцу — «гірського кришталю».

**Силікати** — солі силікатної кислоти (наприклад,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  це силікат натрію,  $\text{CaSiO}_3$  — силікат кальцію).

Природні силікати — це доволі складні речовини. Їх склад звичайно позначають як сполучення кількох оксидів. Так, склад силікату кальцію  $\text{CaSiO}_3$ , наприклад, можна позначити таким чином:  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , а силікату натрію  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  —  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ .

Якщо до складу природних силікатів входить оксид алюмінію, то вони називаються *алюмосилікатами*. Наприклад, каолін — біла глина  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , польовий шпат  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ , нефелін  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ .

Силікати в основному практично нерозчинні у воді. Виняток становлять силікати натрію і калію, тому їх називають ще розчинним склом, а розчин — рідким склом.

Силікати широко використовують у техніці. Розчинним склом просочують тканини і деревину, щоб запобігти їх спалахуванню (протипожежний захист). Рідке скло входить до складу вогнетривких замазок для склеювання скла, порцеляни, фаянсу, цементу, бетону, цегли, різних керамічних виробів та використовується для виготовлення силікатного клею (розчину  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  або  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  у воді).

---

### Завдання для самоконтролю

**141.** Схарактеризуйте силікатну кислоту. Які хімічні властивості характерні для неї? У чому подібність і відмінність її від карбонової кислоти?

**142.** Як, маючи діоксид силіцію і всі інші необхідні речовини, добути силікатну кислоту? Напишіть рівняння відповідних реакцій.

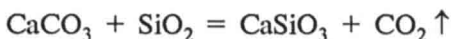
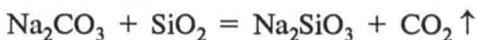
**143.** Напишіть рівняння реакцій між: а) кремнеземом і содою; б) кремнеземом і негашеним вапном; в) силікатом натрію і хлоридною кислотою. Зазначте, за яких умов відбувається кожна з цих реакцій.

## § 25. БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Із природних матеріалів, що містять Силіцій, виготовляють скло, кераміку, цемент.

**Скло** — це твердий прозорий матеріал. Найпоширенішим є силікатне скло, основний компонент якого — оксид силіцію(IV)  $\text{SiO}_2$ .

Сировиною для виробництва звичайного скла є сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , вапняк  $\text{CaCO}_3$  і пісок  $\text{SiO}_2$ . Усі складові частини очищають, змішують і сплавляють за температури близько  $1400^\circ\text{C}$ . Відбуваються такі реакції (спрощено):



Фактично до складу скла входять силікати натрію і кальцію, а також надлишок  $\text{SiO}_2$ . Тому склад звичайного віконного скла можна подати такою спрощеною формулою:  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$ .

Змінюючи склад шихти, додаючи різні добавки, одержують скло з наперед заданими властивостями. Так, якщо замість соди  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  взяти поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , то можна добути високоякісне тугоплавке скло, з якого виготовляють хімічний посуд. А якщо взяти поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , кремнезем  $\text{SiO}_2$  і оксид плюмбуму(II)  $\text{PbO}$ , то утвориться кристаль.

Особливий вид скла — кварцове скло. Воно являє собою склоподібну форму чистого кремнезему  $\text{SiO}_2$ . Таке скло зовсім не чутливе до різких коливань температури, воно має цінні оптичні властивості (пропускає ультрафіолетові промені).

Скло широко використовують майже у всіх галузях промисловості та в побуті. З нього виготовляють труби, тару, лабораторний посуд, деталі оптичних приладів, художні вироби, побутовий посуд. На основі скла виготовляють скловолокно, яке застосовують для пошиття спецодягу, а також склопластики, зокрема *склотекстоліт*. Цей склопластик — чудовий будівельний матеріал (міцний, не гние, легко обробляється). Склотекстоліт використовують як конструкційний матеріал у машинобудуванні, а в електроніці — як ізолятор. На основі скла створюють мікрокристалічні матеріали — ситали. Вони дуже міцні, хімічно й термічно стійкі, а тому використо-



вуються для виготовлення апаратури для хімічних виробництв, деталей машин і механізмів, труб, електроізоляторів тощо. Сучасна промисловість виробляє спеціальне скло, стійке проти дії радіоактивного випромінювання.

**Кераміка.** Вироби з глини називають керамікою, а керамічне виробництво — гончарним. Найпоширеніша кераміка та, що складається з різних оксидів, у тому числі — оксиду силіцію(IV)  $\text{SiO}_2$ . Із керамічних виробів важливе значення мають порцеляна і фаянс.

**Порцеляна** — один із видів тонкої кераміки — білий матеріал, складається в основному з  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{K}_2\text{O}$ . Як сировину для добування порцеляни використовують білу глину — каолін, кварцовий пісок і польовий шпат ( $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ). Порцеляна має невелику пористість, через що вона водо- і газонепроникна, доволі високу механічну міцність і термостійкість, електроізоляційні властивості. З неї виготовляють санітарно-технічні вироби, електроізолятори, предмети побуту і художні вироби.

**Фаянс** — керамічний матеріал, схожий на порцеляну, покритий тонкою склоподібною плівкою — поливою. Містить ті самі компоненти, що й порцеляна, але в інших співвідношеннях. Із фаянсу виготовляють облицювальну плитку, посуд, художні вироби.

Велика група спеціальних керамічних виробів використовується у будівництві. З кераміки виготовляють цеглу, панелі для стін, плитку для підлоги, черепицю, труби, а також глиняний посуд, горщики для квітів.

**Цемент.** Цемент являє собою сірий порошок, який складається із силікатів та алюмінатів кальцію, що під час змішування з водою швидко висихає і твердне, перетворюючись на каменеподібну масу.

Для добування цементу як сировину використовують вапняк, глину та інші речовини. Сировина завантажується у піч, перемішується і спікається за температури у межах  $1400\text{—}1600\text{ }^\circ\text{C}$ . Одержану масу, основними компонентами якої є  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , охолоджують і перемелюють на порошок. Добувають цемент різних сортів: морозовитривалий, такий, що швидко твердне, та ін.

Цемент — важливий будівельний матеріал. Із суміші цементу, піску й води готують *будівельні розчини*. Цемент, змішаний з водою і наповнювачами (піском, щебенем, гравієм, шлаком), утворює суміш, з тужавінням якої утворюється **бетон**. Якщо бетоном залити сталевий каркас, дістанемо **залізобетон**. Із нього роблять балки, панелі, труби, мости, перекриття, шпали.

## § 26. КАРБОН У ПРИРОДІ

Масова частка елемента Карбону на Землі порівняно незначна, становить 0,1 %. Проте його значення в житті природи виключно велике. На відміну від Силіцію він зустрічається в природі як у вільному стані у вигляді простих речовин (алмаз, графіт), так і у зв'язаному — у вигляді численних мінералів: карбонатів, нафти, торфу, природного газу, сланців, вугілля тощо. Карбон міститься в атмосферному повітрі у вигляді вуглекислого газу (об'ємна частка  $\text{CO}_2$  0,03 %). Окрім того, всі рослинні й тваринні організми складаються з речовин, в утворенні яких головна роль належить Карбону. У гідросфері оксид карбону(IV)  $\text{CO}_2$  у розчинному вигляді міститься в деяких мінеральних водах (Свалява, Лужанська, Єсентуки, Боржомі). Отже, цей елемент — один із найпоширеніших на Землі — в літосфері, атмосфері, гідросфері, хоча загальний вміст його й невеликий.

Сполуки, що містять у своєму складі Карбон, заведено називати органічними.

Виняток становлять оксиди карбону, карбіди, карбонатна кислота, карбонати та деякі інші сполуки Карбону, що вважаються неорганічними.

Різноманітність і величезна кількість органічних речовин зумовили виділення хімії сполук Карбону, тобто органічної хімії, в окремий розділ сучасної хімії, вивчення якого ви починаєте.

## ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

## § 27. ЩО ТАКЕ ОРГАНІЧНІ СПОЛУКИ

Ви вже знаєте, що серед сполук різних елементів окрему групу становлять ті, що утворені Карбоном, так звані *органічні сполуки*. Це слово не випадково має спільний корінь зі словом «організм». Ще на початку XIX ст., коли було запроваджено цей термін, вважалося, що органічні речовини можна виділяти з продуктів рослинного й тваринного походження і вивчати їх у готовому вигляді, але неможливо добути в лабораторії з інших речовин, тобто хімічним способом. Існувала навіть так звана віталістична теорія, згідно з якою органічні речовини утворюються під впливом «життєвої сили» (від лат. *vis vitalis*), що діє лише в організмі.

Справді, живі організми є ніби хімічними лабораторіями, де утворюються і розкладаються органічні речовини. Проте, як виявилось, їх можна добути і в лабораторних умовах. Уперше це було доведено в 1828 р., коли німецький хімік Ф. Велер синтезував сечовину — продукт життєдіяльності тваринних організмів. У наступні роки було синтезовано оцтову кислоту, жири, цукристу речовину, пізніше — сечову кислоту (І. Я. Горбачевський). Так хімічна наука спростувала віталістичні уявлення.

З часом було розроблено безліч способів добування органічних речовин шляхом синтезу, в тому числі з неорганічних речовин. Але назва «органічні сполуки» збереглася, і галузь хімічної науки, яка вивчає сполуки Карбону, традиційно називається *органічною хімією*.

Навколо нас переважно органічні речовини: з них виготовлені меблі, одяг, взуття; харчові продукти — жири, цукор — також належать до органічних сполук. Папір для книжки, яку ви зараз читаете, виготовлений із целюлози, що є органічною речовиною. З органічних речовин буду-



## ГОРБАЧЕВСЬКИЙ ІВАН ЯКОВИЧ (1854—1942)

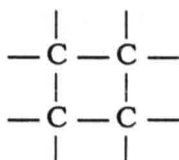
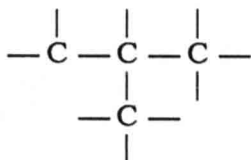
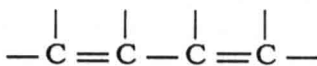
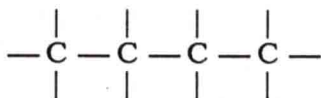
Український учений, академік. Народився в Україні, працював у Відні, Празі, професор, ректор Українського вільного університету в Празі. Наукові праці стосуються органічної хімії та біохімії. Вперше синтезував сечову кислоту (1882 р.) і з'ясував шляхи її утворення в організмі. Висловив думку про амінокислотний склад білків. Зробив внесок у розвиток української наукової термінології. Автор підручників з хімії українською мовою.

ються рослинні і тваринні організми, а життєво важливі біохімічні процеси, що відбуваються в них, є реакціями між органічними сполуками.

Люди здавна використовували органічні речовини і реакції між ними. Обробкою жирів рослинним попелом добували мило — органічну сполуку, виробляли барвники рослинного й тваринного походження — індиго, пурпур та інші. Вино, оцет виготовляли бродінням виноградного соку (при цьому взаємодіють органічні речовини). До складу засобів стародавньої медицини та косметики також входили органічні речовини.

Які ж особливості сполук Карбону зумовлюють вивчення їх окремо від сполук інших елементів? Насамперед, сполук Карбону у багато разів більше, ніж тих, що його не містять. Нині відомо понад 10 мільйонів органічних речовин. Щороку їх кількість поповнюється 200—300 тисячами нових, добутих синтетично. Зважте, що неорганічних речовин відомо лише близько 200 тисяч.

Атоми Карбону здатні послідовно сполучатися між собою, утворюючи молекули різноманітної форми: лінійні і розгалужені, довгі і короткі, ланцюги і кільця. Наприклад:





Завдяки цій різноманітності будови речовини мають різноманітні властивості. Наприклад, молекули поліетилену мають форму нерозгалужених карбонових ланцюгів, а молекули аспірину — форму шестичленних карбонових кілець.

Є сполуки, що містять у молекулі один атом Карбону, а є такі, до складу яких входять тисячі цих атомів. Крім них, молекули органічних речовин можуть містити атоми Гідрогену, Оксигену, Нітрогену, галогенів, Сульфуру, Фосфору та деяких інших елементів.

На відміну від неорганічних речовин якісний склад органічних сполук обмежений, проте кількісний — значно багатший.

Валентність більшості елементів у неорганічних сполуках змінна (пригадайте сполуки, в яких Сульфур, Фосфор, Нітроген мають різну валентність), а елементи органічних сполук виявляють значно менше валентних станів. Карбон в органічних речовинах завжди чотиривалентний.

Різнорманітніші й види хімічних зв'язків у неорганічних речовинах — йонний, ковалентний, металічний. Органічні ж речовини утворюються переважно завдяки ковалентним зв'язкам, хоча є серед них і йонні сполуки.

Кристалічні ґратки більшості органічних сполук молекулярні, через це вони легкоплавкі, часто мають запах. На відміну від тугоплавких, стійких проти нагрівання йонних неорганічних речовин (температура плавлення хлориду натрію становить  $800^{\circ}\text{C}$ ), органічні згоряють з утворенням води й вуглекислого газу і виділенням теплоти або розкладаються під час нагрівання до  $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ . Горючість органічних речовин зумовлює їх використання у вигляді палива і пального (вугілля, деревина, гас, бензин тощо).

Проводячи реакції між неорганічними речовинами, ви часто використовували їхні водні розчини. Органічні ж речовини здебільшого не розчиняються у воді. Для видалення з тканини плям органічного походження, наприклад масних, треба застосовувати спеціальні органічні розчинники, а не воду.

Вивчаючи хімічні властивості неорганічних речовин, ви спостерігали утворення осадів, газів, зміну забарвлення тощо, при цьому ефект з'являвся одразу ж після змішування речовин, тобто реакції відбувалися швидко, практично миттєво. Органічні речовини реагують між собою, як правило, повільно, до того ж, реакції можуть мати кілька напря-

мів, з утворенням різних побічних продуктів. Оскільки в рівняннях реакцій органічних сполук, як правило, записують лише основні продукти, то замість знака рівності прийнято ставити стрілку.

Однак, незважаючи на істотні відмінності між органічними та неорганічними речовинами, поділ їх на ці дві групи умовний. Утворення і реакції органічних речовин відбуваються за тими самими законами, що й для неорганічних речовин. Серед органічних речовин є розчинні у воді сполуки, електроліти (наприклад, солі органічних кислот), є термостійкі (наприклад, відомий вам тефлон, з якого виготовляють жаростійке покриття посуду).

Органічні та неорганічні речовини об'єднує і те, що вони можуть взаємно перетворюватися. Пригадайте колообіг речовин у природі. З неорганічних речовин вуглекислого газу і води в рослинах синтезується органічна речовина глюкоза. Спожита у вигляді корму, вона використовується тваринами як джерело енергії і при цьому знову перетворюється на вуглекислий газ і воду. Так само можна простежити перетворення сполук Нітрогену, Оксигену, Гідрогену, Фосфору.

**Природні і синтетичні органічні сполуки.** Розрізняють органічні сполуки, що існують у природі або добуті з природних речовин, і ті, що виготовлені синтетичним шляхом, за допомогою хімічних перетворень з інших органічних чи неорганічних речовин. До природних органічних продуктів належать нафта, природний газ, вугілля, тобто корисні копалини органічної природи, продукти рослинного походження, такі як деревина, цукор, крохмаль, олії, природний каучук, волокна бавовни, льону, продукти тваринного походження — амінокислоти, білки, жири, волокна шерсті. Багато органічних речовин містить планктон.

До синтетичних органічних продуктів належать пластичні маси, синтетичні волокна та каучуки, хімічні засоби захисту рослин, лікарські препарати, барвники, мило та інші мийні засоби, фотоматеріали, запашні, смакові речовини та багато інших.

Синтетична органічна хімія подарувала людству величезну кількість речовин, що не існують у природі, до того ж, значно дешевших порівняно з виділеними з природної сировини. Розпитайте літніх людей, як змінилися протягом їхнього життя матеріали, з яких виготовляють одяг, предмети побуту, які зміни відбулися в транспорті, будівництві, у

приготуванні і зберіганні їжі, у пранні та чищенні одягу тощо. Ви переконаєтеся, що продукти синтетичної органічної хімії змінили наше життя, зробили його комфортнішим.

### Завдання для самоконтролю

144. Який елемент становить основу складу органічних сполук?  
145. Яка подія в науці вважається початком розвитку синтетичної органічної хімії?  
146. Поясніть умовність терміну «органічна хімія».  
147. Чому, на вашу думку, кількість органічних речовин значно переважає кількість неорганічних речовин?  
148\*. Чим відрізняються органічні та неорганічні речовини? Складіть порівняльну таблицю за ознаками, що розглядалися в тексті параграфа.  
149. Розгляньте предмети навколо вас. Які з них, на вашу думку, виготовлені з органічних речовин?

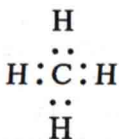
### § 28. МЕТАН

**Склад і будова молекули.** Найпростішою органічною сполукою, до складу якої входять лише один атом Карбону і чотири атоми Гідрогену, є метан. Його молекулярна формула  $\text{CH}_4$ .

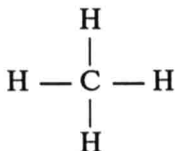
- Пригадайте електронну будову атомів Карбону і Гідрогену.

На зовнішньому електронному рівні атома Карбону у збудженому стані містяться чотири неспарені електрони, завдяки яким можуть утворюватися чотири зв'язки з іншими атомами, тобто Карбон виявляє валентність чотири (див. с. 82). Атоми Гідрогену мають по одному електрону і є одновалентними. Надаючи у спільне користування чотири електрони, Карбон утворює чотири ковалентні зв'язки з чотирма атомами Гідрогену.

Позначивши валентні електрони крапками, дістанемо електронну формулу метану:



Замінімо крапки, що позначають електронні пари, рисками — матимемо структурну формулу метану:



**Фізичні властивості і поширення у природі.** За нормальних умов метан — газ, безбарвний, без запаху, майже вдвічі легший за повітря. У воді майже не розчиняється, але добре розчинний в органічних розчинниках.

Природний газ, що надходить до газової магістралі, на 98 % складається з метану і має, як ви знаєте, неприємний запах. Він спричинений додаванням спеціальних речовин, що пахнуть.

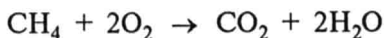
● З якою метою, на вашу думку, це робиться?

Як основа природного газу метан утворився в надрах Землі, ймовірно, внаслідок взаємодії розжарених карбідів металів з водяною парою.

У природі можна спостерігати метан, що утворюється під час гниття рослинних решток без доступу повітря. На болотах він утворює бульбашки на поверхні води (болотний газ). У вугільних шахтах є рудниковий газ — це теж метан.

Метан є не тільки на Землі. Він становить основу атмосфери планет Юпітер і Сатурн.

**Хімічні властивості.** З однією із хімічних властивостей метану ви знайомі з побуту — реакцією **горіння**. Ця реакція відбувається під час згоряння природного газу, який надходить газопроводами. Унаслідок згоряння метану, так само, як і інших органічних речовин, утворюються вода й вуглекислий газ:



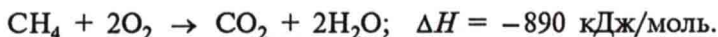
Продукти реакції можна виявити за допомогою досліду. Якщо підпалити метан, зібраний у циліндрі, або опустити газовідвідну трубку з полум'ям метану у скляний циліндр, то через деякий час можна помітити утворення вологи на стінках циліндра. Вапняна вода, додана в циліндр, стає каламутною. Отже, внаслідок горіння метану виділяються



вода і вуглекислий газ. Ці продукти утворилися з Карбону і Гідрогену, які є у складі метану. Дослід підтверджує якісний склад цієї сполуки.

- Пригадайте, як відбувається реакція вуглекислого газу з вапняною водою. Складіть хімічне рівняння. Чому вода стає каламутною?

Крім продуктів окиснення, виділяється також велика кількість теплоти. Термохімічне рівняння реакції горіння метану записується так:



- Пригадайте, як називаються реакції, що відбуваються з виділенням теплоти.

Горіння метану — це реакція повного окиснення. У разі нестачі кисню метан окиснюється неповністю, і замість оксиду карбону(IV) утворюється вуглець (у вигляді сажі) та оксид карбону(II). Це дуже токсична речовина без запаху і кольору. Слід знати, що в умовах неповного окиснення метану в побутових газових приладах його полум'я набуває жовтого забарвлення завдяки розжареним частинкам вуглецю.

- Пригадайте, у чому полягає отруйність чадного газу. Яким чином можна вберегтися від отруєння ним?

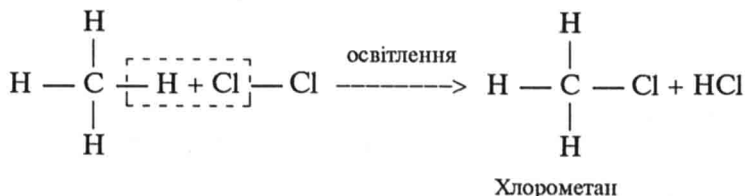
Метан утворює вибухонебезпечні суміші з киснем і повітрям. Вибух може статися навіть від іскри, якщо концентрація метану досягає критичної, ось чому слід додержувати правил безпеки, постійно провітрювати приміщення, де встановлені газові опалювальні прилади.

За стандартних умов метан не окиснюється таким окисником, як перманганат калію  $\text{KMnO}_4$ . Якщо крізь його розчин пропустити метан, фіолетове забарвлення не зникне, реакція не відбувається. Не діють на метан і кислоти та луги.

З нагріванням метану до високої температури (близько  $1000^\circ\text{C}$ ) без доступу кисню відбувається реакція розкладу з утворенням вуглецю і водню:

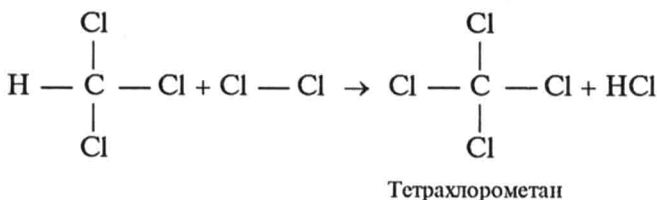
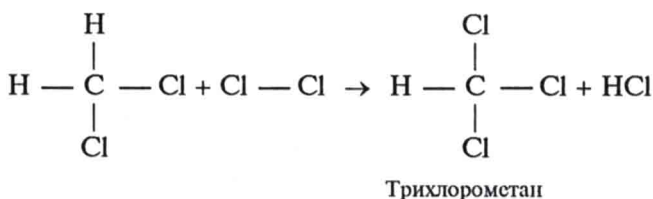
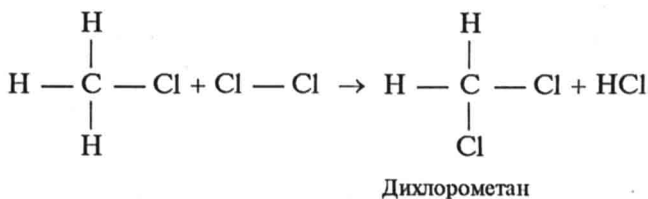


Метан вступає в реакцію з хлором  $\text{Cl}_2$ . Під час освітлення скляної посудини з сумішшю цих двох газів ультрафіолетовим промінням або під час нагрівання відбувається реакція **хлорування** метану



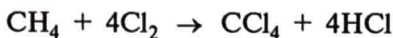
На розсіяному сонячному світлі реакція відбувається повільно, можна спостерігати поступове зникнення жовто-зеленого забарвлення хлору, що витрачається на взаємодію з метаном.

За хімічним характером це реакція **заміщення**. Вона не припиняється на першій стадії, а відбувається до повного заміщення всіх атомів Гідрогену:



- Напишіть рівняння наведених реакцій за допомогою молекулярних формул.

Сумарне рівняння повного хлорування метану:



На практиці утворюється суміш сполук, так званих *хлоропохідних* метану.

На основі викладеного вище зробимо висновки щодо хімічної активності метану. Для того, щоб він прореагував, потрібно нагріти його до високої температури або підпалити, застосувати такий активний реагент, як хлор. Отже, *метан — доволі інертна сполука. Для нього характерні реакції заміщення, він не вступає в реакції приєднання.*

**Застосування метану.** Хоча склад метану як основи болотного і рудникового газів було визначено на початку XIX ст., його широке використання почалося лише через сто років після цього. Завдяки теплоті, що виділяється внаслідок згоряння метану, він використовується як відносно дешеве паливо у побуті та багатьох промислових процесах.

Широко застосовуються продукти хімічних перетворень метану: вуглець (сажа) — для виготовлення гуми, друкарських фарб; водень — у синтезі аміаку; хлорометан використовується в органічному синтезі; дихлорометан, трихлорометан — розчинники; трихлорометан (інша назва хлороформ) довгий час використовувався в медицині як знеболювач під час хірургічних операцій; тетрахлорометан — засіб гасіння вогню. Продукти неповного окиснення метану є вихідними для виготовлення пластмас, використовуються в органічному синтезі.

---

### Завдання для самоконтролю

150. Як можна довести на досліді хімічний склад метану?
151. Завдяки якій властивості метану його можна спостерігати у вигляді бульбашок на поверхні заболочених водойм?
152. Який тип зв'язків між атомами в молекулі метану?
153. В які реакції вступає метан? Напишіть рівняння, визначте типи реакцій.
154. Метан можна синтезувати з простих речовин. Складіть

рівняння реакції. Чи має вона практичне значення? Теоретичне? Дайте пояснення.

**155.** Складіть електронні формули хлоропохідних метану.

**156.** Обґрунтуйте хімічними властивостями галузі застосування метану.

**157.** Метан містить 5 % (за об'ємом) негорючих домішок. Для добування 2670 кДж теплоти треба спалити такий газ об'ємом (н. у.)

(1) 67,2 л;

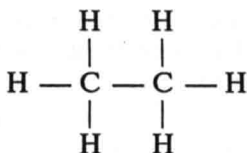
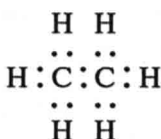
(3) 22,4 л;

(2) 70,7 л;

(4) 11,2 л.

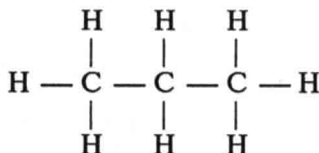
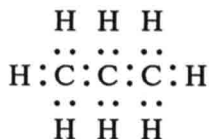
## § 29. ГОМОЛОГИ МЕТАНУ

**Склад і будова молекул.** Ви вже знаєте, що атоми Карбону мають здатність сполучатися між собою, утворюючи ланцюги. Якщо два атоми Карбону сполучаються між собою ковалентним зв'язком, надаючи у спільне користування по одному електрону, то у кожного з атомів залишається по три електрони, що можуть утворити спільні електронні пари з трьома атомами Гідрогену. Хімічний склад такої сполуки  $C_2H_6$ . Її електронна та структурна формули:



Ця сполука називається **етан**.

Запишемо електронну формулу сполуки Карбону з Гідрогеном, у якій містяться три послідовно з'єднані карбонові атоми, пам'ятаючи, що Карбон чотири-, а Гідроген одновалентний:



Молекулярна формула **пропану** (а саме так називається ця сполука) —  $C_3H_8$ .



Структурні формули можна записувати у спрощеному вигляді. Наприклад, для етану  $\text{CH}_3\text{—CH}_3$ , для пропану  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$ .

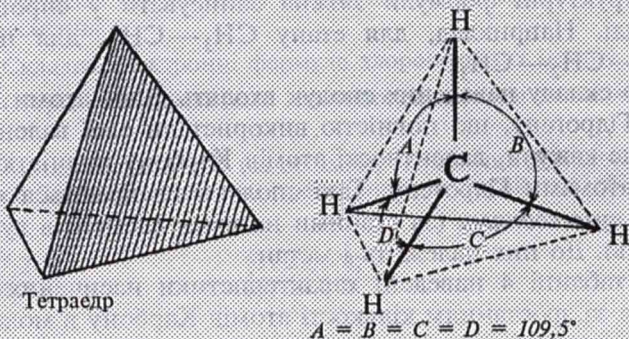
До складу наведених сполук входять лише атоми Карбону і Гідрогену, що повністю використали свої валентності, інакше кажучи, валентності атомів Карбону повністю насичені атомами Гідрогену. Такі сполуки називаються **насиченими вуглеводнями** (за старими назвами елементів вуглець і водень). До них належить і метан.

У таблиці 4 наведені характеристики насичених вуглеводнів за зростанням кількості атомів Карбону в молекулах. Назви перших чотирьох сполук цього ряду склалися історично, а починаючи з пентану, утворюються від грецьких або латинських числівників додаванням суфікса **-ан**.

**Таблиця 4. Насичені вуглеводні**

Назва сполуки	Молекулярна формула	Структурна формула (скорочена)	$t_{\text{кип.}}, ^\circ\text{C}$
Метан	$\text{CH}_4$		-162
Етан	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{CH}_3\text{—CH}_3$	-89
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$	-42
Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2)_2\text{—CH}_3$	-0,5
Пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2)_3\text{—CH}_3$	36
Гексан	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2)_4\text{—CH}_3$	69
Гептан	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2)_5\text{—CH}_3$	98
Октан	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2)_6\text{—CH}_3$	126
Нонан	$\text{C}_9\text{H}_{20}$	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2)_7\text{—CH}_3$	151
Декан	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	$\text{CH}_3\text{—(CH}_2)_8\text{—CH}_3$	174

Структурні формули, якими часто користуються в органічній хімії, є площинними схемами молекул, що відображають лише послідовність розміщення атомів у молекулах. Реальна ж їхня будова відрізняється від схематичного зображення, оскільки атоми розміщуються у тривимірному просторі. Доведено, що молекула метану має форму правильної тригональної піраміди (тетраедра). Якщо атом Карбону вписати в середину цієї геометричної фігури, то чотири



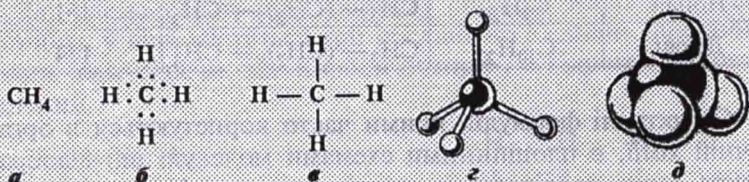
Мал. 13. Тетраедрична будова молекули метану

валентні зв'язки спрямовуються під кутом  $109,5^\circ$  до вершин тетраедра, де розміщені атоми Гідрогену (мал. 13).




Тетраедричний напрям зв'язків дає змогу валентним електронам перебувати один від одного на максимальній відстані. Така будова молекули зумовлена електронною будовою атома Карбону і підтверджується фізико-хімічними дослідженнями.

Реальну будову молекул можна передати за допомогою моделей. Для конструювання моделей атоми Карбону і Гідрогену виготовляють у вигляді кульок, а хімічні зв'язки — у вигляді стержнів, тому такі моделі називаються *кулестержневими* (мал. 14, з; мал. 15, з).

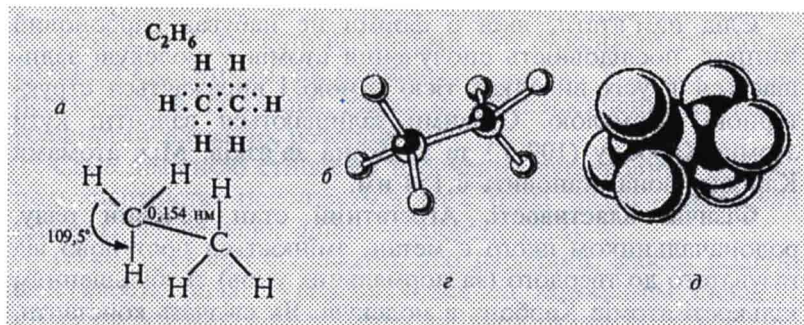
Використовують також *масштабні* моделі, в яких розміри атомів і зв'язків передаються точніше, пропорційно реальним розмірам молекул (мал. 14, д; мал. 15, д).



Мал. 14. Метан: а — молекулярна формула; б — електронна формула; в — структурна формула; з — кулестержнева модель молекули; д — масштабна модель молекули

-  атом Карбону
-  атом Гідрогену
-  хімічний зв'язок

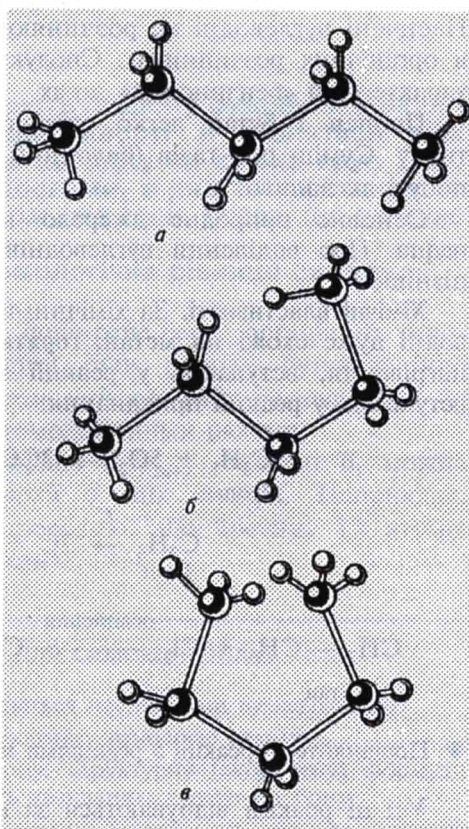




**Мал. 15.** Етан: *а* — молекулярна формула; *б* — електронна формула; *в* — геометрія молекули; *г* — кулестержнева модель молекули; *д* — масштабна модель молекули

Спробуємо зібрати модель молекули пентану, додержуючи тетраедричного напрямку (під кутом  $109,5^\circ$  один до одного) хімічних зв'язків атомів Карбону. Ми помітимо, що ланцюг карбонових атомів являє собою не пряму, а зигзагоподібну лінію (мал. 16, *а*).

У молекулі пентану навколо карбон-карбонових зв'язків за нормальних умов можливе вільне обертання. Внаслідок цього молекула може набувати інших форм, як це показано на мал. 16 *б*, *в*. Зигзагоподібна будова — енергетично найвигідніша, оскільки атоми в цьому разі максималь-но віддалені один від одного.



**Мал. 16.** Моделі просторових форм молекули пентану

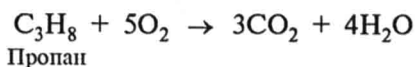
Слід пам'ятати, якої б форми не набував карбоновий ланцюг, послідовність сполучення атомів у молекулі залишається в усіх випадках тією самою і виражається структурною формулою. Сталими залишаються валентні кути атомів Карбону ( $109,5^\circ$ ) та довжина зв'язків. Між атомами Карбону вона становить  $0,154 \text{ нм}$ .

**Фізичні властивості.** Агрегатний стан речовин ряду, родоначальником якого є метан, змінюється поступово від газуватого до твердого (за нормальних умов) зі збільшенням кількості атомів Карбону в молекулі. Як свідчать константи, наведені у таблиці 4, перші чотири речовини за нормальних умов — гази, далі йдуть рідини, а починаючи з вуглеводню складу  $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$  (у таблиці не наведений), — тверді речовини. Насичені вуглеводні не розчиняються у воді, але розчинні в органічних розчинниках. Сполуки складу  $\text{C}_5\text{—C}_{17}$  мають характерний «бензиновий» запах.

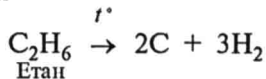
Пропан і бутан легко скраплюються за підвищеного тиску. Суміш цих газів (балонний газ) використовується в побуті як паливо.

Основне природне джерело насичених вуглеводнів — нафта. Про виділення вуглеводнів з нафти ви дізнаєтесь пізніше.

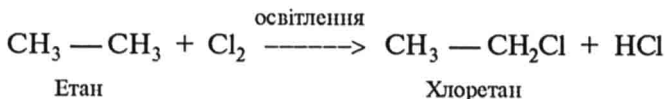
**Хімічні властивості.** За хімічними властивостями ці вуглеводні дуже схожі на метан: **горять, розкладаються** під час нагрівання, вступають у реакції **заміщення** з хлором, не вступають у реакції приєднання:



Пропан



Етан



Етан

Хлоретан

- Порівняйте ці реакції з реакціями метану.

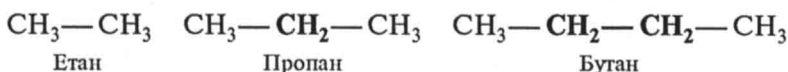
Усі ці реакції відбуваються за певних додаткових умов: нагрівання до температури розкладання чи займання, світлове опромінення.



За стандартних умов насичені вуглеводні доволі інертні, не реагують з кислотами, лугами, не окиснюються таким сильним окисником, як перманганат калію. У цьому можна переконатися на досліді, діючи на різні насичені вуглеводні розчинами названих речовин.

Саме хімічною стійкістю насичених вуглеводнів, відносно інертністю пояснюється їхня інша назва — **парафіни** (від лат. *parum* мало, *affinis* — споріднений).

Отже, насичені вуглеводні, або парафіни, мають подібні властивості, хоча й відрізняються за кількісним складом молекул. Уважно розглянувши таблицю 4, ви помітите, що ця різниця виражається кількістю груп  $\text{CH}_2$ :



**Сполуки, що мають подібну будову молекул і подібні хімічні властивості й різняться між собою за складом на одну чи кілька груп  $\text{CH}_2$ , називаються гомологами, а ряд таких сполук — гомологічним рядом (від грец. слова, що означає відповідність).**

**Група  $\text{CH}_2$  — гомологічна різниця складу.**

Явище гомології дуже поширене серед органічних речовин. Розглянуті нами метан, етан, пропан, бутан та інші вуглеводні належать до *гомологічного ряду метану*. Далі ви ознайомитеся з іншими гомологічними рядами.

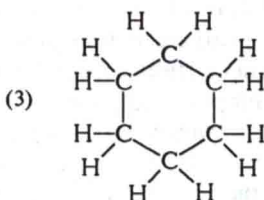
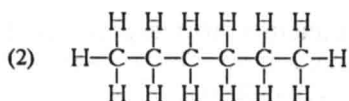
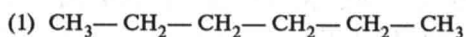
Загальна формула парафінів  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ . Знаючи її, можна вивести формулу будь-якої з цих сполук. Наприклад, формула насиченого вуглеводню, що містить 15 атомів Карбону,  $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$  (пентадекан).

---

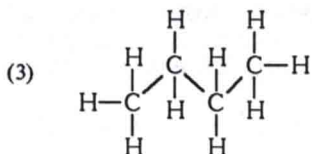
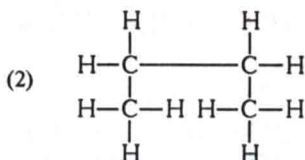
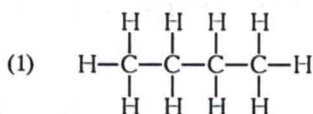
### Завдання для самоконтролю

158. Які сполуки називаються насиченими вуглеводнями?
159. Наведіть загальну формулу гомологів метану.
160. Складіть молекулярну, структурну (скорочену) формули гомолога метану, що містить дванадцять атомів Карбону.
161. Як називається насичений вуглеводень, що має відносну молекулярну масу 114? 72?

**162.** Яка зі структурних формул відповідає гексану:



**163.** Яка зі структурних формул ближча до реального розміщення атомів у просторі:



**164.** Чи можна змити водою нафтову пляму з тканини? Чому?

**165.** Яка відмінність між молекулярною і структурною формулами? Між структурною формулою і моделлю? Між кулестержневою і масштабною моделями?

**166.** Чи існує залежність між агрегатним станом гомологів метану і їхньою відносною молекулярною масою? Дайте пояснення.

**167\*.** Намалуйте графік зміни температури кипіння гомологів метану. Продовжіть графік пунктиром. Яку температуру кипіння можна припустити для сполуки складу  $\text{C}_{14}\text{H}_{30}$ ?

**168\*.** Користуючись довідником, спробуйте виявити закономірність у зміні густини в ряду гомологів метану.

**169.** Назвіть спільні і відмінні ознаки гомологів.

**170.** Чи виправдана з погляду хімії інша назва насичених вуглеводнів — парафіни? Доведіть це.

**171.** Парафін для свічок складається переважно з вуглеводню, що містить у молекулі 25 атомів Карбону. Складіть молекулярну формулу сполуки та рівняння реакції її горіння.

**172.** Етан реагує з

- (1) сірчаною кислотою; (3) киснем;  
(2) вапняною водою; (4) лугом.

**173\*.** Проаналізуйте дані, наведені в таблиці 5. Яким чином теплота згоряння пов'язана зі складом молекул парафінів?

*Таблиця 5. Теплота згоряння вуглеводнів*

Назва	Формула	Теплота згоряння, кДж/моль
Метан	$\text{CH}_4$	890
Етан	$\text{C}_2\text{H}_6$	1560
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8$	2220
Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	2878
Пентан	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	3536
Гексан	$\text{C}_6\text{H}_{14}$	4141
Гептан	$\text{C}_7\text{H}_{16}$	4817
Октан	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	5474

**174\*.** Чому, на вашу думку, в побутових газових балонах використовують пропан-бутанову суміш, а не метан?

**175\*.** На основі даних, наведених у таблиці 5, та враховуючи, що теплота згоряння вугілля (в перерахунку на чистий вуглець) становить 394 кДж/моль, поясніть, який продукт — метан чи вугілля — доцільніше (за масою) використовувати як паливо у побуті. Які переваги і недоліки кожного з цих видів палива?

### § 30. ТЕОРІЯ ХІМІЧНОЇ БУДОВИ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

**Ізомерія.** У молекулах гомологів метану атоми Карбону послідовно з'єднуються в ланцюги. Спробуємо скласти модель молекули бутану  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , з'єднавши між собою чотири атоми Карбону якимось іншим чином, але зберігаючи їхню чотиривалентність.

## Лабораторна робота 6

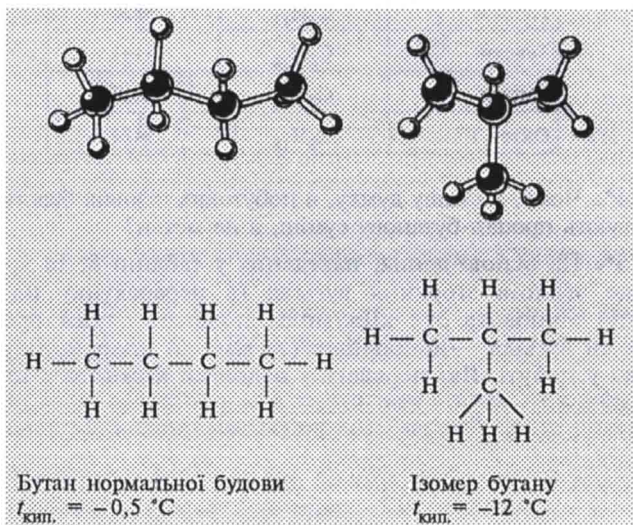
### Виготовлення моделей молекул бутану та ізобутану

Моделі молекул можна зібрати з деталей стандартного набору заводського гатунку або виготовити з пластиліну й сірників.

Вам знадобиться пластилін двох кольорів. Виготовте чотири кульки одного кольору більшого діаметра (атоми Карбону) і десять кульок іншого кольору і меншого діаметра (атоми Гідрогену). З'єднайте послідовно за допомогою сірників (хімічні зв'язки) кульки більшого діаметра, потім приєднайте до них кульки меншого діаметра.

Змініть послідовність сполучення атомів Карбону і приєднайте до них атоми Гідрогену.

Ви переконаєтесь, що атоми можуть сполучатися в послідовності, якій відповідають такі структурні формули (мал. 17).

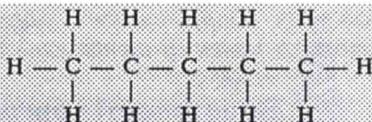
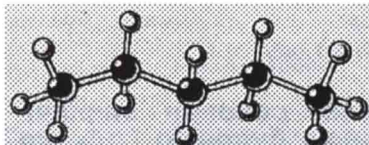


Мал. 17. Моделі ізомерів бутану

Для пентану  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  можливі три варіанти будови (мал. 18), що відповідають наведеним формулам.

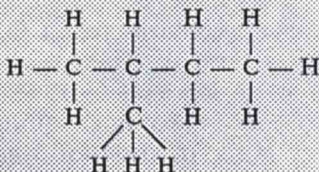
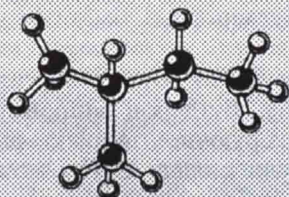
Виявляється, ці формули належать різним речовинам з різними властивостями, про що свідчать наведені температури кипіння. Однакові у цих речовин лише якісний та кількісний склад молекул.





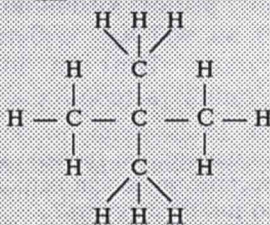
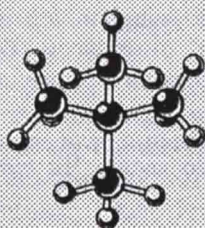
Пентан нормальної будови

$t_{\text{кип.}} = 36^\circ \text{C}$



Ізомер пентану

$t_{\text{кип.}} = 28^\circ \text{C}$



Ізомер пентану

$t_{\text{кип.}} = 10^\circ \text{C}$

Мал. 18. Моделі ізомерів пентану

**Сполуки, що мають однакову молекулярну формулу, але різну будову, а через це — різні властивості, називаються ізомерами** (від грец. *ісос* — однаковий і *мерос* — частина).

Ми розглянули приклади так званої *структурної ізомерії*, зумовленої будовою карбонового скелета молекули.

**Теорія хімічної будови.** Явище ізомерії свідчить про існування взаємозв'язку між будовою та властивостями органічних речовин. Цей взаємозв'язок пояснюється *теорією хімічної будови органічних речовин*, автором якої є видатний російський учений О. М. Бутлеров.

Теорія стверджує, що *атоми в молекулі розміщуються не безладно, а в певному порядку згідно з їхньою валентністю. Кожна речовина має властиву лише їй послідовність сполучення атомів у молекулі, тобто хімічну будову, що відобра-*

*жається структурною формулою, або формулою будови. Атоми в молекулі впливають один на одного.*

**Властивості органічних речовин визначаються складом та хімічною будовою їхніх молекул.**

Це положення теорії О. М. Бутлерова є хімічним законом.

Явище ізомерії було відоме до О. М. Бутлерова, але не мало наукового пояснення. О. М. Бутлеров запровадив у науку поняття хімічної будови і, керуючись теорією, висловив припущення, що для молекули складу  $C_4H_{10}$  можливі два варіанти розміщення атомів, тобто мають існувати два бутани з різною хімічною будовою. Учений синтезував невідомий на той час ізобутан, що відрізнявся властивостями від бутану. Цим та іншими синтезами була доведена справедливність теорії хімічної будови органічних сполук.

- Пригадайте, які наукові передбачення були зроблені Д. І. Менделєєвим на основі періодичного закону. Чи здійснилися вони? Про що це свідчить?

Теорія хімічної будови, сформульована О. М. Бутлеровим у 1861 р., засвідчила існування взаємозв'язку хімічної будови органічних речовин з їхніми властивостями. Це положення було значно поглиблене, коли науці відкрилася внутрішня будова атомів і молекул. Виявилося, що властивості речовин зумовлюються не лише хімічною, а й електронною будовою молекул та розміщенням атомів у просторі. У сучасному трактуванні основне положення теорії будови звучить так:

**Властивості органічних речовин визначаються складом, хімічною, електронною і просторовою будовою їхніх молекул.**

Отже, щоб схарактеризувати речовину згідно із сучасною теорією будови, треба вказати її якісний і кількісний склад, порядок сполучення атомів у молекулі, форму і розмір молекул, розподіл електронів у молекулах.

Ми розглядатимемо органічні речовини лише з погляду їхньої хімічної будови, не торкаючись електронних взаємо-

**БУТЛЕРОВ**  
**ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ**  
**(1828—1886)**



Здобув освіту в Казанському університеті. Там же став професором, пізніше очолив кафедру в Петербурзькому університеті. Видатний теоретик і блискучий експериментатор. Автор теорії хімічної будови органічних сполук і першого підручника з органічної хімії, де матеріал викладався з позицій цієї теорії. Власними синтезами ізомерів, передбачених ним за допомогою теорії, ствердив її справедливність. Уперше синтезував цукристу речовину.

Інтереси О. М. Бутлерова як людини високоосвіченої, окрім хімії, стосувалися також медицини, бджолярства, садівництва. Був видатним педагогом, виховав плеяду вчених-хіміків.

дій і просторової структури. Ці аспекти вивчаються в повному курсі органічної хімії.

Закономірність взаємозв'язку будови речовин та їхніх властивостей поширюється не лише на фізичні та хімічні властивості, а й на біологічні функції. Ця закономірність лежить в основі конструювання речовин з необхідним комплексом технічних, біологічних та інших характеристик, таких як барвники, полімери, лікарські препарати чи засоби захисту рослин.

Теорія хімічної будови була створена на основі вивчення явищ, що спостерігалися в органічній хімії, але це загально-хімічна теорія. Залежність властивостей речовин від їхньої будови існує для всіх без винятку речовин, у тому числі й неорганічних.

Серед неорганічних сполук спостерігається і явище ізомерії. Наприклад, ціанат натрію, що має хімічну будову  $\text{Na} - \text{O} - \text{C} \equiv \text{N}$ , плавиться за температури  $550^\circ\text{C}$ , а його ізомер фульмінат натрію  $\text{Na} - \text{O} - \overset{+}{\text{N}} \equiv \overset{-}{\text{C}}$  вибухає під час нагрівання.

**Номенклатура насичених вуглеводнів.** Зі зростанням кількості атомів Карбону в молекулі зростає кількість можливих ізомерів. Якщо у бутану  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  є два ізомери, то у декану  $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$  — 75, а в пентадекану  $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$  — 4347 ізомерів.

● Чи є ізомери у сполуки складу  $\text{C}_3\text{H}_8$ ?



**КІПРІАНОВ  
АНДРІЙ ІВАНОВИЧ  
(1896—1972)**



Український хімік-органік, академік. Закінчив Харківський університет. Працював у Харківському, Київському університетах, очолював Інститут органічної хімії АН України. Один із перших учених-хіміків застосував електронні уявлення для з'ясування залежності властивостей органічних сполук від їхньої будови. На цій основі сформулював теорію кольоровості органічних речовин. Синтезував ряд нових барвників, що використовуються у промисловості. Засновник наукової школи українських хіміків-органіків.

Кожен ізомер є індивідуальною речовиною, отже, має власні структуру і назву. За міжнародними правилами за основу утворення назви вуглеводню береться назва нормального (нерозгалуженого) ланцюга: метан, етан, пропан і т. д., вказується також місце групи атомів, що становить відгалуження (інакше кажучи — радикала, замісника). Цими замісниками можуть бути різні групи, наприклад, наведені у таблиці 6.

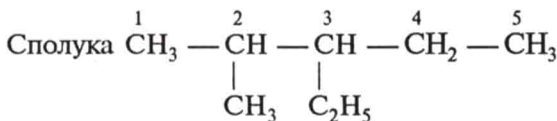
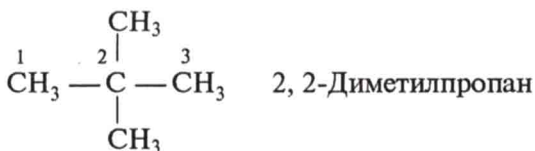
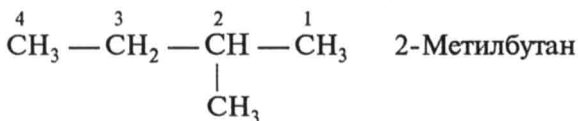
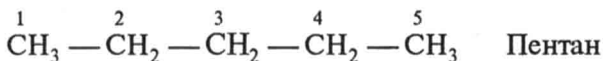
**Таблиця 6. Вуглеводневі радикали**

Загальна формула	Структурна формула	Назва
$-\text{CH}_3$	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ -\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	Метил
$-\text{C}_2\text{H}_5$	$-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \quad \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Етил
$-\text{C}_3\text{H}_7$	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \quad \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Пропіл



Щоб скласти назву насиченого вуглеводню, треба визначити найдовший ланцюг атомів Карбону і пронумерувати їх, починаючи з того кінця, до якого ближче відгалуження. Перед назвою вуглеводню зазначити цифрами місця радикалів і їх назви за абеткою.

Наприклад, ізомери пентану називаються так:

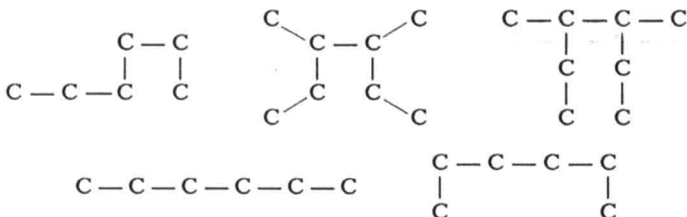


називається 3-етил-2-метилпентан.

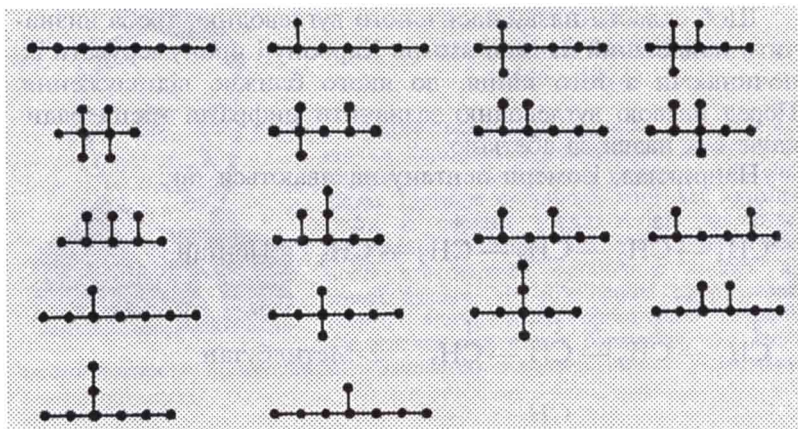
### Завдання для самоконтролю

**176.** На мал. 19 зображені «скелети» ізомерів октану. Складіть їхні структурні формули. Назвіть кілька сполук.

**177.** Скільки сполук представлено такими структурами:



Складіть їхні молекулярні формули.



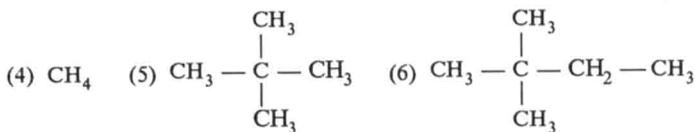
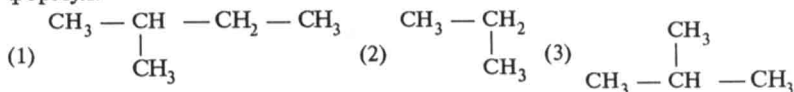
Мал. 19. Схематична будова ізомерів октану

**178.** Назвіть спільні та відмінні ознаки ізомерів.

**179.** Хімічну будову речовини можна схарактеризувати

- (1) молекулярною формулою;
- (2) молекулярною масою;
- (3) структурною формулою.

**180.** Знайдіть формули ізомерів і гомологів серед наведених формул:



**181.** Закон залежності властивостей речовин від їхньої будови справедливий

- (1) тільки для сполук Карбону;
- (2) для всіх хімічних сполук;
- (3) для газуватих сполук.

**182.** Яка формула дає більше інформації про молекулу вуглеводню — молекулярна чи структурна? Дайте докладні пояснення.

## § 31. НЕНАСИЧЕНІ ВУГЛЕВОДНІ

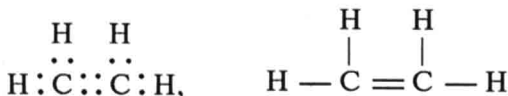
**Склад і будова молекул етилену й ацетилену.** Існують вуглеводні, що містять Гідрогену ніби менше, ніж це необхідно для насичення чотиривалентності Карбону. Наприклад, у сполуці складу  $C_2H_4$  ніби не вистачає двох атомів Гідрогену, а у сполуці складу  $C_2H_2$  — аж чотирьох атомів Гідрогену. Цією ненасиченістю і пояснюється назва групи сполук — *ненасичені вуглеводні*.

Звернімося до хімічної будови згаданих речовин.

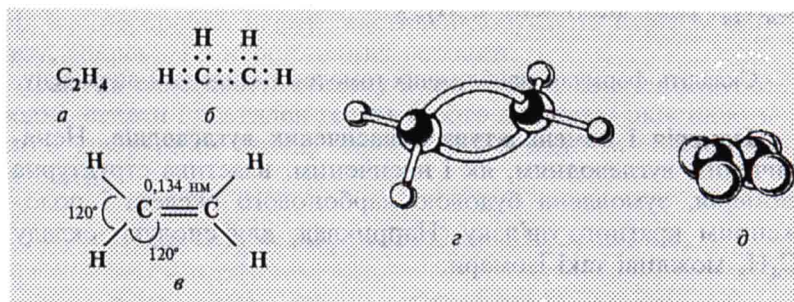
Особливість її полягає в тому, що атоми Карбону в цих сполуках зв'язані між собою подвійним або потрійним зв'язками.

У молекулі **етилену**  $C_2H_4$  атоми Карбону надають у спільне користування не по одному електрону, як у молекулі етану  $C_2H_6$ , а по два електрони й утворюють дві спільні електронні пари, тобто два ковалентні зв'язки. По два валентні електрони, що залишились у атомів Карбону, використовуються для зв'язків з атомами Гідрогену.

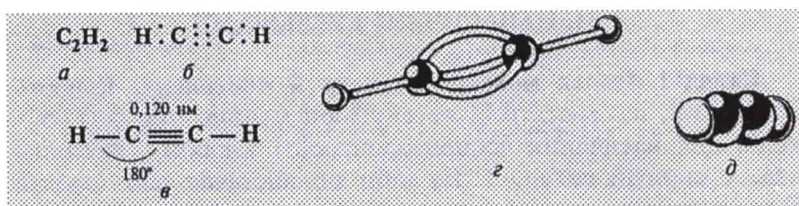
Електронна та структурна формули етилену:



Валентні кути в молекулі етилену —  $120^\circ$ , довжина карбон-карбонового зв'язку —  $0,134 \text{ нм}$  (мал. 20).



**Мал. 20.** Етилен: *а* — молекулярна формула; *б* — електронна формула; *в* — геометрія молекули; *г* — кулестержнева модель молекули; *д* — масштабна модель молекули



**Мал. 21.** Ацетилен: *а* — молекулярна формула; *б* — електронна формула; *в* — геометрія молекули; *г* — кулестержнева модель молекули; *д* — масштабна модель молекули

У молекулі **ацетилену**  $C_2H_2$  атоми Карбону використовують для зв'язку між собою по три електрони, утворюючи три спільні електронні пари, тобто потрійний зв'язок. Кожен атом Карбону надає по одному електрону, що залишився у нього, для утворення зв'язку з атомом Гідрогену.

Електронна формула ацетилену  $H:C::C:H$ , структурна формула ацетилену  $H-C\equiv C-H$ .

Валентні кути в молекулі ацетилену —  $180^\circ$ , довжина карбон-карбонівого зв'язку —  $0,120$  нм (мал. 21).

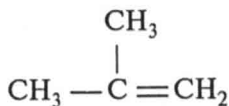
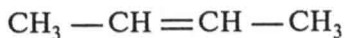
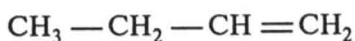
Подвійний і потрійний зв'язки називаються *кратними* на відміну від ординарних (звичайних, простих) у насичених вуглеводнів.

Етилен і ацетилен — родоначальники відповідних гомологічних рядів. Наприклад, пропілен  $CH_3-CH=CH_2$  є гомологом етилену.

Загальна формула ненасичених вуглеводнів ряду етилену  $C_nH_{2n}$ , ряду ацетилену  $C_nH_{2n-2}$ .

Складіть формули найближчих гомологів етилену й ацетилену.

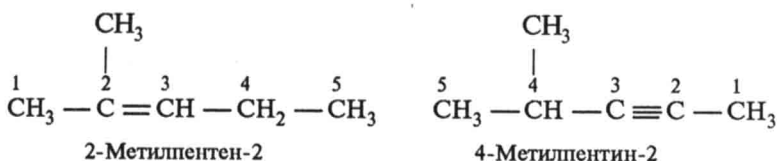
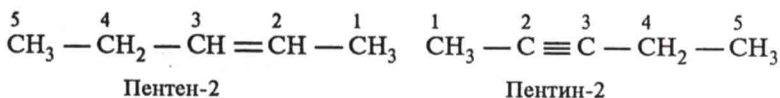
**Ізомерія і номенклатура ненасичених вуглеводнів.** Ненасиченим вуглеводням, як і насиченим, властива структурна ізомерія, зумовлена будовою карбонівого скелета і положенням кратного зв'язку. Наприклад, для сполуки складу  $C_4H_8$  можливі такі ізомери:





За міжнародною номенклатурою назви ненасичених вуглеводнів утворюються від коренів слів — назв насичених вуглеводнів. *Насамперед треба визначити основний ланцюг атомів Карбону, що містить кратний зв'язок, і пронумерувати ці атоми, починаючи з кінця, до якого ближче кратний зв'язок. Перед назвою слід зазначити цифрами місця замісників (радикалів) у абетковому порядку; до кореня слова додати суфікс -ен (для етиленових вуглеводнів) або -ин (для ацетиленових). Після назви цифрою зазначити місце кратного зв'язку.*

Наприклад:



**Фізичні властивості етилену й ацетилену.** Етилен — безбарвний газ, майже без запаху, малорозчинний у воді, трохи легший за повітря. Ацетилен — також безбарвний газ, без запаху, малорозчинний у воді, трохи легший за повітря.

У природі етилен і ацетилен не зустрічаються у вільному стані через високу активність молекул. Етилен утворюється під час переробки нафти, ацетилен добувають шляхом синтезу, зокрема і з неорганічних речовин.

**Хімічні властивості етилену й ацетилену.** Як і інші вуглеводні, етилен і ацетилен **горять** (тобто повністю окиснюються) з утворенням оксиду карбону(IV) й води та виділенням теплоти:



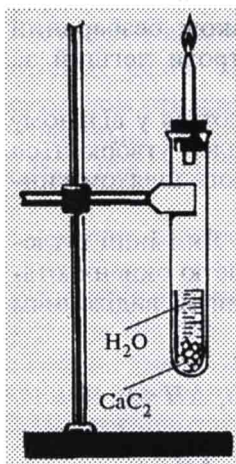
Добудемо етилен за допомогою приладу, зображеного на мал. 22. Підпалимо газ біля кінця газовідвідної трубки —

спостерігається свічення полум'я. Пригадайте, що метан горить майже безбарвним полум'ям.

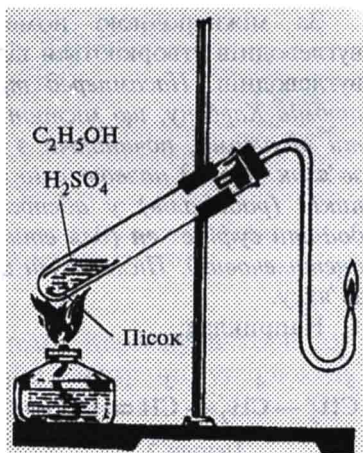
Пояснити цю відмінність можна, виходячи зі складу молекул метану й етилену. Масова частка Карбону в метані становить 75 %, а в етилені — 86 %.

Отже, етилен, розкладаючись у полум'ї, утворює порівняно з метаном більше частинок вуглецю, що розжарюються і зумовлюють свічення. У верхній частині полум'я вони згоряють до вуглекислого газу.

Можна припустити, що ацетилен горітиме ще яскравішим полум'ям, оскільки масова частка Карбону в його молекулі становить 92 %. Переконаємось у цьому на досліді (мал. 23). Справді, ацетилен горить кіптявим полум'ям.



Мал. 23. Добування ацетилену в лабораторії



Мал. 22. Добування етилену в лабораторії

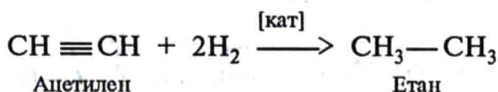
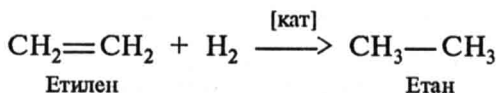
Для повного згоряння ацетилену, наприклад при ацетиленовому зварюванні металів, у полум'я додатково подається повітря або кисень.

Ненасичений характер карбон-карбонних зв'язків зумовлює характерні хімічні властивості етилену й ацетилену.

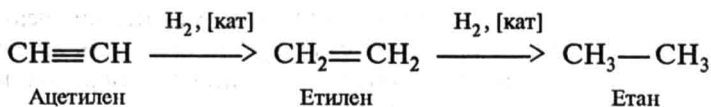
З'ясовуючи хімічну активність насичених вуглеводнів, ми проводили випробування розчином перманганату калію: його забарвлення не змінювалося. Ненасичені вуглеводні етилен і ацетилен виявляють значну активність у цій реакції: фіолетове забарвлення розчину зникає під час пропускання крізь нього цих газів. Отже, етилен і ацетилен вступають у реакцію часткового окиснення з перманганатом калію. Внаслідок реакції утворюються продукти складної будови,

а тому ми не записуємо рівняння реакції. Вона характерна для всіх ненасичених сполук і використовується як якісна реакція для виявлення кратного зв'язку в молекулі.

Якщо для насичених вуглеводнів характерною була реакція заміщення, то для ненасичених — реакція **приєднання**. За наявності каталізатора (платини, нікелю) за місцем кратного зв'язку може приєднуватися водень:



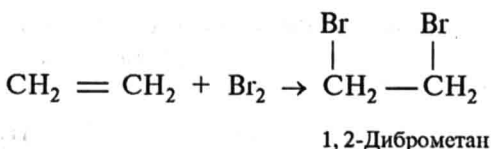
Оскільки ацетилен має більш ненасичений характер, остання реакція може розглядатися як двостадійна: спершу утворюється етилен, потім — етан:

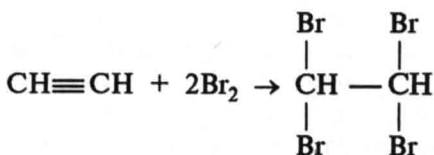


**Реакція приєднання атомів Гідрогену називається реакцією гідрування.**

Гідруванням можна перетворити ненасичені вуглеводні на насичені.

Пропускаючи газу етилен і ацетилен крізь бромну воду, можна спостерігати її знебарвлення, що свідчить про приєднання молекул бромов за кратними зв'язками молекул етилену й ацетилену. У випадку з ацетиленом приєднуються дві молекули бромов (чому?):

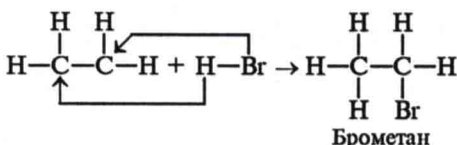




1,1,2,2-Тетраброметан

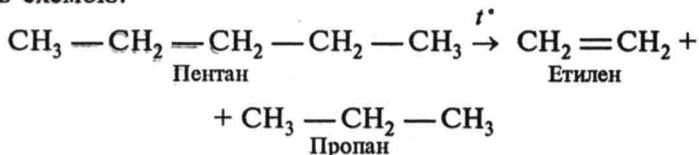
Реакція з бромною водою також використовується для виявлення у молекулі кратного зв'язку.

Водень і бром — прості речовини, що приєднуються за кратними карбон-карбоновими зв'язками. Але ненасичені вуглеводні можуть приєднувати і складні речовини, наприклад галогеноводні:

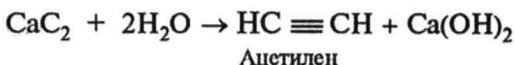


З усього сказаного можна зробити висновок, що ацетилен і етилен — речовини з високою хімічною активністю. Як для ненасичених сполук для них характерні реакції приєднання. Різний склад молекул і різна кратність карбон-карбонових зв'язків зумовлюють відмінності в перебігу цих реакцій для етилену та ацетилену.

**Добування етилену й ацетилену** належить до багатотоннажних хімічних виробництв. Етилен та його гомологи утворюються у процесі переробки вуглеводнів, що містяться в нафті. Це основний спосіб промислового добування етилену. Утворення етилену відбувається в результаті термічного розщеплення насичених вуглеводнів, наприклад, за такою схемою:

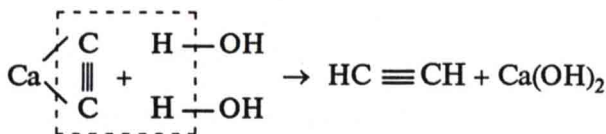


Ацетилен, що використовується для зварювальних робіт, добувають часто на місці в результаті взаємодії карбиду кальцію  $\text{CaC}_2$  з водою:





Схему цієї реакції можна записати і в такому вигляді:



Донедавна саме так добували ацетилен у промисловості.

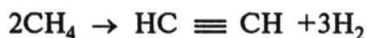
- Якщо ви спостерігали цю реакцію під час спорудження чи ремонту будівель, опишіть апарати, в яких вона відбувається. Порівняйте цей спосіб з лабораторним способом добування ацетилену.

Карбід кальцію добувають у результаті нагрівання в електропечах суміші вапна  $\text{CaO}$  та коксу до температури  $2500^\circ\text{C}$ :



Карбідний спосіб добування ацетилену дуже енергоємний (чому?), у цьому полягає його основний недолік.

Економічно вигідніше добувати ацетилен з метану нагріванням його до температури  $1500^\circ\text{C}$ . Реакція відбувається за схемою:



Метан

Ацетилен

- Складіть ланцюжок хімічних перетворень від коксу до етану.

**Застосування етилену й ацетилену.** З етилену добувають ряд цінних продуктів. Це насамперед поліетилен, який використовується для виробництва пластмаси. З етилену добувають і етиловий спирт, що має застосування у виробництві цінних органічних продуктів. Продукт приєднання хлору до етилену — 1,2-дихлоретан є розчинником і засобом знищення шкідників сільськогосподарських культур. А продукт приєднання хлороводню — хлоретан є анестезійною речовиною.

- Напишіть структурні формули хлоретану та 1,2-дихлоретану.

Із відкриттям способу добування ацетилену з карбіду кальцію наприкінці XIX ст. його почали використовувати для освітлення. Проте ця галузь застосування не набула розвитку через нещасні випадки, спричинювані вибухами ацетилену.

Завдяки високій теплотворній здатності ацетилен використовується для газового різання і зварювання металів. Ацетиленово-кисневе полум'я має температуру 2800 °C і легко плавить сталь.

З ацетилену добувають вихідні речовини для виготовлення пластмас і синтетичних каучуків, він є сировиною для синтезу оцтової кислоти.

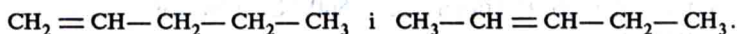
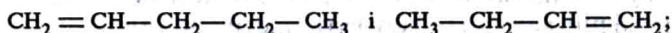
---

### Завдання для самоконтролю

183. Чим відрізняються за складом етиленові й ацетиленові вуглеводні?

184. Який тип зв'язків між атомами в молекулах ненасичених вуглеводнів?

185. Чи є ізомерами сполуки:



186. Чому метан горить майже безбарвним полум'ям, а ацетилен — світлим?

187. Яка найхарактерніша хімічна властивість ненасичених вуглеводнів?

188. Поясніть, чим відрізняються реакції приєднання до етилену та ацетилену.

189\*. Наведіть два способи добування хлоретану.

190. Запишіть рівняння двох стадій реакції ацетилену з бромом.

191. Чи існують у вільному стані у природі етилен і ацетилен? Дайте обґрунтовану відповідь.

192. Як можна хімічним способом виявити ненасичену сполуку?

193. Ацетилен утворює вибухові суміші з повітрям. Реагенти взаємодіють повністю за умови об'ємного співвідношення кисню й ацетилену

(1) 1 : 2;

(3) 5 : 1;

(2) 10 : 4;

(4) 1 : 20.

## § 32. ВИЗНАЧЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФОРМУЛИ ГАЗУВАТОЇ РЕЧОВИНИ

У 8 класі ви навчилися обчислювати масові частки елементів у речовині за її молекулярною формулою. Співвідношення між відносною атомною масою елемента та відносною молекулярною масою сполуки виражається формулою:

$$w(\text{елемента}) = \frac{A_r(\text{елемента}) \cdot n}{M_r(\text{речовини})},$$

де  $n$  — кількість атомів елемента.

Може ставитись і обернена задача: обчислити кількість атомів кожного елемента в молекулі, тобто вивести молекулярну формулу речовини за відомим вмістом елементів. Тоді

$$n = \frac{w(\text{елемента}) \cdot M_r(\text{речовини})}{A_r(\text{елемента})}. \quad (1)$$

Відносну молекулярну масу газуватої речовини можна обчислити за її відносною густиною за іншим газом, наприклад киснем, воднем чи повітрям. Відносна густина визначається як частка від ділення відносної молекулярної маси газу на відносну молекулярну масу відповідно кисню, водню чи повітря:

$$D_{\text{O}_2} = \frac{M_r(\text{речовини})}{32}; \quad D_{\text{H}_2} = \frac{M_r(\text{речовини})}{2}; \quad D_{\text{пов.}} = \frac{M_r(\text{речовини})}{29}.$$

Звідси можна обчислити шукану відносну молекулярну масу газу:

$$M_r(\text{речовини}) = 2D_{\text{H}_2} = 32D_{\text{O}_2} = 29D_{\text{пов.}} \quad (2)$$

**Задача.** Визначити молекулярну формулу газуватого вуглеводню, який містить 80 % Карбону. Відносна густина вуглеводню за воднем становить 15.

$w(\text{C}) = 80 \% = 0,8$	
$D_{\text{H}_2} = 15$	
$n(\text{C}) = ? \quad n(\text{H}) = ?$	

*Перший спосіб.* Насамперед визначимо відносну молекулярну масу вуглеводню за формулою (2):

$$M_r = 2 \cdot 15 = 30.$$

За формулою (1) визначимо кількість атомів Карбону і Гідрогену. Оскільки сполука — вуглеводень, то частка Гідрогену становить  $100\% - 80\% = 20\%$ :

$$n(\text{C}) = \frac{0,8 \cdot 30}{12} = 2; \quad n(\text{H}) = \frac{0,2 \cdot 30}{1} = 6.$$

Отже, в молекулі вуглеводню на два атоми Карбону припадає шість атомів Гідрогену. Формула вуглеводню  $\text{C}_2\text{H}_6$ , відносна молекулярна маса 30.

Відповідь: формула вуглеводню  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

*Другий спосіб.* Припустимо, що в молекулі вуглеводню міститься  $x$  атомів Карбону та  $y$  атомів Гідрогену. Маса  $x$  атомів Карбону становить  $12x$ , а  $y$  атомів Гідрогену —  $1y$ . Маси карбонових і гідрогенових атомів відносяться між собою, як 80 до 20.

$$12x : y = 80 : 20; \quad x : y = \frac{80}{12} : \frac{20}{1}; \quad x : y = 6,6 : 20.$$

Переходячи до цілих чисел, ділимо обидва члени відношення на найменший із них:

$$x : y = 1 : 3.$$

Отже, в молекулі вуглеводню на один атом Карбону припадає три атоми Гідрогену; так звана найпростіша формула сполуки —  $\text{CH}_3$ . Щоб визначити справжню молекулярну формулу, треба визначити відносну молекулярну масу сполуки за формулою (2):

$$M_r = 2 \cdot 15 = 30.$$

Оскільки  $M_r(\text{CH}_3) = 15$ , то найпростішу формулу треба подвоїти: шукана формула вуглеводню  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

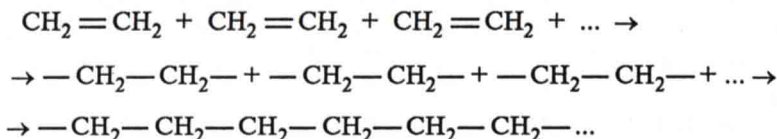


## § 33. ПОЛІМЕРИ

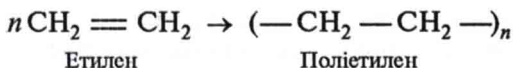
**Склад і будова поліетилену.** Молекули етилену здатні вступати в реакцію сполучення між собою, утворюючи довгі ланцюги з високими значеннями молекулярних мас. У результаті реакції утворюється так званий *полімер*.

**Процес послідовного сполучення молекул низькомолекулярної речовини з утворенням високомолекулярної називається полімеризацією** (від грец. *полі* — численний, багато, і *мерос* — частина).

Унаслідок полімеризації етилену утворюється полімер етилену **поліетилен**:



Або у скороченому вигляді:

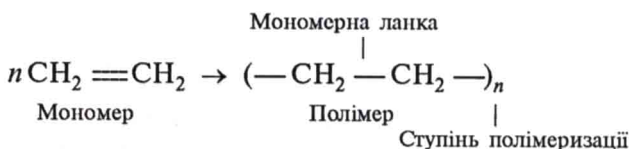


Реакція відбувається за підвищених тиску і температури та за наявності каталізатора.

Вихідні низькомолекулярні речовини називаються *мономерами* (від грец. *моно* — один). Етилен — мономер у реакції полімеризації.

У структурі полімеру можна визначити фрагменти, що повторюються по всій довжині ланцюга, у поліетилені це групи — $\text{CH}_2\text{—CH}_2\text{—}$ . Такі групи атомів, що повторюються і становлять основу хімічної будови полімерного ланцюга, називаються *мономерними ланками*.

Число  $n$  у формулі полімера, що показує, скільки мономерних ланок сполучається, називається *ступенем полімеризації*.



У масі полімеру є молекули довші й коротші, з вищим і нижчим ступенями полімеризації, відповідно з більшою і меншою молекулярними масами. Тому заведено говорити про середню молекулярну масу полімеру.

**Властивості поліетилену.** На дотик поліетилен ніби масний, нагадує твердий парафін. Причина цього — подібність складу й хімічної будови цих речовин: парафін належить до вищих вуглеводнів ( $\text{C}_{18}\text{—C}_{35}$ ), у його структурі, як і в структурі поліетилену, повторюються групи  $\text{—CH}_2\text{—}$ .

Поліетилен — тверда речовина білого кольору, але легко забарвлюється в різні кольори, не тоне у воді. Плавиться у межах  $102\text{—}105\text{ }^\circ\text{C}$  або  $125\text{—}137\text{ }^\circ\text{C}$ , залежно від способу добування полімеру.

Процес плавлення полімерів має свої особливості, зумовлені взаємодією між молекулами, що мають значну довжину. У процесі нагрівання в розплавлений стан переходять насамперед коротші молекули, потім — довші, тому у полімерів широкий інтервал температур плавлення, а не точка плавлення, як у низькомолекулярних речовин.

У розплавленому стані поліетилену можна надати будь-якої форми, що зберігається після охолодження полімеру. Така властивість називається *термопластичністю*.

- Пригадайте, що таке пластичність.

Поліетилен — доволі міцний матеріал. Плівку з поліетилену можна зігнути, зім'яти, але важко розірвати. Поліетилен не проводить електричного струму. Він стійкий проти дії кислот, лугів, бромної води, розчину перманганату калію і тим самим нагадує насичені вуглеводні, до яких, власне, і належить за своєю хімічною будовою.

### Лабораторна робота 7

#### Ознайомлення зі зразками виробів із поліетилену

Розгляньте видані вам зразки поліетиленової плівки, ємностей, ізоляційного покриття для електропроводів тощо.

Випробуйте матеріал на дотик, на пластичність, на міцність. Шматочок поліетилену нагрійте над полум'ям спиртівки, змініть його форму, охолодіть. Повторіть цей дослід. Про що він свідчить?

Покладіть шматочки поліетилену в пробірки з розчинами кислоти, лугу, перманганату калію. Чи взаємодіє поліетилен із цими речовинами?

Зробіть висновок про пластичні властивості й хімічну активність поліетилену.

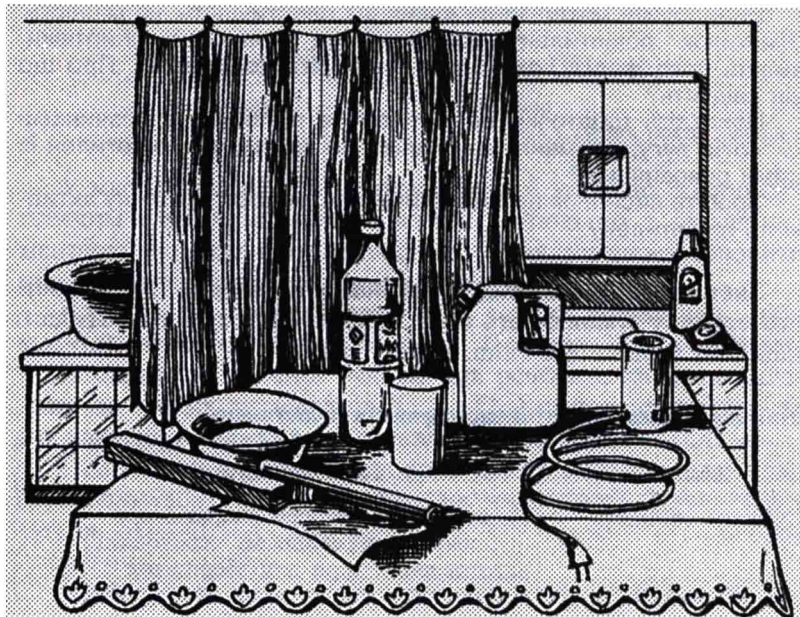
**Застосування поліетилену та інших полімерів.** Властивості поліетилену зумовлюють його широке застосування. Ці дані наведені у таблиці 6 (див. також мал. 24).

**Таблиця 7. Властивості й застосування поліетилену**

Властивості	Галузі застосування
Хімічна стійкість	Виготовлення деталей апаратів, що працюють в агресивному середовищі; виготовлення тари для зберігання хімічно агресивних рідин; виготовлення посуду та водогінних труб, антикорозійних покриттів
Водо- і газонепроникність	Виготовлення пакувальних матеріалів, плівки для теплиць
Електроізоляційні властивості	Виготовлення ізоляційних матеріалів для електричного дроту

Щоб надати полімеру потрібних експлуатаційних властивостей, тобто перетворити його на **пластмасу** — матеріал, з якого можна виготовляти різні вироби, до полімерної маси добавляють спеціальні речовини. Наприклад, завдяки *пластифікаторам* твердий полімер перетворюється на еластичний матеріал. Щоб зробити пластичну масу поруватою, до неї додають речовини, в результаті розкладання яких виділяються гази; таким чином виготовляють *пінопласти*. Для підвищення термо-, світло- і хімічної стійкості добавляють *стабілізатори* й *антиоксиданти*, для забарвлення — *пігменти*, щоб запобігти наелектризованості — *антистатики*; у пластмаси вводять також *наповнювачі* — кварц, крейду, волокна тощо, які знижують вартість матеріалу й поліпшують його механічні властивості. Завдяки різним добавкам з того самого полімеру можна виробляти різні за властивостями





Мал. 24. Зразки виробів з поліетилену

матеріали, а з них виготовляти різні вироби, наприклад деталі конструкцій і взуття.

Пластмаси належать до найважливіших сучасних матеріалів, що застосовуються в техніці, сільському господарстві, побуті. Це зумовлено тим, що вони мають властивості, завдяки яким їх використання є економічно вигідним. До них належать: низька густина (легкість), хімічна стійкість, низька теплопровідність, можливість забарвлювання, високі оптичні якості, а також можливість змінювати ці властивості в широких межах через зміну структури полімерів.

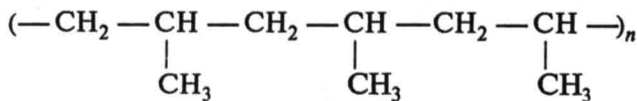
Значні достоїнства пластмас полягають у технічній і технологічній простоті виготовлення виробів, маловідхідності методів добування і переробки, низькій енергоємності цих процесів, а звідси — високій продуктивності виробництва.

Експлуатаційні недоліки пластмас пов'язані переважно з їхньою низькою термостійкістю, горючістю, крихкістю. Використання поліетилену, наприклад, обмежується його низькою температурою плавлення.



- З якими перевагами і недоліками пластмасових виробів ви зустрічалися у процесі їх використання? Наведіть приклади.

Дуже близький за властивостями до поліетилену **поліпропілен**. Фрагмент ланцюга цього полімеру можна представити такою структурною формулою:



- За фрагментом молекули поліпропілену визначте мономер, мономерну ланку полімеру, напишіть структурні формули.

З поліпропілену виготовляють деталі машин, труби, плівку, риболовні сітки, побутові вироби, волокна. Недоліком цієї пластмаси є чутливість до світла, кисню, крихкість на холоді.

Якщо в молекулі етилену замінити один атом Гідрогену на атом Хлору, матимемо хлоровініл  $\text{CH}_2 = \underset{\substack{| \\ \text{Cl}}}{\text{CH}}$  (за назвою

радикала вінілу  $\text{CH}_2 = \text{CH} -$ ). З хлоровінілу добувають полімер **поліхлоровініл**:  $(-\text{CH}_2 - \underset{\substack{| \\ \text{Cl}}}{\text{CH}} -)_n$ .

Пластмаси, вироблені на основі поліхлоровінілу, використовують як замітники шкіри, з них виготовляють газота водогінні труби, технічні волокна. Ці матеріали стійкі проти дії кислот, лугів, легко забарвлюються, разом з тим важко загоряються і мають здатність до самогасіння.

- Які властивості, на вашу думку, зумовлюють використання поліхлоровінілу для виготовлення лінолеуму?

Унікальні властивості має полімерний матеріал **тефлон**, який добувають з тетрафлуоретилену:  $(-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 -)_n$ .

За особливу хімічну стійкість його назвали «органічною платиною». Він не розчиняється ні в «царській воді» (суміш нітратної та хлоридної кислот), ні в органічних розчинниках, стійкий проти холоду й нагрівання, неотруйний, світлостійкий. Завдяки цим властивостям з політетрафлуоретилену виготовляють деталі машин і приладів, апаратів, що

працюють у хімічно агресивному середовищі та у харчовій промисловості. З побутових виробів вам знайомі сковороди і каструлі з антипригарним тефлоновим покриттям.

### Завдання для самоконтролю

**194.** Що таке мономер? Полімер?

**195.** Реакція полімеризації належить до типу

(1) обміну; (3) приєднання;

(2) заміщення; (4) розкладу.

**196.** Середня молекулярна маса поліетилену, якщо  $n$  становить 1000, дорівнює

(1) 14000; (3) 56000;

(2) 30000; (4) 28000.

**197\*.** Поясніть, чому стилеи взаємодіє з бромною водою, а поліетилен — ні.

**198.** Розкажіть про застосування поліетилену в побуті.

**199.** Поліетиленові пакети виготовляються методом зварювання. Яка властивість поліетилену при цьому використовується?

**200.** Чим відрізняються пластмаси від власне полімерів? Завдяки чому з поліетилену можна виробляти і плівку, і посуд?

### § 34. БЕНЗЕН <sup>1</sup>

**Склад і будова молекули.** Бензен має склад молекули  $C_6H_6$  і належить до групи *ароматичних вуглеводнів*. Ця назва, як і багато інших в органічній хімії, склалася історично, оскільки перші з добутих сполук цієї групи справді мали приємний запах.

Будова молекули бензену багато років становила теоретичну проблему, жодна із пропонованих структурних формул не відповідала властивостям речовини, що спостерігалися вченими в лабораторії.

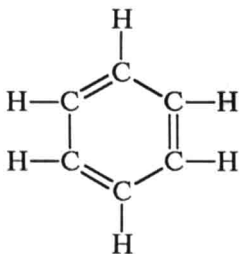
Спробуймо і ми записати структурну формулу цієї сполуки, додержуючи чотиривалентності атомів Карбону. Можливі, наприклад, такі варіанти:



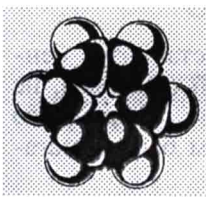
<sup>1</sup> За старою номенклатурою — бензол. Припускається вживання обох назв.

Але ці формули виявляються неприйнятними, оскільки хімічні властивості бензолу свідчать про рівноцінність атомів Карбону, а в наведених формулах одні атоми зв'язані простими, інші — кратними зв'язками.

У 1865 р. (через 40 років після визначення елементного складу бензену) німецький учений А. Кекуле запропонував формулу, що найкраще відобразила рівноцінність і атомів Карбону, і атомів Гідрогену:



Проте і ця формула неповністю відповідає реальній структурі молекули бензену. Після з'ясування електронної будови молекули бензену формулу почали записувати таким чином:



Мал. 25. Масштабна модель молекули бензену

Мається на увазі, що атоми Карбону розміщуються в кутах шестикутника і сполучені з атомами Гідрогену. Кільце всередині шестикутника показує, що в молекулі існує спільна шестиелектронна хмара, утворена електронами, наданими у спільне користування шістьма карбоновими атомами (по одному електрону кожним атомом).

Зв'язки між атомами Карбону не є простими чи подвійними в чистому вигляді. Через це бензен не належить ні до насичених, ні до ненасичених вуглеводнів, а є представником нової групи — ароматичних вуглеводнів.

Для позначення молекули бензену найчастіше користуються формулою Кекуле, пам'ятаючи про її недосконалість.

Для позначення молекули бензену найчастіше користуються формулою Кекуле, пам'ятаючи про її недосконалість.



**КЕКУЛЕ  
ФРІДРІХ АВГУСТ  
(1829—1896)**

Німецький хімік. Праці вченого сприяли становленню теоретичних основ органічної хімії. Висловив думку про чотиривалентність атомів Карбону та їх здатність сполучатись між собою, утворюючи ланцюги. Запропонував циклічну формулу бензену. Синтезував низку органічних сполук.

**Фізичні властивості.** За стандартних умов бензен — рідина зі специфічним запахом,  $t_{\text{кип.}} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , у воді практично нерозчинний, хоча є розчинником багатьох органічних речовин. У цьому можна переконатися на досліді.

В одну пробірку наллємо бензену, в іншу — води. Додамо в обидві пробірки по кілька крапель жиру і збовтаємо їх. Жир розчиняється у бензені, але спливає над водою.

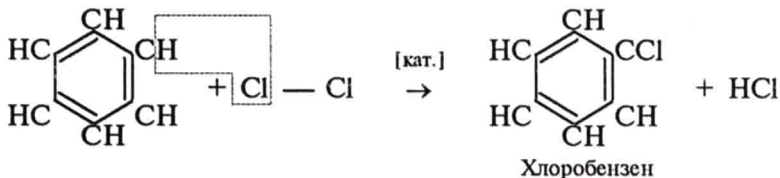
Бензен отруйний, тому поводитися з ним треба дуже обережно.

**Хімічні властивості.** У складі бензену значний вміст Карбону, тому на повітрі сполука **горить** кіптявим полум'ям, а в кисні згоряє повністю:



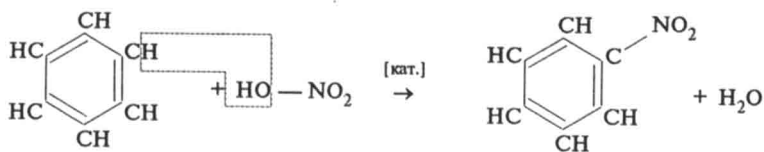
Завдяки спільній електронній хмарі, що стабілізує бензенове ядро, бензен виявляє **стійкість проти дії окисників**, не знебарвлює розчин перманганату калію, якщо суміш цього розчину з бенzenом збовтати у пробірці. Цим бензен нагадує насичені вуглеводні.

Як і насичені вуглеводні, бензен вступає в реакції **заміщення**, внаслідок чого атоми Гідрогену можуть заміститися, наприклад, на атоми Хлору:





Нітратна кислота (за наявності сульфатної кислоти) реагує з бенzenом за такою схемою:

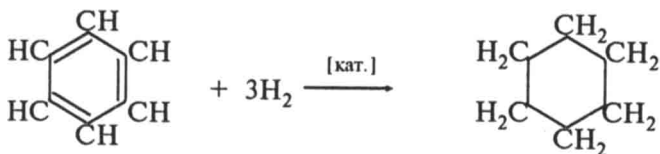


Нітробензен

Зважаючи на формальну ненасиченість складу бензену, можна припустити, що він вступає в реакції **приєднання**, як етилен і ацетилен.

У пробірку з бенzenом добавимо трохи бромної води і суміш збовтаємо. Бромна вода не знебарвлюється, бром переходить у верхній шар. Отже, реакція не відбувається.

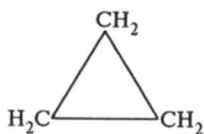
Порівняно з ненасиченими вуглеводнями, для яких характерні реакції приєднання, бензен вступає в ці реакції у значно жорсткіших умовах. За наявності каталізатора до молекули бензену приєднуються шість атомів Гідрогену:



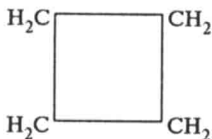
Циклогексан

Добута сполука циклогексан належить до групи вуглеводнів, що називаються циклопарафінами.

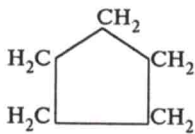
Приклади інших циклопарафінів:



Циклопропан



Циклобутан



Циклопентан

Отже, бензен вступає як у реакції приєднання, так і в реакції заміщення. Причому реакції приєднання у нього відбуваються важче, ніж у ненасичених, а заміщення — легше, ніж у насичених вуглеводнів. Така поведінка бензену зумовлена електронною будовою його молекули.

**Застосування.** Бензен є вихідною речовиною для синтезу величезної кількості органічних речовин. Серед них — барвники, лікарські препарати, пахучі речовини, полімери, отрутохімікати, вибухові речовини. Бензен — базова сировина для промислового органічного синтезу. Використовується він і як розчинник.

### Завдання для самоконтролю

**201.** Чому структуру бензену було з'ясовано лише через 40 років після його відкриття?

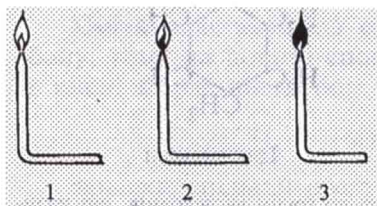
**202.** Поясніть умовність формули Кекуле для бензену.

**203.** За хімічними властивостями бензен не належить ні до насичених, ні до ненасичених вуглеводнів. Чому?

**204.** Порівняйте властивості бензену з властивостями насичених і ненасичених вуглеводнів.

**205.** Стійкість бензенового ядра проти окисників пояснюється

- (1) високим вмістом Карбону в молекулі;
- (2) електронною будовою молекули;
- (3) агрегатним станом бензену;
- (4) наявністю подвійних зв'язків.



Мал. 26. Горіння вуглеводнів

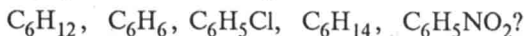
**206.** На мал. 26 зображено полум'я бензену, метану й етилену. Яке зображення відповідає кожній з речовин? Відповідь поясніть.

**207.** Для добування 225 г хлоробензену треба витратити хлор об'ємом (н. у.)

- |             |             |
|-------------|-------------|
| (1) 22,4 л; | (3) 67,2 л; |
| (2) 44,8 л; | (4) 11,2 л. |

**208\*.** Реакція бензену з хлором може відбуватися до повного заміщення атомів Гідрогену на атоми Хлору. У результаті утворюється сполука гексахлоробензен складу  $C_6Cl_6$ . Складіть структурну формулу цієї сполуки та рівняння зазначеної реакції.

**209\*.** Які з наведених сполук належать до насичених, ненасичених, ароматичних сполук:

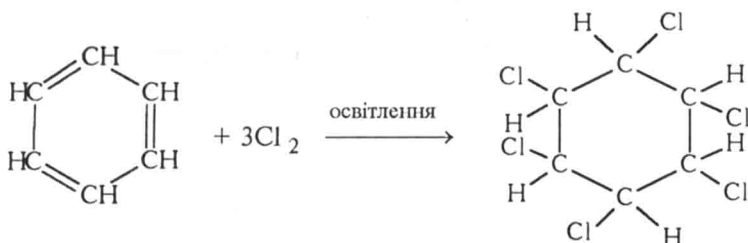


## § 35. ПОНЯТТЯ ПРО ХІМІЧНІ ЗАСОБИ ЗАХИСТУ РОСЛИН

Однією з важливих галузей застосування похідних бензену є сільське господарство. Тут використовуються речовини, що захищають рослини від комах-шкідників, паразитичних грибів, бур'янів — **пестициди** (від лат. *pestis* — зараза і *caedo* — убиваю). Розглянемо найпростіші з них.

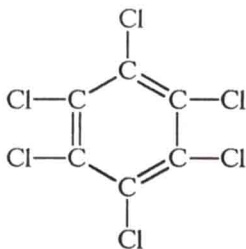
- З'ясуйте за словником, що таке *гербіциди*, *зооциди*, *фунгіциди*, *інсектициди*.

Якщо суміш бензену і хлору освітити ультрафіолетовим промінням, то відбувається реакція приєднання атомів Хлору до бензенового ядра й утворюється сполука гексахлороциклогексан, або промислова назва — гексахлоран:



Ця сполука протягом тривалого часу використовувалася проти бавовникового довгоносика, але, зважаючи на токсичність, її використання останнім часом скорочується.

Продукт заміщення всіх шести атомів Гідрогену на атоми Хлору — гексахлоробензен — використовується для протруювання (знезараження) насіння зернових культур перед висіванням у ґрунт.



Це найпростіші з отрутохімікатів, похідних бензену.

Серед засобів захисту рослин є речовини, що належать до різних класів органічних сполук і мають складну будову молекул.

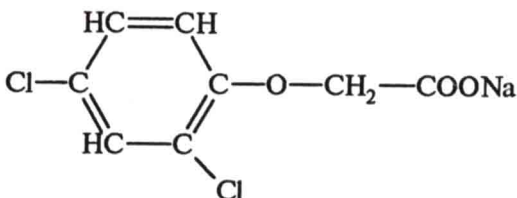


**ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ  
КІРСАНОВ  
(1902—1992)**

Український хімік-органік, академік. Працював у Дніпропетровському металургійному інституті, очолював Інститут органічної хімії АН України.

Основні наукові праці стосуються хімії фосфор- та сульфурорганічних сполук. Низка добутих під його керівництвом речовин використовуються в сільському господарстві як пестициди.

Наприклад, для знищення бур'янів у посівах зернових культур використовується сполука 2,4-Д (технічна назва):



До хімічних засобів захисту рослин ставляться жорсткі вимоги щодо їх безпечності для людини і тварин, загалом для навколишнього середовища. Ці сполуки повинні легко розкладатися на нешкідливі речовини, щоб після закінчення терміну їхньої дії вони не забруднювали ґрунт і водойми, не потрапляли в їжу. Використання речовин у ролі пестицидів можливе лише з дозволу державних органів нагляду.

---

### Завдання для самоконтролю

**210.** Яких правил безпеки слід дотримуватися, використовуючи різні хімічні засоби у побуті?

**211.** Чому, на вашу думку, не слід використовувати на присадибних ділянках несертифіковані хімічні засоби захисту рослин?

**212.** Для знезаражування зерносховищ та проти філоксери винограду використовується 1,2-дихлоретан. Напишіть структурну формулу цієї сполуки.

**213\*.** Як отрутохімікат використовується сполука



Як, на вашу думку, реагуватиме ця сполука з воднем? Напишіть рівняння реакції.

**214.** Схарактеризуйте значення хімічних засобів захисту рослин для сільського господарства. Які речовини використовуються з цієї метою у вашій місцевості?



## § 36. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК І ВЗАЄМОПЕРЕТВОРЕННЯ ВУГЛЕВОДНІВ

Вивчаючи вуглеводні, ви пересвідчилися в їхній різноманітності, зумовленій здатністю атомів Карбону утворювати молекули лінійної і циклічної будови, сполучатися між собою за допомогою простих і кратних зв'язків. А ще — утворювати гомологічні ряди та ізомери.

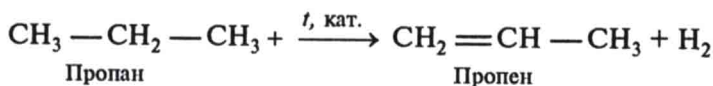
- Назвіть загальні формули гомологів метану, етилену, ацетилену.

Незначна зміна складу молекули (на групу  $-\text{CH}_2-$ ) спричинює появу нових властивостей у гомолога, так само, як навіть незначна зміна порядку розміщення атомів призводить до утворення ізомеру, а отже, і появи нової сполуки з притаманними їй властивостями.

У цьому виявляється дія закону залежності властивостей органічних речовин від складу і хімічної будови молекул.

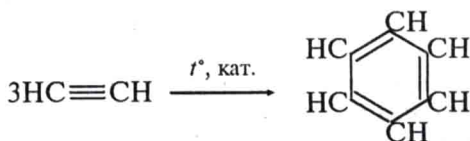
- Наведіть конкретні приклади цієї залежності, підтвердьте їх фізичними константами речовин та хімічними реакціями.

Порівнявши загальні формули парафінів, етиленових та ацетиленових вуглеводнів, ви помітите, що за складом ці сполуки відрізняються кількістю атомів Гідрогену в молекулах. Отже, приєднуючи чи відщеплюючи Гідроген (реакції гідрування чи дегідрування), можна переходити від сполук однієї групи до сполук іншої групи. Приклад реакції дегідрування:



- За допомогою яких перетворень із метану можна добути ацетилен, з ацетилену — етилен? Напишіть рівняння реакцій.

Ці приклади стосуються взаємних перетворень насичених і ненасичених вуглеводнів. Разом з тим існує зв'язок і між цими сполуками та бенzenом. Зокрема, з ацетилену можна добути бензен за такою схемою:



Отже, за усієї різноманітності вуглеводнів між ними існує взаємозв'язок, що відбивається у взаємних перетвореннях речовин. Це відкриває величезні можливості для добування багатьох цінних сполук шляхом хімічного синтезу.

### Завдання для самоконтролю

**215.** Складіть формули ізомерів та кількох гомологів бутану.

**216.** Напишіть рівняння взаємних перетворень речовин за схемою:

Насичений вуглеводень  $\leftrightarrow$  Ненасичений вуглеводень

**217.** Напишіть рівняння реакцій за схемою:

Насичений вуглеводень

$\updownarrow$

Ароматичний вуглеводень  $\leftarrow$  Ненасичений вуглеводень

**218.** Чим зумовлена структурна ізомерія ненасичених вуглеводнів? Наведіть приклади.

**219.** Напишіть структурні формули речовин наведеного складу. Згрупуйте речовини-гомологи:

$\text{C}_6\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_4\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ .

**220.** Наведені речовини є

(1) гомологами; (2) ізомерами;

(3) ні ізомерами, ні гомологами:

$\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$        $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$ .

**221\*.** Напишіть рівняння реакцій за схемою:

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} \rightarrow \text{CaC}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow (-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$

Зробіть висновок про взаємозв'язок неорганічних і органічних речовин.

## § 37. ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ВУГЛЕВОДНІВ. ПРИРОДНИЙ ГАЗ

У природі вуглеводні зустрічаються переважно у вигляді природного газу, нафти, кам'яного вугілля. Є два способи використання цих горючих копалин: один — у вигляді палива, тобто як джерела енергії, інший — у вигляді сировини для подальшої переробки. Перший спосіб означає звичайне спалювання, другий — це органічний синтез. З вуглеводнів, виділених з нафти, природного газу і вугілля, можна добути багато різних речовин, а з них виробити ще більше корисних матеріалів.

Природний газ, нафта, вугілля належать до невідновлюваних природних ресурсів. Ця обставина змушує розвідувати нові родовища і разом з тим експлуатувати вже відкриті таким чином, щоб максимально вилучати з них копалини і раціонально, з найбільшою користю використовувати їх.

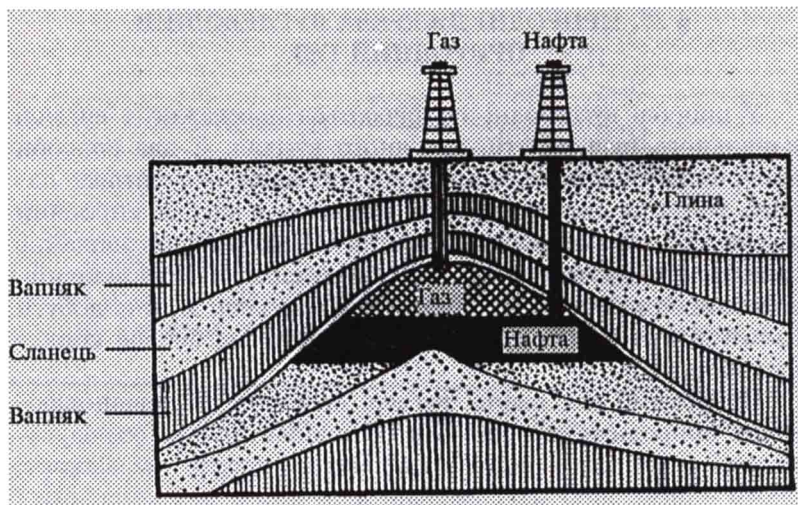
Не важко зрозуміти, що доцільніше піддати нафту, вугілля і газ хімічній переробці, ніж спалити їх у котельнях, двигунах, промислових і побутових печах тощо.

● Які альтернативні джерела енергії вам відомі?

Існують різні погляди на походження горючих копалин. Як вважають прихильники теорії органічного походження, поклади утворилися із решток вимерлих рослинних і тваринних організмів, що перетворилися на суміші вуглеводнів у товщі Землі під дією бактерій, високих тисків і температур (мал. 27).

Згідно з теорією мінерального (вулканічного) походження нафти, природного газу та кам'яного вугілля, на первісній стадії формування планети Земля метали сполучалися з вуглецем, утворюючи карбіди. У результаті реакції карбідів з водою (водяною парою) у глибинах планети утворювалися газуваті вуглеводні, зокрема метан і ацетилен, а під впливом нагрівання, радіації та каталізаторів з них утворювалися інші сполуки, що містяться у нафті. У верхніх шарах літосфери рідкі нафтові компоненти випаровувалися, рідина загусала, перетворювалася на асфальт і далі на вугілля.

Теорію мінерального походження нафти вперше висловив Д. Менделєєв. А на початку XX ст. французький учений



Мал. 27. Геологічний розріз нафтоносної місцевості

П. Сабатьє змодельював описаний процес у лабораторії і добув суміш вуглеводнів, подібну до нафти.

- Назвіть найбільші у світі родовища горючих корисних копалин. Покажіть їх на мапі.

**Природний газ.** Газуватими за нормальних умов є вуглеводні з низькими відносними молекулярними масами, саме вони і містяться у природному газі. Переважає в цій суміші метан — його масова частка там у середньому від 80 до 90 %, решта — гомологи метану: стан, пропан, бутан та інші гази.

Природні горючі гази, що виділялися в деяких місцевостях із тріщин земної кори, були відомі людині з давніх-давен. Подекуди ці гази займалися, наприклад під час грози. Деякі народи вважали священним вогонь у місцях постійного виходу природних газів.

- На теренах України є родовища природного газу. Назвіть їх.

У товщі земної кори природний газ перебуває у стиснутому стані. Якщо просвердлити свердловину, газ під тиском виходить на поверхню. Спрямувавши газ у газопровід, можна транспортувати його на великі відстані.



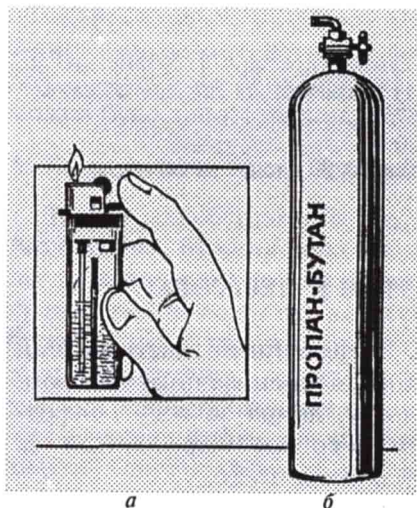
Із газопроводів газ потрапляє на заводи і в житлові приміщення, де використовується як паливо. В Україні триває газифікація населених пунктів. Використання в побуті газу замість дров і вугілля є поступом, хоча при цьому згоряє багато цінних речовин.

- Зважаючи на це, який висновок ви можете зробити щодо економного використання газу в побуті?

Природний газ широко використовується у промисловості. У доменних печах метан згоряє до вуглекислого газу, який, реагуючи з коксом, утворює відновник оксид карбону(II). У процесі виробництва сталі мартенівським способом природний газ використовується як джерело теплоти. З цією ж метою застосовують метан і в скловарних печах.

- Чи є, на вашу думку, раціональним використання природного газу в доменних печах?

Природний газ не лише спалюють, а й перероблюють на різні цінні хімічні продукти. Він є сировиною для добування ацетилену, водню, що використовується в хімічному синтезі, наприклад аміаку. Сажа, добута з метану, використовується для виготовлення друкарської фарби, гумових виробів (як наповнювач). Застосування природного газу — це, по суті, застосування метану.



Мал. 28. Використання зрідженого газу:

а — газова запальничка; б — газовий балон

- Пригадайте, на яких властивостях метану базується добування згаданих вище продуктів.

### Супутний нафтовий газ.

Існують поклади природного газу, що залягає разом із нафтою і разом із нею виходить на поверхню із свердловини. Це так званий супутний нафтовий газ. Він є

сумішшю летких вуглеводнів, хоча, на відміну від природного газу, в ньому менший вміст метану — до 40 %, а більше його гомологів та інших газів.

Суміш газів розділяють і використовують як паливо і як хімічну сировину. Суміш пропану і бутану зріджують і зберігають під тиском у балонах. Це дає змогу транспортувати газ у місця, не підключені до мережі газопроводів.

---

### Завдання для самоконтролю

**222.** Які родовища природного газу, нафти і кам'яного вугілля в Україні вам відомі? Покажіть їх на мапі.

**223.** Природний газ, вугілля, нафта належать до «енергохімічних ресурсів». Як ви розумієте цей термін?

**224.** Чому, на вашу думку, в побуті надають перевагу паливу у вигляді кам'яного вугілля над дровами, природного газу над вугіллям, електричного струму над газом?

**225.** До складу природного газу входять

- |             |             |
|-------------|-------------|
| (1) метан;  | (3) гексан; |
| (2) етилен; | (4) етан.   |

**226.** Наведіть хімічні рівняння, що підтверджують використання природного газу.

**227.** Для спалювання 20 л суміші пропану і бутану (н. у., об'ємне співвідношення газів 1 : 1) витрачається повітря об'ємом

- |               |            |
|---------------|------------|
| (1) 100 л;    | (3) 575 л; |
| (2) 143,75 л; | (4) 20 л.  |

Вважати, що у повітрі міститься 20 % кисню за об'ємом.

## § 38. НАФТА І ПРОДУКТИ ЇЇ ПЕРЕРОБКИ

**Склад і властивості нафти.** За фізичними властивостями нафта — це густа олійста рідина зі специфічним запахом, темно-бурого чи чорного кольору, легша за воду і нерозчинна в ній. Нафта різних родовищ відрізняється за складом, густиною, кольором, запахом тощо.

Нафта не є індивідуальною речовиною, це суміш близько 1000 різних речовин, серед яких переважають рідкі насичені вуглеводні, в ній також містяться домішки сульфуро-, нітрогено-, оксигеновмісних органічних сполук, водний розчин неорганічних солей.

**МИКОЛА ДМИТРОВИЧ  
ЗЕЛІНСЬКИЙ  
(1861—1953)**

Хімік-органік, академік. Закінчив Новоросійський університет у Одесі, працював там протягом певного часу. Наукові праці стосуються органічного каталізу, хімії амінокислот і білків. Досліджував склад нафти і продуктів її переробки, синтезував низку органічних сполук, у тому числі бензен з ацетилену. Винайшов вугільний протигаз.



Нафта відома людям здавна. Її почали використовувати близько 5000 років тому в місцях, де вона просякала на поверхню ґрунту. Горючість нафти помітити було неважко, тому її застосовувалась вона переважно як паливо, для освітлення, а також як мастило. Нафтопродукти використовувалися стародавньою медициною у вигляді мазей, для бальзамування мумій тощо. Сирою нафтою обробляли днища кораблів для гідроізоляції. Стародавні шумери застосовували нафтовий бітум як будівельний матеріал, у Китаї нафта використовувалась з військовою метою.

Нафта входила до складу відомого в стародавні часи так званого «грецького вогню», що займався від контакту з водою і спалив не один військовий корабель. Погасити його можна було тільки піском.

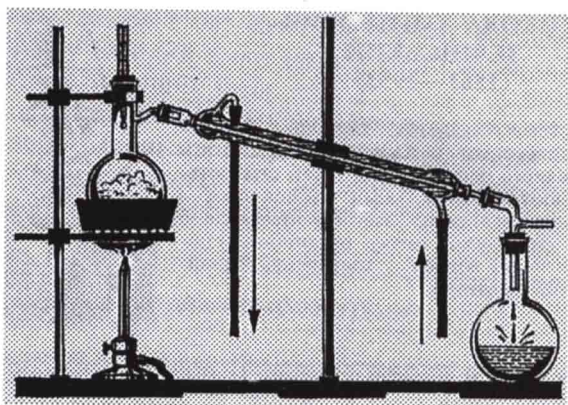
● Як ви думаєте, чому? Пригадайте умови гасіння полум'я.

Нафту видобувають із надр Землі через свердловини. Іноді під час буріння вона спершу викидається на поверхню під тиском, потім до свердловини закачують повітря, вуглекислий газ чи воду, які витискують нафту. З районів видобутку до місць переробки нафту перевозять сушею (в залізничних цистернах), морем чи рікою (у танкерах) або перекачують нафтопроводами.

**Перегонка нафти.** Не всі з вас бачили сиру нафту, але всі знають, що таке бензин, гас, вазелін, мазут. Ці продукти є нафтовими фракціями (від лат. *fraction* — розламування), що утворюються внаслідок перегонки нафти.

У чому полягає цей процес? Як суміш речовин нафта не має певної температури кипіння, а переходить у газуватий стан у широкому інтервалі температур. Нафту можна розді-





Мал. 29. Перегонка нафти в лабораторії

лити на складові частини (фракції) зі значно вужчими інтервалами температур кипіння за допомогою методу фракційної перегонки. Нафтові фракції — теж не індивідуальні речовини, хоча й містять близькі за складом і властивостями сполуки.

Цей процес можна відтворити в лабораторії. Нагріємо нафту в колбі з приєднаним водяним холодильником (мал. 29). При цьому низькокиплячі її компоненти переходять у газуватий стан, охолоджуються, конденсуються. Подальшим нагріванням до вищої температури можна виділити іншу фракцію і так далі.

На виробництві перегонка здійснюється у ректифікаційній колоні (від лат. *rectificatio* — випрямлення).

Характеристика продуктів перегонки нафти наведена у таблиці 8.

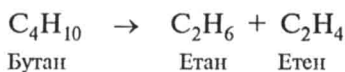
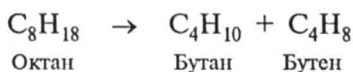
Під час перегонки нафти ніяких хімічних змін із продуктами не відбувається, спосіб базується на різних фізичних властивостях, а саме: різних температурах кипіння речовин, що входять до складу нафти. Але є способи її переробки, під час яких відбуваються хімічні реакції, коли речовини зазнають змін складу і будови. Їх ми розглянемо нижче.

**Крекінг нафтопродуктів.** Серед продуктів перегонки нафти в побуті донедавна найширше використовувався гас: для освітлення (у газових лампах), приготування їжі (примуси). Потім гас було замінено у багатьох випадках електроенергією і природним газом. Водночас розвиток автомобільної



промисловості потребував усе більшої кількості пального для двигунів. Зрослі потреби не задовольнялися перегонкою нафти, при якій залишається значна частина продуктів з високою температурою кипіння. Проблема була розв'язана завдяки переробці висококиплячих фракцій на низькокиплячі, що становлять основу пального.

Як виявилось, під час нагрівання до 400 °С і вище вуглеводні, що входять до складу мазуту, газойлю, розкладаються на вуглеводні з низькою молекулярною масою.



Цей процес називається *крекінгом* (від англ. *crack* — розщеплювати). Крекінг здійснюють за високої температури (термічний крекінг) або за наявності каталізатора (каталітичний крекінг), що дає змогу дещо знизити температуру процесу і добути бензин вищої якості.

**Таблиця 8. Продукти перегонки нафти**

Нафтова фракція	Кількість атомів Карбону в молекулах	Інтервал температур кипіння, °С	Галузі застосування
Гази	$\text{C}_1 - \text{C}_4$		Паливо
Бензин	$\text{C}_5 - \text{C}_{11}$	40—80	Пальне для двигунів внутрішнього згоряння
Гас	$\text{C}_{10} - \text{C}_{14}$	180—240	Дизельне і реактивне пальне
Газойль	$\text{C}_{11} - \text{C}_{20}$	240—260	Дизельне і котельне паливо
Мазут	Залишок перегонки		Переробляється на мастильні засоби, котельне паливо, вазелін, гудрон

Переробка нафти не обмежується перегонкою і крекінгом. За допомогою інших, технічно і хімічно складніших процесів добувають різноманітні за складом і будовою органічні продукти, що широко використовуються самі по собі, а також як сировина для хімічної промисловості.

Галузь виробництва, що займається переробкою нафтопродуктів, називається *нафтохімією*.

**Застосування нафтопродуктів.** Нафта відіграє надзвичайно велику роль у житті людства, у розвитку цивілізації. Насамперед це одне із найважливіших джерел енергії, що вивільнюється в результаті спалювання нафтопродуктів. Крім того, хімічною переробкою з нафти добувають незліченну кількість речовин, що використовуються, без перебільшення, скрізь, куди не поглянемо.

У результаті хімічної переробки чорна олійна рідина перетворюється на волокна і пластмаси, на запашні й вибухові речовини, ліки і барвники. Чим глибша переробка нафти, тим більше корисних продуктів можна добувати з неї.

- Схарактеризуйте застосування продуктів нафтопереробки за схемою 1.
- Порівняйте малюнки 30, а і 30, б. Які зміни відбулися б, якби видалили всі предмети, виготовлені із застосуванням нафтопродуктів?

Можна сказати, що ми залежимо від нафти, оскільки поки що вона незамінна як сировина для органічного синтезу і для виробництва пального. На жаль, ще й сьогодні у вигляді пального більша частина нафтопродуктів спалюється (до 87 % видобутку), решта використовується для хімічної переробки.

Людство давно усвідомило, що нафта — надто цінна хімічна сировина, щоб спалювати її у вигляді пального. До того ж, ресурси цієї копалини на планеті швидко скорочуються. У зв'язку з цим постає питання про заміну нафти як джерела енергії і сировини.

Принципово ця проблема може бути розв'язана за рахунок використання вугілля, запаси якого у природі значно більші, ніж запаси нафти. У вугіллі міститься вільний вуглець, який можна перетворити на різні речовини хімічним способом. Однак таке перетворення потребує значних матеріальних затрат, отже продукт, добутий з вугілля, буде

## Застосування нафтопродуктів



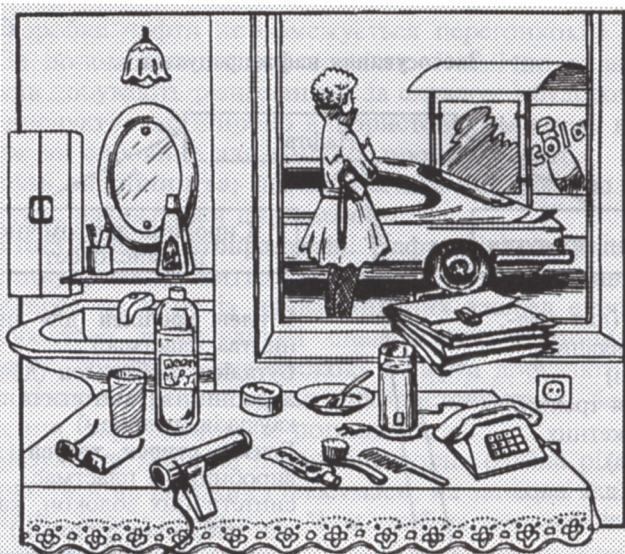
дорожчим, ніж добутий з нафти. У промисловості розроблено технологію виробництва рідкого пального з вугілля. Під час Другої світової війни у Німеччині, яка не має власних джерел нафти, саме з вугілля виробляли пальне, мастила тощо. Проте поки що використання цього методу економічно не доцільне.

Інший шлях заміни нафтопродуктів — використання органічних відходів та біомаси, основною складовою якої є органічна сполука целюлоза. Про це ви дізнаєтесь у 11 класі.

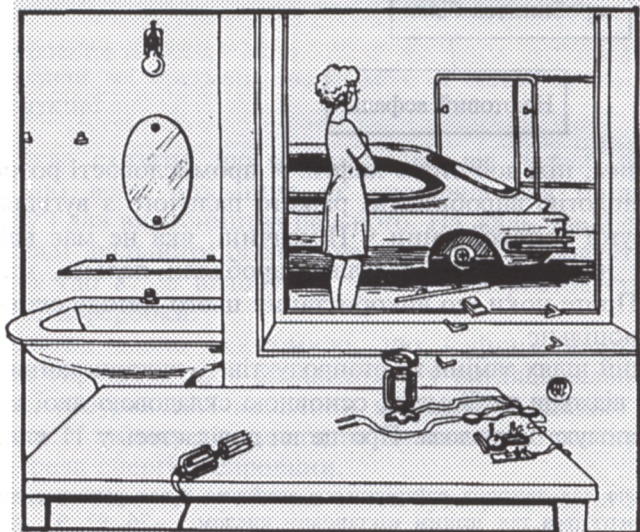
Пальне для двигунів внутрішнього згоряння буває різних сортів, що характеризуються так званим «октановим числом» — 76, 92, 93, 95 тощо. Що означають ці числа?

Виявляється, швидкість згоряння пального залежить від того, які вуглеводні входять до його складу. Бензин, що складається переважно з гексану  $C_6H_{14}$ , гептану  $C_7H_{16}$  і октану  $C_8H_{18}$  лінійної будови, згоряє надто швидко і спричинює детонацію (від лат. *detonatio* — вибух). Найліп-





а

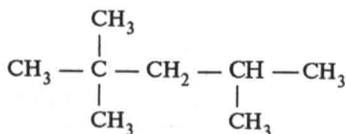


б

Мал. 30. Інтер'єр з предметами, виготовленими з нафтопродуктів (а) і без них (б)

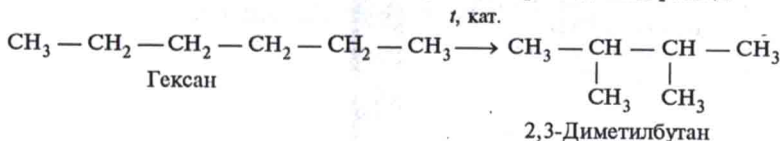


ші антидетонаційні характеристики мають вуглеводні розгалуженої будови, зокрема ізооктан



За умовною шкалою ізооктану надане «октанове число» 100, а гептану — 0. Суміші вуглеводнів, що входять до складу бензину різних сортів, мають проміжні октанові числа, причому чим вищі, тим кращий сорт бензину, вища його детонаційна стійкість.

Очевидно, для поліпшення якості пального доцільно застосовувати такі процеси переробки нафти, завдяки яким утворюються вуглеводні розгалуженої будови, зокрема процес каталітичної ізомеризації. Приклад такої реакції:

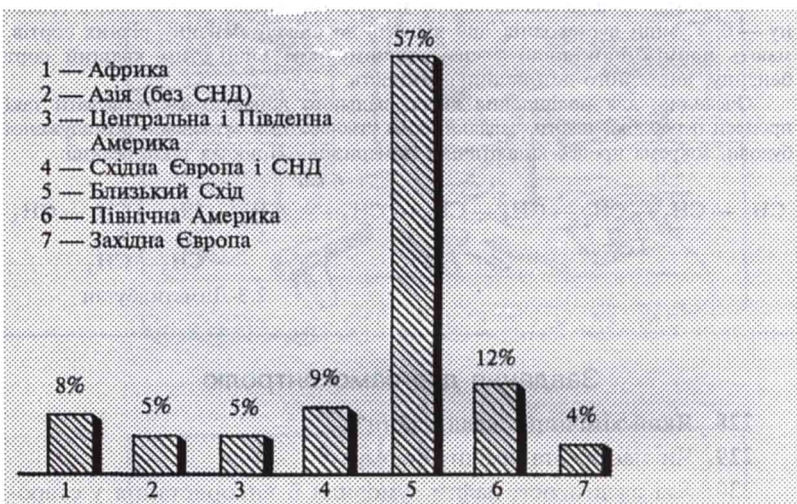


## Завдання для самоконтролю

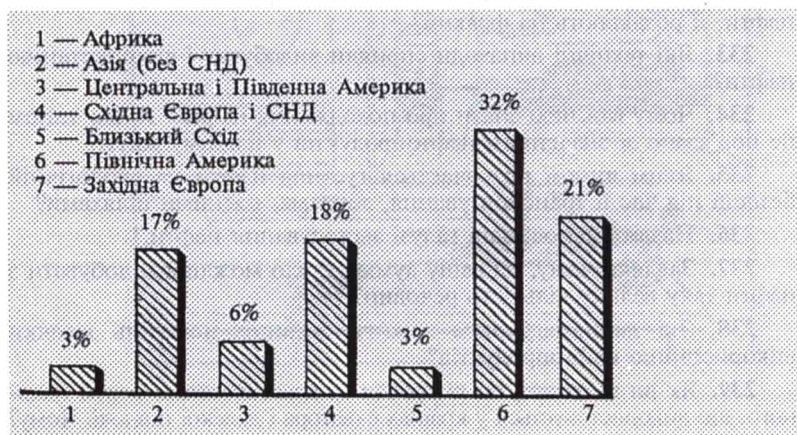
228. Який хімічний склад нафти?
229. Чи має нафта хімічну формулу?
230. Які властивості нафти зумовили її використання у стародавні часи?
231. Назвіть основні нафтові фракції.
232. На основі якої властивості речовин, що входять до складу нафти, її розділяють на фракції?
233. Які технічні винаходи сприяли видобутку і використанню нафти?
234. Чому важливо знати про походження нафти? Яким чином це пов'язано зі значенням нафтопродуктів у нашому житті?
235. Яким чином позначається густина нафти на екологічній безпеці під час її транспортування, зокрема, водними шляхами?
236. Назвіть дві основні галузі застосування нафти.
237. Завдяки чому, на вашу думку, стало можливим добувати з нафти таку велику кількість речовин?
238. Які зміни відбулися в житті останніх поколінь завдяки використанню нафтопродуктів?
239. Як ви вважаєте, чи різняться за властивостями сорти пального, що використовуються у країнах екватора і далекої півночі. Чому?
240. У чому полягає сенс відомого вислову Д. І. Менделєєва щодо спалювання сирої нафти: «Опалювати можна і асигнаціями»?

**241\*.** Коефіцієнт корисної дії автомобіля становить 25 % (тобто пальне використовується на 25 %). Чому, на вашу думку, даремно витрачається 75 % енергії пального?

**242\*.** Зіставте діаграми на мал. 31 і 32. Які висновки можна зробити щодо видобутку і споживання нафти у різних регіонах? Складіть кілька запитань, використовуючи наведені дані (у відсотках від світового видобутку і споживання).



Мал. 31. Розподіл запасів нафти за регіонами



Мал. 32. Споживання нафти в різних регіонах

## § 39. ВУГІЛЛЯ І ПРОДУКТИ ЙОГО ПЕРЕРОБКИ

Кам'яне вугілля, як і нафта, не індивідуальна речовина. До його складу входять вільний вуглець (до 10 %), органічні речовини, що містять Карбон, Гідроген, Оксиген, Сульфур, Нітроген, мінеральні речовини (вони залишаються у вигляді шлаку після спалювання вугілля).

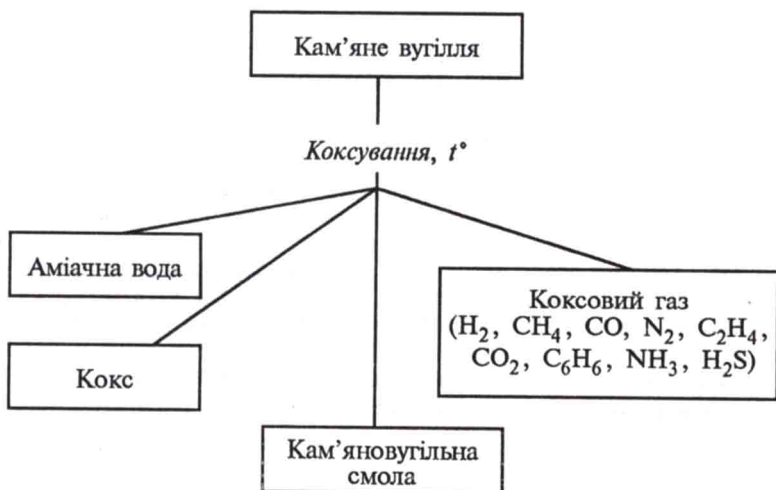
Вам відомо, що вугілля використовується як паливо, але не меншого значення надається хімічній переробці вугілля з метою добування величезної кількості цінних речовин.

Унаслідок нагрівання до 1000 °С без доступу повітря вугілля перетворюється на кокс. Цей продукт на 96—98 % складається з вуглецю. Основна галузь його застосування — металургія.

- Пригадайте, які процеси відбуваються з коксом у доменній печі?

Разом із коксом утворюються аміачна вода, коксовий газ і кам'яновугільна смола, що є багатим джерелом різноманітних речовин,— з неї їх виділено близько 500. Перегон-

### Продукти коксування





кою і хімічною обробкою кам'яновугільної смоли добувають ароматичні вуглеводні: толуен, нафталін, феноли, інші цінні речовини.

Кам'яновугільна смола і коксовий газ перероблюються на коксохімічних заводах.

У розвитку синтетичної органічної хімії кам'яновугільна смола відіграла особливу роль. Як джерело хімічних сполук кам'яне вугілля почало використовуватись раніше, ніж нафта і природний газ. На основі продуктів, виділених із кам'яновугільної смоли, виникли цілі галузі хімічної промисловості — виробництво синтетичних барвників, лікарських препаратів, засобів захисту рослин, вибухових речовин тощо.

Кам'яновугільна смола виявилася доступною сировиною для виробництва всіх цих продуктів, що уможливило їх багатотоннажне виробництво. Отже, кам'яне вугілля — цінна хімічна сировина, яку вигідніше переробляти, ніж спалювати.

### *Лабораторні роботи 8, 9*

#### **Ознайомлення зі зразками нафтопродуктів і продуктів коксування вугілля**

Розгляньте видані вам колекції продуктів переробки нафти і продуктів коксування кам'яного вугілля. Опишіть (усно) їх зовнішній вигляд. Що ви можете сказати про застосування цих речовин?

---

#### **Завдання для самоконтролю**

**243.** Який хімічний склад кам'яного вугілля?

**244.** Яким чином переробка кам'яного вугілля пов'язана з розвитком синтетичної органічної хімії?

**245.** Схарактеризуйте продукти коксування кам'яного вугілля за схемою 2. Де вони використовуються?

**246.** Теплота згоряння вугілля (в перерахунку на чистий вуглець) становить 394 кДж/моль, а октану — 5474 кДж/моль. Обчисліть, що вигідніше використовувати (за масою) як паливо: вугілля чи октан.

**247.** Поцікавтеся, звідки надходить паливо у вашу місцевість, з яких родовищ. Знайдіть їх на мапі.



## § 40. ВУГЛЕВОДНЕВА СИРОВИНА Й ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Життя людини повсякденно пов'язане зі спалюванням горючих речовин у побуті, на транспорті, у промисловості. Крім користі застосування нафтопродуктів, вугілля і природного газу створює ряд проблем, негативних для розвитку цивілізації та загалом для виживання людства.

Тепловий баланс нашої планети підтримується завдяки тому, що діоксид карбону і вода, які містяться в атмосфері, поглинають енергію сонячного випромінювання (інфрачервону частину спектра), а потім перевипромінюють її. Таким чином на планеті зберігається тепло.

Поглинання і випромінювання енергії діоксидом карбону та іншими речовинами спричинює *парниковий ефект*. Отже, можна сказати, що ми живемо в умовах парникового ефекту, і це відповідає нормальному станові атмосфери, комфортному для нас. Проте посилення цього ефекту може мати згубні наслідки, а саме — глобальне підвищення температури й у зв'язку з цим — зміну клімату.

До цього може призвести підвищення концентрації вуглекислого газу за рахунок спалювання горючих речовин. Протягом останніх 100 років у результаті техногенної діяльності людини вміст вуглекислого газу в атмосфері невпинно зростає.

- Напишіть рівняння реакцій горіння природного газу (метану), бензину (октану), вугілля (вуглецю).
- Подумайте, яким чином підвищення температури на планеті може позначитись на природних умовах північної півкулі. Чим це загрожує людству?

Крім парникового ефекту в результаті переробки і використання горючих корисних копалин атмосфера забруднюється шкідливими речовинами, такими як оксид карбону(II)  $\text{CO}$  (від неповного згоряння пального у двигунах), оксид сульфуру(IV)  $\text{SO}_2$  (утворюється з сірки, що міститься у вугіллі і бензині), метан  $\text{CH}_4$  (витік газу), сірководень  $\text{H}_2\text{S}$  (виділяється під час перегонки нафти), оксиди нітрогену  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  (під час високотемпературного горіння) та ін.

Усі ці речовини спричинюють фотохімічний смог<sup>1</sup>, кислотні дощі тощо.

Фотохімічний смог утворюється в результаті реакцій, що відбуваються під впливом сонячного світла (фотохімічні реакції). При цьому, крім наявних у повітрі забрудників, додатково утворюються діоксид нітрогену та озон. Останній реагує з вуглеводнями, що виділяються в повітря від неповного згоряння пального. У результаті утворюються сполуки, небезпечні для здоров'я людей і шкідливі для довкілля.

Фотохімічний смог уперше спостерігався в Лос-Анджелесі, де багато сонця та автомобілів.

Крім цього, під час згоряння пального утворюється дим, у якому містяться дрібні частинки вуглецю і твердих вуглеводнів, що не згоріли, а також сполуки Кадмію, Плюмбуму, Меркурію та інших елементів, надзвичайно шкідливі для здоров'я.

- Зважаючи на те, що атмосфера не знає кордонів, поясніть глобальну небезпеку її забруднення.

Яким чином можна позбутися шкідливих забрудників, що утворюються в результаті використання палива і пального?

По-перше, можна ощадливо використовувати ці продукти, тим самим зменшуючи кількість шкідливих викидів. По-друге, можна вилучати з палива сірку ще до його використання. По-третє, створювати технологічні умови повного згоряння вугілля в котельнях, на теплоелектростанціях та бензину у двигунах автомобілів. По-четверте, можна уловлювати відходи після згоряння палива за допомогою фільтрів. По-п'яте, можна замінити джерела енергії: замість енергії палива використовувати енергію Сонця, вітру, води, ядерну та геотермальну енергію.

- Які із зазначених чинників мають, на вашу думку, більше і менше значення? Розгляньте їх з погляду переваг і недоліків.

---

<sup>1</sup> Від англ. *smoke* — курити і *fog* — туман.

## Завдання для самоконтролю

**248.** Пригадайте, як створюється парниковий ефект у теплицях. Порівняйте його з парниковим ефектом на планеті.

**249.** Пригадайте колообіг Карбону у природі. Яким чином насадження і вирубування лісів позначається на парниковому ефекті?

**250.** Для добування електроенергії на теплоелектростанції протягом години спалюється 1 т вугілля, в якому вміст сірки за масою становить 2,5 %. Яка маса оксиду сульфуру(IV) потрапить в атмосферу протягом доби?

**251.** Для поглинання оксиду сульфуру(IV) у промисловості використовують вапно  $\text{CaO}$ . Яку масу цієї речовини треба взяти, щоб нейтралізувати оксид сульфуру(IV), що утвориться за умовою попередньої задачі?

**252.** Природний газ — екологічно безпечніше пальне порівняно з бензином. Чому? Яке значення має його використання в автомобілях замість бензину?

**253\*.** Які, на вашу думку, перспективи існують у використанні альтернативних джерел енергії?

**254\*.** Поясніть значення екологічного контролю за роботою двигунів автомобілів.

## ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

### *Практична робота 1*

#### Добування аміаку і дослід з ним

##### **Коротка інструкція:**

1. Зберіть прилад, як показано на мал. 7, с. 50.
2. Приготуйте суміш приблизно рівних порцій (по половині чайної ложки) кристалічного хлориду амонію і порошку гідроксиду кальцію.
3. Насипте суміш у суху пробірку на  $1/3$  її об'єму і закрийте пробкою з відвідною трубкою, зігнутою під прямим кутом і повернутою отвором догори (чому?).
4. Пробірку з сумішшю затисніть у лапці штатива трохи похило, отвором донизу. На кінець відвідної трубки надіньте догори дном суху пробірку і легко закрийте її отвір жмутиком вати.
5. Обережно прогрійте спочатку всю пробірку, а потім нагрівайте в тому місці, де є суміш.
6. Як тільки відчуєте гострий запах аміаку (нюхати обережно!), пробірку, в яку зібрано аміак, обережно зніміть з відвідної трубки, тримаючи її догори дном, негайно закрийте отвір великим пальцем і опустіть у кристалізатор з водою (кінець газовідвідної трубки після зняття з неї пробірки з аміаком відразу закрийте жмутиком мокрої вати).
7. Коли пробірка, в яку збирали аміак, заповниться водою, знову закрийте її отвір великим пальцем під водою і вийміть з кристалізатора.
8. Добутий водний розчин аміаку поділіть на дві пробірки. В одну занурте червоний лакмусовий папірець, а в іншу — долийте кілька крапель фенолфталеїну, а потім — трохи розбавленої хлоридної кислоти. Що спостерігається?



## Запитання й завдання

1. Чому пробірку з сумішшю треба закріплювати в лапці штатива похило у бік отвору?
2. Чому аміак збирають у суху пробірку, перевернену догори дном?
3. Про які властивості водного розчину аміаку свідчить його дія на індикатори?
4. Як це можна пояснити на підставі уявлень про електrolітичну дисоціацію?
5. Що відбувається при дії на водний розчин аміаку кислотою?
6. Складіть, де можливо, рівняння реакцій і запишіть їх у повній і скороченій йонних формах.

## *Практична робота 2*

### **Добування оксиду карбону(IV), взаємоперетворення карбонатів і гідрогенкарбонатів**

#### **Коротка інструкція:**

1. У пробірку покладіть кілька шматочків крейди або мармуру і долийте трохи розбавленої хлоридної кислоти.
2. Пробірку швидко закрийте корком з відвідною трубкою, кінець якої занурте у пробірку з вапняною водою (1—2 мл). Що спостерігається?
3. Продовжуйте пропускати газ у цю саму пробірку доти, доки не зникне каламуть і утвориться прозорий розчин.

## Запитання й завдання

1. Що відбувається при дії хлоридної кислоти на карбонати?
2. Як двома способами довести, що з пробірки виділяється саме оксид карбону(IV)?
3. Як пояснити появу каламуті в пробірці з вапняною водою, крізь яку пропускали оксид карбону(IV), і розчинення каламуті?
4. Складіть рівняння реакцій і запишіть їх у повній і скороченій йонних формах.

### Практична робота 3

#### Розв'язування експериментальних задач

##### Завдання:

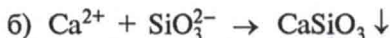
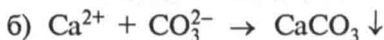
1. Визначити, яка речовина міститься в кожній з чотирьох пробірок (кристалічні речовини):

*Варіант 1* — сульфат натрію, карбонат кальцію, гідроксид кальцію, хлорид кальцію;

*Варіант 2* — карбонат натрію, сульфат натрію, сульфід натрію, хлорид натрію.

2. Скласти рівняння реакцій і записати їх у повній і скороченій йонних формах.

3. Здійснити реакції, що виражаються такими йонними рівняннями:



4. Написати рівняння реакцій, що відбуваються.

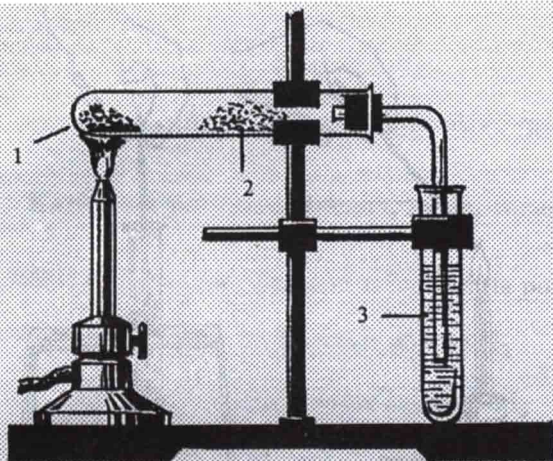
### Практична робота 4

#### Виявлення Карбону, Гідрогену, Хлору в органічних речовинах

##### Дослід 1. Виявлення Карбону і Гідрогену.

Суміш досліджуваної речовини з оксидом купруму(II) помістити у суху пробірку і закріпити її у штативі у горизонтальному положенні (мал. 33). Обережно внесіть безводний сульфат купруму(II) і закрийте пробірку корком з газовідвідною трубкою, кінець якої опустить у пробірку з вапняною водою.

Обережно нагрівайте пробірку з досліджуваною речовиною. Спостерігайте зміни, що відбулися з оксидом купруму(II), сульфатом купруму(II), вапняною водою; після цього дослід припиніть.



**Мал. 33.** Виявлення Карбону і Гідрогену в органічній сполуці:  
 1 — суміш речовини, що досліджується, з оксидом купруму(II);  
 2 — безводний сульфат купруму(II); 3 — вапняна вода

З метою уникнення розтріскування пробірки стежте, щоб після припинення нагрівання рідина не перекидалася по трубці у прилад.

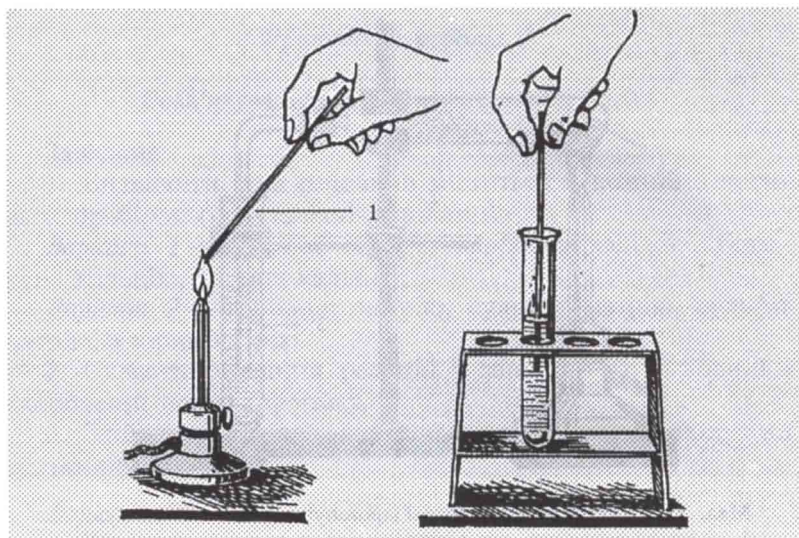
### Запитання й завдання

1. Яку роль відіграє в даному досліді оксид купруму(II)?
2. З якою метою використовується вапняна вода?
3. Напишіть рівняння реакцій, що відбуваються.

### Дослід 2. Виявлення Хлору.

Кінець мідного дроту зігніть петелькою або у вигляді спіралі діаметром 1—2 мм. Прожарюйте дротину в полум'ї до тих пір, поки воно не перестане забарвлюватись, охолодіть її. Внесіть дротину в речовину, що досліджується, і знову в полум'я (мал. 34). Зелене забарвлення полум'я свідчить про наявність Хлору в сполуці, виданій для аналізу.

Ємності з легкозаймистими органічними сполуками тримайте далі від вогню.



Мал. 34. Виявлення Хлору в органічній сполуці:  
1 — мідна дротина



## 1. РОЗПІЗНАВАННЯ ЙОНІВ НЕОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

**Катіони в розчинах кислот, лугів, солей**

$H^+$	лакмус	→ Червоне забарвлення розчину
	метали	→ Утворення водню $H_2$
$NH_4^+$	луг, нагрівання	→ Виділення аміаку $NH_3$
$Ag^+$	розчини з $Cl^-$	→ Білий сирнистий осад $AgCl$
$Na^+$	у полум'ї	→ Жовте забарвлення полум'я
$K^+$	у полум'ї	→ Фіолетове забарвлення полум'я
$Ba^{2+}$	розчини з $SO_4^{2-}$	→ Білий осад $BaSO_4$
$Zn^{2+}$	луг $OH^-$	→ Білий драглистий осад, розчинний у надлишку лугу

**Аніони в розчинах кислот, лугів, солей**

$Cl^-$	розчини з $Ag^+$	→ Білий сирнистий осад $AgCl$
$Br^-$	розчини з $Ag^+$	→ Жовтуватий сирнистий осад $AgBr$
$I^-$	розчини з $Ag^+$	→ Жовтий сирнистий осад $AgI$
$SO_4^{2-}$	розчини з $Ba^{2+}$	→ Білий осад $BaSO_4$
$CO_3^{2-}$	розчини кислот, $H^+$	→ Виділення вуглекислого газу $CO_2$
$NO_3^-$	$H_2SO_4$ (конц.) і $Cu$	→ Виділення бурого газу $NO_2$
$OH^-$	лакмус	→ Синє забарвлення розчину

Аніони	Катіони																		
	H <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sup>+</sup> <sub>4</sub>	Ba <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sn <sup>2+</sup>
OH <sup>-</sup>		Р	Р	Р	Р	М	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	—	—	Н	Н	Н
Cl <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	М	Р
Br <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	М	Р	М	Р
I <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	Р	Р	Р	Н	Н	—	Н	М
S <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	М	М	—	—	Н	—	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
SO <sup>2-</sup> <sub>3</sub>	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	—	—	Н	—	Н	Н	Н	Н	—	—	Н	—
SO <sup>2-</sup> <sub>4</sub>	Р	Р	Р	Р	Н	М	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р	Р	Н	Р
PO <sup>3-</sup> <sub>4</sub>	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	—	Н	Н	Н
CO <sup>2-</sup> <sub>3</sub>	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	—	—	Н	—	—	Н	Н	Н	—	Н	Н	—
SiO <sup>2-</sup> <sub>3</sub>	Н	Р	Р	—	Н	Н	Н	Н	—	Н	Н	—	Н	Н	—	—	Н	Н	—
NO <sup>-</sup> <sub>3</sub>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	—	Р	Р	—	Р	Р	Р	М	Р	Р	Р	Р

Примітка. Р — розчиняється, М — мало розчиняється, Н — практично не розчиняється, риска — сполука розкладається водою або не існує.

### 3. КЛАСИ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН І ФУНКЦІОНАЛЬНІ ГРУПИ

Клас сполук	Функціональна група	Назва групи	Приклад
Галогенопохідні	$\text{—F, —Cl, —Br, —I}$	Галогени	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ хлоретан $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$ бромобензол
Спирти і феноли	$\text{—OH}$	Гідроксильна (гідроксил)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ етанол $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{OH}$ гексанол $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ фенол
Альдегіди	$\text{—C}\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{H} \end{smallmatrix}$	Альдегідна	$\text{CH}_3\text{—C}\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{H} \end{smallmatrix}$ оцтовий альдегід
Кетони	$\text{—C}\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{O} \end{smallmatrix}$	Карбонільна (карбоніл)	$\text{CH}_3\text{—C}\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{O} \end{smallmatrix}\text{—CH}_3$ диметилкетон (ацетон)
Карбонові кислоти	$\text{—C}\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{OH} \end{smallmatrix}$	Карбоксильна (карбоксил)	$\text{CH}_3\text{COOH}$ оцтова кислота
Нітросполуки	$\text{—NO}_2$	Нітрогрупа	$\text{CH}_3\text{NO}_2$ нітрOMETAN
Первинні аміни	$\text{—NH}_2$	Аміногрупа (первинна)	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ етиламін
Вторинні аміни	$\text{—NH—}$	Аміногрупа (вторинна)	$\text{CH}_3\text{—NH—CH}_3$ диметиламін
Аміди кислот	$\text{—C}\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{NH}_2 \end{smallmatrix}$	Амідогрупа	$\text{CH}_3\text{—C}\begin{smallmatrix} \text{=O} \\ \text{NH}_2 \end{smallmatrix}$ амід оцтової кислоти
Вуглеводні	—	—	$\text{C}_2\text{H}_6$ , $\text{C}_2\text{H}_4$ , $\text{C}_2\text{H}_2$ , $\text{C}_6\text{H}_6$

#### 4. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ДЕЯКИМИ ФІЗИЧНИМИ ВЕЛИЧИНАМИ

Фізична величина	Позначення	Рівняння для визначення фізичної величини	Одиниця
Молярна маса	$M$	$M = \frac{m}{n}; \quad M = 2D_{H_2}$	кг/моль, г/моль, 1 г/моль = = $10^{-3}$ кг/моль
Маса речовини	$m$	$m = V\rho; \quad m = Mn$	кг, г
Кількість речовини	$n$	$n = \frac{m}{M}; \quad n = \frac{V}{V_m};$ $n = \frac{N}{N_A}$	моль
Об'єм газу	$V$	$V = \frac{m}{\rho}; \quad V = V_m n$	м <sup>3</sup> , л
Молярний об'єм	$V_m$	$V_m = \frac{V}{n}; \quad V_m = \frac{M}{\rho}$	м <sup>3</sup> /моль, л/моль
Густина	$\rho$	$\rho = \frac{m}{n}; \quad \rho = \frac{M}{V_m}$ (для газів)	кг/м <sup>3</sup> , г/см <sup>3</sup> , г/л, г/мл
Відносна густина газів	$D$	$D = \frac{\rho_1}{\rho_2}; \quad D = \frac{M_1}{M_2}$	—



## ВІДПОВІДІ ДО ЗАВДАНЬ

9. (а)
10. (в)
11. (б)
18. (в)
26.  $V(\text{SO}_2) = 112 \text{ м}^3$
27. Не вистачить
28.  $\varphi(\text{SO}_2) = 61,32 \%$   
 $\varphi(\text{O}_2) = 38,68 \%$
29.  $m(\text{BaSO}_3) = 434 \text{ г}$
30.  $m(\text{CaSO}_4) = 680 \text{ г}$   
 $m(\text{CaO}) = 20 \text{ г}$
31.  $\text{Na}_2\text{SO}_3$
35. (а)
41.  $m(\text{розчину}) = 4,39 \text{ г}$   
 $m(\text{BaSO}_4) = 0,492 \text{ г}$
42.  $m(\text{BaCl}_2) = 2,21 \text{ г}$   
 $m(\text{CuCl}_2) = 2,61 \text{ г}$
46.  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 6,89 \text{ т}$
47.  $m(\text{розчину}) = 255,6 \text{ кг}$
48.  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1102,5 \text{ т}$
49. 90 %
50. 88,7 %
51.  $m(\text{S}) = 160 \text{ кг}$
52.  $m(\text{розчину}) = 2,2 \text{ кг}$
66.  $\nu(\text{N}_2) = 0,5 \text{ моль}$   
 $\nu(\text{Ca}_3\text{N}_2) = 0,5 \text{ моль}$
67. Вистачить
68. (а)
74. (г)
75. (в)
76.  $w(\text{NH}_3) = 15 \%$   
 $m(\text{HCl}) = 64,4 \text{ г}$
81. (а)
82. (а)
83.  $m(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 40 \text{ г}$   
 $m(\text{HNO}_3) = 3,5 \text{ г}$
88.  $V(\text{H}_2) = 9388 \text{ м}^3$
93. (б)
94. (в)
96.  $m(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 6,8 \text{ г}$
97.  $V(\text{NO}_2) = 4,48 \text{ л}$   
 $\nu(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,42 \text{ моль}$
98.  $w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 88,45 \%$
102. (г)
103. (в)
105.  $x - \text{NH}_4\text{NO}_3$   
 $y - \text{NO}$
108. (в), (д)
109. (а)
117.  $w(\text{Si}) = 19,5 \%$
119. (г)
120. (в)
121. (а)
124. (в)
125. (б)
126. (а)
128. (г)
129.  $w(\text{CO}) = 25 \%$
134. (а)
135. (б)
136.  $w(\text{CaCO}_3) = 90 \%$
137.  $w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 83,3 \%$
157. (2)
162. (1, 2)
163. (3)
172. (3)
179. (3)
180. (1,5; 1,3; 2,4; 5,6)
181. (2)
193. (2)
196. (4)
205. (2)
206. (3, 1, 2)
207. (2)
220. (3)
225. (1,4)
227. (2)

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Бранд Х.	47
Буссенго Ж. Б.	72, 73
Бутлеров О. М.	125—127
Велер Ф.	107
Власюк П. А.	80
Гей-Люссак Ж. Л.	79
Горбачевський І. Я.	107, 108
Зайкевич А. Є.	79
Зелінський М. Д.	159
Кавендіш Г.	47
Кекуле Ф. А.	147, 148
Кіпріанов А. І.	128
Кірсанов О. В.	152
Лавуазьє А.	47, 73
Ле Шательє А. Л.	62
Лібіх Ю.	73, 74
Менделєєв Д. І.	78
Прістлі Дж.	47
Прянишников Д. М.	73, 77
Резерфорд Д.	47
Сорія Ш.	53
Тенар Л.	78—80
Шеєле К.	47

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

### А

Абсорбер	41
Агрохімія	73
Адсорбент	85
Адсорбція	85
Азот	52, 53
Активоване вугілля	85
Алмаз	82, 83
Алотропія	16
— Карбону	82—85
— Оксигену	16, 17
— Сульфуру	20, 21
— Фосфору	49, 50
Алюмосилікати	101, 103
Аміак	55—58
Аміачна вода	56, 167
Амофоси	79
Амофоска	79
Ацетилен	132 і далі

### Б

Бензин	161, 165
Бензен (бензол)	146 і далі
Бетон	105
Біла сажа	93
Бутан	117

### В

Вапняк	96
Вапняна вода	96
Взаємний вплив атомів	126
Вихід продукту	43—46
Вугілля	167

Вуглеводні	
— ароматичні	146
— насичені	117
— ненасичені	131
Вуглецеві матеріали	85

## Г

Газ	
— болотний	112
— бурий	65
— вуглекислий	90
— коксовий	167
— природний	112
— рудниковий	112
— чадний	113
Газ супутний	157
Газойль	161
Гас	161, 163
Гексан	117
Гексахлоробензен	151
Гексахлороциклогексан (гексахлоран)	151
Гептан	117
Гідрогенкарбонати	95
Гідрогенсульфати	35, 36
Гідрогенсульфіти	25
Гідрогенфосфати	67
Гідрування	
— ацетилену	135
— бензолу	149
— етилену	135
— ненасичених вуглеводнів	135
Гомологи	116, 121
Гомологічна різниця	121
Гомологічний ряд	121
Графіт	83, 84

## Д

Дегідрування	153
Декан	117
Детонація	163
Дигідрогенфосфати	67



Дихлорометан	114
Добрива	
— азотні	72, 73
— комплексні	79
— мінеральні	72
— органічні	73
— фосфатні	79
Донорно-акцепторна взаємодія	56, 57

## Е

Етан	116, 117, 119
Етил	128
Етилен	131 і далі

## З

Залізний колчедан	22, 40
Залізобетон	105
Зв'язок	
— ковалентний	100, 102
— кратний	132
— ординарний (простий)	132
— подвійний	131, 132
— потрійний	131, 132

## І

Ізобутан	124
Ізомери	125
Ізомерія	125

## К

Каолін	101
Кам'яновугільна смола	167
Карбіди	136
Карбін	85
Карбон	81, 82
Карбонати	95—97
Карботермія	87

Кварц	101
Кераміка	105
Кислоти	
— дифосфатна	68
— карбонатна	94, 95
— метафосфатна	66
— нітратна	65—69
— нітритна	65
— ортофосфатна	66—70
— силікатна	102, 103
— сульфатна	27, 28, 35—38
— сульфїтна	25
Кислотні дощі	27, 42
Кокс	167
Коксування	167
Колона синтезу	63
Крейда	96
Крекінг	161
Кремнезем	90—93
Кришталі	101, 104
Колообіг	
— Карбону	99—101
— Нітрогену	76—78
Купороси	39

## М

Мазут	161, 163
Мармур	96
Метан	111 і далі
Метил	128
Мідний блиск	22
Моделі молекул	
— кулестержневі	118
— масштабні	118
Моногідрат	41
Мономер	141
Мономерна ланка	141

## Н

Надлишок реагенту	29—34
Нафта	158 і далі

Нафтопродукти	162
Нафтохімія	162
Нашатир	57, 61
Нашатирний спирт	57, 58
Нітрати	66, 71, 72, 74
Нітриди	53
Нітрити	66, 74
Нітробензол	149
Нітроген	47, 48
Номенклатура	
— вуглеводнів ненасичених	133
— вуглеводнів насичених	127
Нонан	117

## О

Озон	16—19
Озонова дірка	19
Озоновий шар	18, 19
Оксиген	13, 14, 22
Октан	117
Октанове число	164
Оксиди	
— карбону	90—93
— нітрогену	64—66
— силіцію	90—93
— сульфуру	24—28
— фосфору	66
Олеум	42
Отрутохімікати	151

## П

Парафін	122, 142
Парафіни	121
Парниковий ефект	101
Пентан	117
Перегонка нафти	159
Пестициди	151
Пірит	17, 33
Пластмаси	143
Поліетилен	141 і далі

Полімер	141
Полімеризація	141
Поліпропілен	145
Політетрафлуоретилен	145
Поліхлоровініл	145
Порцеляна	105
Поташ	97
Преципітат	79
Принцип циркуляції	63, 64
Пропан	117
Пропіл	128
Пропілен	132

## Р

Радикали	128, 129
Реакція	
— гідрування	135, 153
— горіння	112, 120, 148
— дегідрування	153
— заміщення	114, 148
— приєднання	135, 149
— розкладу	113
— хлорування	114

## С

Сажа	115
Свинцевий блиск	22
Селітра	72
Силан	89
Силікати	103
Силіцій	81, 82
Синтез аміаку	62—64
Сірка	
— моноклінна	20, 21
— пластична	20
— ромбічна	20, 21
Сірчистий газ	24
Скло	
— віконне	104
— кварцове	104



— розчинне	103
— рідке	103
— силікатне	104
— тугоплавке	104
Смог	170
Смола кам'яновугільна	167
Сода	
— кальцинована	96
— кристалічна	96
— питна	97
Солі амонію	59—61
Структурна формула	112, 117
Ступінь полімеризації	142
Сульфати	35—38
Сульфід	23
Сульфід	25, 26
Сульфур	13—15
Суперфосфат	79
Сухий лід	90

## Т

Твердість води	97, 98
Теорія хімічної будови	123 і далі
Теплообмін	63
Термопластичність	142
Тетрахлорометан	114
Тетрафтор	145
Трихлорометан	114

## Ф

Фаянс	105
Фізіологічна дія	
— аміаку	55
— бурого газу	65
— озону	17
— оксиду силіцію(IV)	91—93
— оксиду сульфуру(IV)	26
— Нітрогену	51
— Фосфору	51
Фосфати	78, 79

Фосфіди	53
Фосфор	47, 48, 52—54
Фосфоритне борошно	79
Фосфорити	51

## Х

Хлоретан	120
Хлоробензен	148
Хлорометан	114
Хлоропохідні метану	115

## Ц

Цемент	105
Циклопарафіни	149
Цинкова обманка	22

ББК 24.4я 721  
Б91

*Затверджено Міністерством освіти і науки України  
(протокол № 2/5-19 від 22.02.2001)*

**Увага! ©**

Авторські та видавничі права ВТФ «Перун» захищені Законом України  
«Про авторське право і суміжні права»

**Буринська Н. М., Величко Л. П.**

Б91 Хімія, 10 кл.: Підруч. для загальноосвіт. навч. закл. —  
2-ге вид., перероб. та доп. — К.; Ірпінь: ВТФ «Перун»,  
2005. — 192 с.: іл.

ISBN 966-569-167-8

ББК 24.4я 721

© ВТФ «Перун», 1998

© ВТФ «Перун», 2005, зі змінами

*Навчальне видання*

**БУРИНСЬКА** Ніна Миколаївна — I розділ  
**ВЕЛИЧКО** Людмила Петрівна — II розділ

# **ХІМІЯ**

**10 клас**

Підручник для загальноосвітніх навчальних закладів  
*2-ге видання, перероблене та доповнене*

Відповідальна за випуск *С. В. Федченко*

Художньо-комп'ютерний дизайн обкладинки *Є. О. Ільницького*

Редактор *Н. М. Серафін*

Комп'ютерна верстка *Ю. О. Маненка*

Коректор *Л. П. Тютюнник*

Координатори поліграфічного виконання *В. Д. Ковальчук, Т. А. Якимець*

Видано коштом видавництва ВТФ «Перун».

Підп. до друку 15.09.05. Формат 84 × 108/32. Гарнітура Тип Таймс.

Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 10,08.

Ум. фарбовідб. 21,84. Обл.-вид. арк. 11,76.

Зам. № 5—720.

Видавничо-торгова фірма «Перун». 08200 Ірпінь, вул. Т. Шевченка, 4-а.

Свідоцтво про реєстрацію № 13710594 від 30.06.95.

Віддруковано у ВАТ «Поліграфкнига».

03057, Київ-57, вул. Довженка, 3.

Видруковано в Україні. Printed in Ukraine.

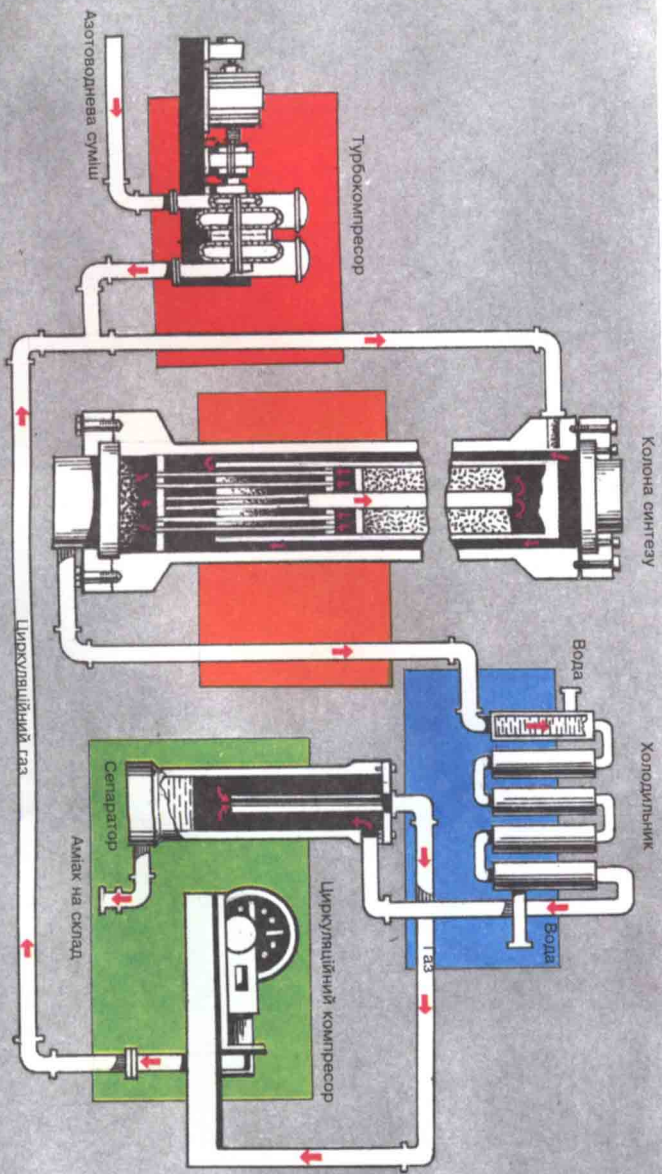
## **«Довга форма» періодичної системи хімічних елементів**

Крім відомої вам так званої короткої форми зображення періодичної системи, використовується ще й «довга» форма, також запропонована самим Менделєєвим. Взагалі існує багато варіантів зображення періодичної системи і не тільки у вигляді таблиці. Але з табличних варіантів у наш час найбільш поширеними є коротка і довга форми. Вони взаємно доповнюють одна одну і в цілому ідентичні. Проте останнім часом довга форма набуває більшої популярності, оскільки яскравіше узгоджується з будовою атомів хімічних елементів.

У довгій формі великі періоди, так само як і малі, займають лише одну горизонталь, на два ряди не поділяються. Ліворуч розміщуються *s*-елементи, в атомах яких заповнюються *s*-орбіталі; праворуч — *p*-елементи, в атомах яких заповнюються *p*-орбіталі. У *s*- і *p*-елементів заповнюється зовнішній електронний шар. У середній частині великих періодів розміщуються так звані перехідні елементи, в атомах яких заповнюються *d*-орбіталі передзовнішнього шару. Родини лантанодів та актиноідів — це *f*-елементи. В їхніх атомах заповнюється третій ззовні шар. Ці родини, як правило, виносять за межі таблиці як у короткій, так і у довгій формі. Відмінність у послідовності заповнення електронних шарів (зовнішніх і розміщених глибше) пояснює причину різної довжини періодів.

Довга форма періодичної системи включає 16 груп — 8 головних і 8 побічних (підгруп немає), що позначаються літерами А і Б. Розташування у групах *s*- і *p*-елементів визначається загальною кількістю електронів зовнішнього шару, а *d*-елементів — загальною кількістю *s*-електронів зовнішнього і *d*-електронів передзовнішнього шарів. Періодична повторюваність будови зовнішніх електронних оболонок атомів є причиною періодичної зміни властивостей хімічних елементів. У цьому полягає фізична суть періодичного закону, яка не залежить від форми подання періодичної системи елементів.





Промисловий синтез аміаку

# Періодична система хімічних елементів (довга форма)

PERIOD

ГРУППИ ЕЛЕМЕНТІВ

ІАІІАІІІАІVБVБVIБVIIБVIIIБІВІІБІІІАІVАVAVІAVІІАVІІА

ІАІІАІІІАІVБVБVIБVIIБVIIIБІВІІБІІІАІVАVAVІAVІІАVІІА

1

2

3

4

5

6

7

4,0HeГелій2

6,9LiЛітій3

23,0NaНатрій11

39,1KКалій19

85,5RbРубідій37

132,9CsЦезій55

223,0FrФранцій87

9,0BeБерилій4

24,3MgМагній12

40,1CaКальцій20

87,6SrСтронцій38

137,3BaБарій56

226,0RaРадій88

10,8BБор5

27,0AlАлюміній13

69,7GaГалій31

114,8InІндій49

204,4TlТалій81

12,0CКарбон6

28,1SiСиліцій14

72,6GeГерманій32

118,7SnСтанум50

207,2PbПлomboм82

14,0NНітроген7

31,0PФосфор15

74,9AsАрсен33

121,8SbСтібій51

209,0BiБісмут83

16,0OОксиген8

32,1SСульфур16

79,0SeСелен34

127,6TeТелур52

209,0PoПолоній84

19,0FФлуор9

35,5ClХлор17

79,9BrБром35

126,9IЙод53

210,0AtАстат85

20,2NeНеон10

39,9ArАргон18

83,8KrКриптон36

131,3XeКсенон54

222,0RnРадон86

5-ЕЛЕМЕНТИ

6-ЕЛЕМЕНТИ

7-ЕЛЕМЕНТИ

8-ЕЛЕМЕНТИ

9-ЕЛЕМЕНТИ

10-ЕЛЕМЕНТИ

11-ЕЛЕМЕНТИ

12-ЕЛЕМЕНТИ

13-ЕЛЕМЕНТИ

14-ЕЛЕМЕНТИ

15-ЕЛЕМЕНТИ

16-ЕЛЕМЕНТИ

17-ЕЛЕМЕНТИ

18-ЕЛЕМЕНТИ

19-ЕЛЕМЕНТИ

20-ЕЛЕМЕНТИ

21-ЕЛЕМЕНТИ

22-ЕЛЕМЕНТИ

23-ЕЛЕМЕНТИ

24-ЕЛЕМЕНТИ

25-ЕЛЕМЕНТИ

26-ЕЛЕМЕНТИ

27-ЕЛЕМЕНТИ

28-ЕЛЕМЕНТИ

29-ЕЛЕМЕНТИ

30-ЕЛЕМЕНТИ

31-ЕЛЕМЕНТИ

32-ЕЛЕМЕНТИ

33-ЕЛЕМЕНТИ

34-ЕЛЕМЕНТИ

35-ЕЛЕМЕНТИ

36-ЕЛЕМЕНТИ

37-ЕЛЕМЕНТИ

38-ЕЛЕМЕНТИ

39-ЕЛЕМЕНТИ

40-ЕЛЕМЕНТИ

41-ЕЛЕМЕНТИ

42-ЕЛЕМЕНТИ

43-ЕЛЕМЕНТИ

44-ЕЛЕМЕНТИ

45-ЕЛЕМЕНТИ

46-ЕЛЕМЕНТИ

47-ЕЛЕМЕНТИ

48-ЕЛЕМЕНТИ

49-ЕЛЕМЕНТИ

50-ЕЛЕМЕНТИ

51-ЕЛЕМЕНТИ

52-ЕЛЕМЕНТИ

53-ЕЛЕМЕНТИ

54-ЕЛЕМЕНТИ

55-ЕЛЕМЕНТИ

56-ЕЛЕМЕНТИ

57-ЕЛЕМЕНТИ

58-ЕЛЕМЕНТИ

59-ЕЛЕМЕНТИ

60-ЕЛЕМЕНТИ

61-ЕЛЕМЕНТИ

62-ЕЛЕМЕНТИ

63-ЕЛЕМЕНТИ

64-ЕЛЕМЕНТИ

65-ЕЛЕМЕНТИ

66-ЕЛЕМЕНТИ

67-ЕЛЕМЕНТИ

68-ЕЛЕМЕНТИ

69-ЕЛЕМЕНТИ

70-ЕЛЕМЕНТИ

71-ЕЛЕМЕНТИ

72-ЕЛЕМЕНТИ

73-ЕЛЕМЕНТИ

74-ЕЛЕМЕНТИ

75-ЕЛЕМЕНТИ

76-ЕЛЕМЕНТИ

77-ЕЛЕМЕНТИ

78-ЕЛЕМЕНТИ

79-ЕЛЕМЕНТИ

80-ЕЛЕМЕНТИ

81-ЕЛЕМЕНТИ

82-ЕЛЕМЕНТИ

83-ЕЛЕМЕНТИ

84-ЕЛЕМЕНТИ

85-ЕЛЕМЕНТИ

86-ЕЛЕМЕНТИ

87-ЕЛЕМЕНТИ

88-ЕЛЕМЕНТИ

89-ЕЛЕМЕНТИ

90-ЕЛЕМЕНТИ

91-ЕЛЕМЕНТИ

92-ЕЛЕМЕНТИ

93-ЕЛЕМЕНТИ

94-ЕЛЕМЕНТИ

95-ЕЛЕМЕНТИ

96-ЕЛЕМЕНТИ

97-ЕЛЕМЕНТИ

98-ЕЛЕМЕНТИ

99-ЕЛЕМЕНТИ

100-ЕЛЕМЕНТИ

101-ЕЛЕМЕНТИ

102-ЕЛЕМЕНТИ

103-ЕЛЕМЕНТИ

104-ЕЛЕМЕНТИ

105-ЕЛЕМЕНТИ

106-ЕЛЕМЕНТИ

107-ЕЛЕМЕНТИ

108-ЕЛЕМЕНТИ

109-ЕЛЕМЕНТИ

110-ЕЛЕМЕНТИ

111-ЕЛЕМЕНТИ

112-ЕЛЕМЕНТИ

113-ЕЛЕМЕНТИ

114-ЕЛЕМЕНТИ

115-ЕЛЕМЕНТИ

116-ЕЛЕМЕНТИ

117-ЕЛЕМЕНТИ

118-ЕЛЕМЕНТИ

119-ЕЛЕМЕНТИ

120-ЕЛЕМЕНТИ

121-ЕЛЕМЕНТИ

122-ЕЛЕМЕНТИ

123-ЕЛЕМЕНТИ

124-ЕЛЕМЕНТИ

125-ЕЛЕМЕНТИ

126-ЕЛЕМЕНТИ

127-ЕЛЕМЕНТИ

128-ЕЛЕМЕНТИ

129-ЕЛЕМЕНТИ

130-ЕЛЕМЕНТИ

131-ЕЛЕМЕНТИ

132-ЕЛЕМЕНТИ

133-ЕЛЕМЕНТИ

134-ЕЛЕМЕНТИ

135-ЕЛЕМЕНТИ

136-ЕЛЕМЕНТИ

137-ЕЛЕМЕНТИ

138-ЕЛЕМЕНТИ

139-ЕЛЕМЕНТИ

140-ЕЛЕМЕНТИ

141-ЕЛЕМЕНТИ

142-ЕЛЕМЕНТИ

143-ЕЛЕМЕНТИ

144-ЕЛЕМЕНТИ

145-ЕЛЕМЕНТИ

146-ЕЛЕМЕНТИ

147-ЕЛЕМЕНТИ

148-ЕЛЕМЕНТИ

149-ЕЛЕМЕНТИ

150-ЕЛЕМЕНТИ

151-ЕЛЕМЕНТИ

152-ЕЛЕМЕНТИ

153-ЕЛЕМЕНТИ

154-ЕЛЕМЕНТИ

155-ЕЛЕМЕНТИ

156-ЕЛЕМЕНТИ

157-ЕЛЕМЕНТИ

158-ЕЛЕМЕНТИ

159-ЕЛЕМЕНТИ

160-ЕЛЕМЕНТИ

161-ЕЛЕМЕНТИ

162-ЕЛЕМЕНТИ

163-ЕЛЕМЕНТИ

164-ЕЛЕМЕНТИ

165-ЕЛЕМЕНТИ

166-ЕЛЕМЕНТИ

167-ЕЛЕМЕНТИ

168-ЕЛЕМЕНТИ

169-ЕЛЕМЕНТИ

170-ЕЛЕМЕНТИ

171-ЕЛЕМЕНТИ

172-ЕЛЕМЕНТИ

173-ЕЛЕМЕНТИ

174-ЕЛЕМЕНТИ

175-ЕЛЕМЕНТИ

176-ЕЛЕМЕНТИ

177-ЕЛЕМЕНТИ

178-ЕЛЕМЕНТИ

179-ЕЛЕМЕНТИ

180-ЕЛЕМЕНТИ

181-ЕЛЕМЕНТИ

182-ЕЛЕМЕНТИ

183-ЕЛЕМЕНТИ

184-ЕЛЕМЕНТИ

185-ЕЛЕМЕНТИ

186-ЕЛЕМЕНТИ

187-ЕЛЕМЕНТИ

188-ЕЛЕМЕНТИ

189-ЕЛЕМЕНТИ

190-ЕЛЕМЕНТИ

191-ЕЛЕМЕНТИ

192-ЕЛЕМЕНТИ

193-ЕЛЕМЕНТИ

194-ЕЛЕМЕНТИ

195-ЕЛЕМЕНТИ

196-ЕЛЕМЕНТИ

197-ЕЛЕМЕНТИ

198-ЕЛЕМЕНТИ

199-ЕЛЕМЕНТИ

200-ЕЛЕМЕНТИ

201-ЕЛЕМЕНТИ

202-ЕЛЕМЕНТИ

203-ЕЛЕМЕНТИ

204-ЕЛЕМЕНТИ

205-ЕЛЕМЕНТИ

206-ЕЛЕМЕНТИ

207-ЕЛЕМЕНТИ

208-ЕЛЕМЕНТИ

209-ЕЛЕМЕНТИ

210-ЕЛЕМЕНТИ

211-ЕЛЕМЕНТИ

212-ЕЛЕМЕНТИ

213-ЕЛЕМЕНТИ

214-ЕЛЕМЕНТИ

215-ЕЛЕМЕНТИ

216-ЕЛЕМЕНТИ

217-ЕЛЕМЕНТИ

218-ЕЛЕМЕНТИ

219-ЕЛЕМЕНТИ

220-ЕЛЕМЕНТИ

221-ЕЛЕМЕНТИ

222-ЕЛЕМЕНТИ

223-ЕЛЕМЕНТИ

224-ЕЛЕМЕНТИ

225-ЕЛЕМЕНТИ

226-ЕЛЕМЕНТИ

227-ЕЛЕМЕНТИ

228-ЕЛЕМЕНТИ

229-ЕЛЕМЕНТИ

230-ЕЛЕМЕНТИ

231-ЕЛЕМЕНТИ

232-ЕЛЕМЕНТИ

233-ЕЛЕМЕНТИ

234-ЕЛЕМЕНТИ

235-ЕЛЕМЕНТИ

236-ЕЛЕМЕНТИ

237-ЕЛЕМЕНТИ

238-ЕЛЕМЕНТИ

239-ЕЛЕМЕНТИ

240-ЕЛЕМЕНТИ

241-ЕЛЕМЕНТИ

242-ЕЛЕМЕНТИ

243-ЕЛЕМЕНТИ

244-ЕЛЕМЕНТИ

245-ЕЛЕМЕНТИ

246-ЕЛЕМЕНТИ

247-ЕЛЕМЕНТИ

248-ЕЛЕМЕНТИ

249-ЕЛЕМЕНТИ

250-ЕЛЕМЕНТИ

251-ЕЛЕМЕНТИ

252-ЕЛЕМЕНТИ

253-ЕЛЕМЕНТИ

254-ЕЛЕМЕНТИ

255-ЕЛЕМЕНТИ

256-ЕЛЕМЕНТИ

257-ЕЛЕМЕНТИ

258-ЕЛЕМЕНТИ

259-ЕЛЕМЕНТИ

260-ЕЛЕМЕНТИ

261-ЕЛЕМЕНТИ

262-ЕЛЕМЕНТИ

263-ЕЛЕМЕНТИ

264-ЕЛЕМЕНТИ

265-ЕЛЕМЕНТИ

266-ЕЛЕМЕНТИ

267-ЕЛЕМЕНТИ

268-ЕЛЕМЕНТИ

269-ЕЛЕМЕНТИ

270-ЕЛЕМЕНТИ

271-ЕЛЕМЕНТИ

272-ЕЛЕМЕНТИ

273-ЕЛЕМЕНТИ

274-ЕЛЕМЕНТИ

275-ЕЛЕМЕНТИ

276-ЕЛЕМЕНТИ

277-ЕЛЕМЕНТИ

278-ЕЛЕМЕНТИ

279-ЕЛЕМЕНТИ

280-ЕЛЕМЕНТИ

281-ЕЛЕМЕНТИ

282-ЕЛЕМЕНТИ

283-ЕЛЕМЕНТИ

284-ЕЛЕМЕНТИ

285-ЕЛЕМЕНТИ

286-ЕЛЕМЕНТИ

287-ЕЛЕМЕНТИ

288-ЕЛЕМЕНТИ

289-ЕЛЕМЕНТИ

290-ЕЛЕМЕНТИ

291-ЕЛЕМЕНТИ

292-ЕЛЕМЕНТИ

293-ЕЛЕМЕНТИ

294-ЕЛЕМЕНТИ

295-ЕЛЕМЕНТИ

296-ЕЛЕМЕНТИ

297-ЕЛЕМЕНТИ

298-ЕЛЕМЕНТИ

299-ЕЛЕМЕНТИ

300-ЕЛЕМЕНТИ

301-ЕЛЕМЕНТИ

302-ЕЛЕМЕНТИ

303-ЕЛЕМЕНТИ

304-ЕЛЕМЕНТИ

305-ЕЛЕМЕНТИ

306-ЕЛЕМЕНТИ

307-ЕЛЕМЕНТИ

308-ЕЛЕМЕНТИ

309-ЕЛЕМЕНТИ

310-ЕЛЕМЕНТИ

311-ЕЛЕМЕНТИ

312-ЕЛЕМЕНТИ

313-ЕЛЕМЕНТИ

314-ЕЛЕМЕНТИ

315-ЕЛЕМЕНТИ

316-ЕЛЕМЕНТИ

317-ЕЛЕМЕНТИ

318-ЕЛЕМЕНТИ

319-ЕЛЕМЕНТИ

320-ЕЛЕМЕНТИ

321-ЕЛЕМЕНТИ

322-ЕЛЕМЕНТИ

323-ЕЛЕМЕНТИ

324-ЕЛЕМЕНТИ

325-ЕЛЕМЕНТИ

326-ЕЛЕМЕНТИ

327-ЕЛЕМЕНТИ

328-ЕЛЕМЕНТИ

329-ЕЛЕМЕНТИ

330-ЕЛЕМЕНТИ

331-ЕЛЕМЕНТИ

332-ЕЛЕМЕНТИ

333-ЕЛЕМЕНТИ

334-ЕЛЕМЕНТИ

335-ЕЛЕМЕНТИ

336-ЕЛЕМЕНТИ

337-ЕЛЕМЕНТИ

338-ЕЛЕМЕНТИ

339-ЕЛЕМЕНТИ

340-ЕЛЕМЕНТИ

341-ЕЛЕМЕНТИ

342-ЕЛЕМЕНТИ

343-ЕЛЕМЕНТИ

344-ЕЛЕМЕНТИ

345-ЕЛЕМЕНТИ

346-ЕЛЕМЕНТИ

347-ЕЛЕМЕНТИ

348-ЕЛЕМЕНТИ

349-ЕЛЕМЕНТИ

350-ЕЛЕМЕНТИ

351-ЕЛЕМЕНТИ

352-ЕЛЕМЕНТИ

353-ЕЛЕМЕНТИ

354-ЕЛЕМЕНТИ

355-ЕЛЕМЕНТИ

356-ЕЛЕМЕНТИ

357-ЕЛЕМЕНТИ

358-ЕЛЕМЕНТИ

359-ЕЛЕМЕНТИ

360-ЕЛЕМЕНТИ

361-ЕЛЕМЕНТИ

362-ЕЛЕМЕНТИ

363-ЕЛЕМЕНТИ

364-ЕЛЕМЕНТИ

365-ЕЛЕМЕНТИ

366-ЕЛЕМЕНТИ

367-ЕЛЕМЕНТИ

368-ЕЛЕМЕНТИ

369-ЕЛЕМЕНТИ

370-ЕЛЕМЕНТИ

371-ЕЛЕМЕНТИ

372-ЕЛЕМЕНТИ

373-ЕЛЕМЕНТИ

374-ЕЛЕМЕНТИ

375-ЕЛЕМЕНТИ

376-ЕЛЕМЕНТИ

377-ЕЛЕМЕНТИ

378-ЕЛЕМЕНТИ

379-ЕЛЕМЕНТИ

380-ЕЛЕМЕНТИ

381-ЕЛЕМЕНТИ

382-ЕЛЕМЕНТИ

383-ЕЛЕМЕНТИ

384-ЕЛЕМЕНТИ

385-ЕЛЕМЕНТИ

386-ЕЛЕМЕНТИ

387-ЕЛЕМЕНТИ

388-ЕЛЕМЕНТИ

389-ЕЛЕМЕНТИ

390-ЕЛЕМЕНТИ

391-ЕЛЕМЕНТИ

392-ЕЛЕМЕНТИ

393-ЕЛЕМЕНТИ

394-ЕЛЕМЕНТИ

395-ЕЛЕМЕНТИ

396-ЕЛЕМЕНТИ

397-ЕЛЕМЕНТИ

398-ЕЛЕМЕНТИ

399-ЕЛЕМЕНТИ

400-ЕЛЕМЕНТИ

401-ЕЛЕМЕНТИ

402-ЕЛЕМЕНТИ

403-ЕЛЕМЕНТИ

404-ЕЛЕМЕНТИ

405-ЕЛЕМЕНТИ

406-ЕЛЕМЕНТИ

407-ЕЛЕМЕНТИ

408-ЕЛЕМЕНТИ

409-ЕЛЕМЕНТИ

410-ЕЛЕМЕНТИ

411-ЕЛЕМЕНТИ

412-ЕЛЕМЕНТИ

413-ЕЛЕМЕНТИ

414-ЕЛЕМЕНТИ

415-ЕЛЕМЕНТИ

416-ЕЛЕМЕНТИ

417-ЕЛЕМЕНТИ

418-ЕЛЕМЕНТИ

419-ЕЛЕМЕНТИ

420-ЕЛЕМЕНТИ

421-ЕЛЕМЕНТИ

422-ЕЛЕМЕНТИ

423-ЕЛЕМЕНТИ

424-ЕЛЕМЕНТИ

425-ЕЛЕМЕНТИ

426-ЕЛЕМЕНТИ

427-ЕЛЕМЕНТИ

428-ЕЛЕМЕНТИ

429-ЕЛЕМЕНТИ

430-ЕЛЕМЕНТИ

431-ЕЛЕМЕНТИ

432-ЕЛЕМЕНТИ

433-ЕЛЕМЕНТИ

434-ЕЛЕМЕНТИ

435-ЕЛЕМЕНТИ

436-ЕЛЕМЕНТИ

437-ЕЛЕМЕНТИ

438-ЕЛЕМЕНТИ

439-ЕЛЕМЕНТИ

440-ЕЛЕМЕНТИ

441-ЕЛЕМЕНТИ

442-ЕЛЕМЕНТИ

443-ЕЛЕМЕНТИ

444-ЕЛЕМЕНТИ

445-ЕЛЕМЕНТИ

446-ЕЛЕМЕНТИ

447-ЕЛЕМЕНТИ

448-ЕЛЕМЕНТИ

449-ЕЛЕМЕНТИ

450-ЕЛЕМЕНТИ

451-ЕЛЕМЕНТИ

452-ЕЛЕМЕНТИ

453-ЕЛЕМЕНТИ

454-ЕЛЕМЕНТИ

455-ЕЛЕМЕНТИ

456-ЕЛЕМЕНТИ

457-ЕЛЕМЕНТИ

458-ЕЛЕМЕНТИ

459-ЕЛЕМЕНТИ

460-ЕЛЕМЕНТИ

461-ЕЛЕМЕНТИ

462-ЕЛЕМЕНТИ

463-ЕЛЕМЕНТИ

464-ЕЛЕМЕНТИ

465-ЕЛЕМЕНТИ

466-ЕЛЕМЕНТИ

467-ЕЛЕМЕНТИ

468-ЕЛЕМЕНТИ

469-ЕЛЕМЕНТИ

470-ЕЛЕМЕНТИ

471-ЕЛЕМЕНТИ

472-ЕЛЕМЕНТИ

473-ЕЛЕМЕНТИ

474-ЕЛЕМЕНТИ

475-ЕЛЕМЕНТИ

476-ЕЛЕМЕНТИ

477-ЕЛЕМЕНТИ

478-ЕЛЕМЕНТИ

479-ЕЛЕМЕНТИ

480-ЕЛЕМЕНТИ

481-ЕЛЕМЕНТИ

482-ЕЛЕМЕНТИ

483-ЕЛЕМЕНТИ

484-ЕЛЕМЕНТИ

485-ЕЛЕМЕНТИ

486-ЕЛЕМЕНТИ

487-ЕЛЕМЕНТИ

488-ЕЛЕМЕНТИ

489-ЕЛЕМЕНТИ

490-ЕЛЕМЕНТИ

491-ЕЛЕМЕНТИ

492-ЕЛЕМЕНТИ

493-ЕЛЕМЕНТИ

494-ЕЛЕМЕНТИ

495-ЕЛЕМЕНТИ

496-ЕЛЕМЕНТИ

497-ЕЛЕМЕНТИ

498-ЕЛЕМЕНТИ

499-ЕЛЕМЕНТИ

500-ЕЛЕМЕНТИ

501-ЕЛЕМЕНТИ

502-ЕЛЕМЕНТИ

503-ЕЛЕМЕНТИ

504-ЕЛЕМЕНТИ

505-ЕЛЕМЕНТИ

506-ЕЛЕМЕНТИ

507-ЕЛЕМЕНТИ

508-ЕЛЕМЕНТИ

509-ЕЛЕМЕНТИ

510-ЕЛЕМЕНТИ

511-ЕЛЕМЕНТИ

512-ЕЛЕМЕНТИ

513-ЕЛЕМЕНТИ

514-ЕЛЕМЕНТИ

515-ЕЛЕМЕНТИ

516-ЕЛЕМЕНТИ

517-ЕЛЕМЕНТИ

518-ЕЛЕМЕНТИ

519-ЕЛЕМЕНТИ

520-ЕЛЕМЕНТИ

521-ЕЛЕМЕНТИ

522-ЕЛЕМЕНТИ

523-ЕЛЕМЕНТИ

524-ЕЛЕМЕНТИ

525-ЕЛЕМЕНТИ

526-ЕЛЕМЕНТИ

527-ЕЛЕМЕНТИ

528-ЕЛЕМЕНТИ

529-ЕЛЕМЕНТИ

530-ЕЛЕМЕНТИ

531-ЕЛЕМЕНТИ

532-ЕЛЕМЕНТИ

533-ЕЛЕМЕНТИ

534-ЕЛЕМЕНТИ

535-ЕЛЕМЕНТИ

536-ЕЛЕМЕНТИ

537-ЕЛЕМЕНТИ

538-ЕЛЕМЕНТИ

539-ЕЛЕМЕНТИ

540-ЕЛЕМЕНТИ

541-ЕЛЕМЕНТИ

542-ЕЛЕМЕНТИ

543-ЕЛЕМЕНТИ

544-ЕЛЕМЕНТИ

545-ЕЛЕМЕНТИ

546-ЕЛЕМЕНТИ

547-ЕЛЕМЕНТИ

548-ЕЛЕМЕНТИ

549-ЕЛЕМЕНТИ

550-ЕЛЕМЕНТИ

551-ЕЛЕМЕНТИ

552-ЕЛЕМЕНТИ

553-ЕЛЕМЕНТИ

554-ЕЛЕМЕНТИ

555-ЕЛЕМЕНТИ

556-ЕЛЕМЕНТИ

557-ЕЛЕМЕНТИ

558-ЕЛЕМЕНТИ

559-ЕЛЕМЕНТИ

560-ЕЛЕМЕНТИ

561-ЕЛЕМЕНТИ

562-ЕЛЕМЕНТИ

563-ЕЛЕМЕНТИ

564-ЕЛЕМЕНТИ

565-ЕЛЕМЕНТИ

566-ЕЛЕМЕНТИ

567-ЕЛЕМЕНТИ

568-ЕЛЕМЕНТИ

569-ЕЛЕМЕНТИ

570-ЕЛЕМЕНТИ

571-ЕЛЕМЕНТИ

572-ЕЛЕМЕНТИ

573-ЕЛЕМЕНТИ

574-ЕЛЕМЕНТИ

575-ЕЛЕМЕНТИ

576-ЕЛЕМЕНТИ

577-ЕЛЕМЕНТИ

578-ЕЛЕМЕНТИ

579-ЕЛЕМЕНТИ

580-ЕЛЕМЕНТИ

581-ЕЛЕМЕНТИ

582-ЕЛЕМЕНТИ

583-ЕЛЕМЕНТИ

584-ЕЛЕМЕНТИ

585-ЕЛЕМЕНТИ

586-ЕЛЕМЕНТИ

587-ЕЛЕМЕНТИ

588-ЕЛЕМЕНТИ

589-ЕЛЕМЕНТИ

590-ЕЛЕМЕНТИ

591-ЕЛЕМЕНТИ

592-ЕЛЕМЕНТИ

593-ЕЛЕМЕНТИ

594-ЕЛЕМЕНТИ

595-ЕЛЕМЕНТИ

596-ЕЛЕМЕНТИ

597-ЕЛЕМЕНТИ

598-ЕЛЕМЕНТИ

599-ЕЛЕМЕНТИ

600-ЕЛЕМЕНТИ

601-ЕЛЕМЕНТИ

602-ЕЛЕМЕНТИ

603-ЕЛЕМЕНТИ

604-ЕЛЕМЕНТИ

605-ЕЛЕМЕНТИ

606-ЕЛЕМЕНТИ

607-ЕЛЕМЕНТИ

608-ЕЛЕМЕНТИ

609-ЕЛЕМЕНТИ

610-ЕЛЕМЕНТИ

611-ЕЛЕМЕНТИ

612-ЕЛЕМЕНТИ

613-ЕЛЕМЕНТИ

614-ЕЛЕМЕНТИ

615-ЕЛЕМЕНТИ

616-ЕЛЕМЕНТИ

617-ЕЛЕМЕНТИ

618-ЕЛЕМЕНТИ

619-ЕЛЕМЕНТИ

620-ЕЛЕМЕНТИ

621-ЕЛЕМЕНТИ

622-ЕЛЕМЕНТИ

623-ЕЛЕМЕНТИ

624-ЕЛЕМЕНТИ

625-ЕЛЕМЕНТИ

626-ЕЛЕМЕНТИ

627-ЕЛЕМЕНТИ

628-ЕЛЕМЕНТИ

629-ЕЛЕМЕНТИ

630-ЕЛЕМЕНТИ

631-ЕЛЕМЕНТИ

632-ЕЛЕМЕНТИ

633-ЕЛЕМЕНТИ

634-ЕЛЕМЕНТИ

635-ЕЛЕМЕНТИ

636-ЕЛЕМЕНТИ

637-ЕЛЕМЕНТИ

638-ЕЛЕМЕНТИ

639-ЕЛЕМЕНТИ

640-ЕЛЕМЕНТИ

641-ЕЛЕМЕНТИ

642-ЕЛЕМЕНТИ

643-ЕЛЕМЕНТИ

644-ЕЛЕМЕНТИ

645-ЕЛЕМЕНТИ

646-ЕЛЕМЕНТИ

647-ЕЛЕМЕНТИ

648-ЕЛЕМЕНТИ

649-ЕЛЕМЕНТИ

650-ЕЛЕМЕНТИ

651-ЕЛЕМЕНТИ

652-ЕЛЕМЕНТИ

653-ЕЛЕМЕНТИ

654-ЕЛЕМЕНТИ

655-ЕЛЕМЕНТИ

656-ЕЛЕМЕНТИ

657-ЕЛЕМЕНТИ

658-ЕЛЕМЕНТИ

659-ЕЛЕМЕНТИ

660-ЕЛЕМЕНТИ

661-ЕЛЕМЕНТИ

662-ЕЛЕМЕНТИ

663-ЕЛЕМЕНТИ

664-ЕЛЕМЕНТИ

665-ЕЛЕМЕНТИ

666-ЕЛЕМЕНТИ

667-ЕЛЕМЕНТИ

668-ЕЛЕМЕНТИ

669-ЕЛЕМЕНТИ

670-ЕЛЕМЕНТИ

671-ЕЛЕМЕНТИ

672-ЕЛЕМЕНТИ

673-ЕЛЕМЕНТИ

674-ЕЛЕМЕНТИ

675-ЕЛЕМЕНТИ

676-ЕЛЕМЕНТИ

677-ЕЛЕМЕНТИ

678-ЕЛЕМЕНТИ

679-ЕЛЕМЕНТИ

680-ЕЛЕМЕНТИ

681-ЕЛЕМЕНТИ

682-ЕЛЕМЕНТИ

683-ЕЛЕМЕНТИ

684-ЕЛЕМЕНТИ

685-ЕЛЕМЕНТИ

686-ЕЛЕМЕНТИ

687-ЕЛЕМЕНТИ

688-ЕЛЕМЕНТИ

689-ЕЛЕМЕНТИ

690-ЕЛЕМЕНТИ

691-ЕЛЕМЕНТИ

692-ЕЛЕМЕНТИ

693-ЕЛЕМЕНТИ

694-ЕЛЕМЕНТИ

695-ЕЛЕМЕНТИ

696-ЕЛЕМЕНТИ

697-ЕЛЕМЕНТИ

698-ЕЛЕМЕНТИ

699-ЕЛЕМЕНТИ

700-ЕЛЕМЕНТИ

701-ЕЛЕМЕНТИ

702-ЕЛЕМЕНТИ

703-ЕЛЕМЕНТИ

704-ЕЛЕМЕНТИ

705-ЕЛЕМЕНТИ

706-ЕЛЕМЕНТИ

707-ЕЛЕМЕНТИ

708-ЕЛЕМЕНТИ

709-ЕЛЕМЕНТИ

710-ЕЛЕМЕНТИ

711-ЕЛЕМЕНТИ

712-ЕЛЕМЕНТИ

713-ЕЛЕМЕНТИ

714-ЕЛЕМЕНТИ

715-ЕЛЕМЕНТИ

716-ЕЛЕМЕНТИ

717-ЕЛЕМЕНТИ

718-ЕЛЕМЕНТИ

719-ЕЛЕМЕНТИ

720-ЕЛЕМЕНТИ

721-ЕЛЕМЕНТИ

722-ЕЛЕМЕНТИ

723-ЕЛЕМЕНТИ

724-ЕЛЕМЕНТИ

725-ЕЛЕМЕНТИ

726-ЕЛЕМЕНТИ

727-ЕЛЕМЕНТИ

728-ЕЛЕМЕНТИ

729-ЕЛЕМЕНТИ

730-ЕЛЕМЕНТИ

731-ЕЛЕМЕНТИ

732-ЕЛЕМЕНТИ

733-ЕЛЕМЕНТИ

734-ЕЛЕМЕНТИ

735-ЕЛЕМЕНТИ

736-ЕЛЕМЕНТИ

737-ЕЛЕМЕНТИ

738-ЕЛЕМЕНТИ

739-ЕЛЕМЕНТИ

740-ЕЛЕМЕНТИ

741-ЕЛЕМЕНТИ

742-ЕЛЕМЕНТИ

743-ЕЛЕМЕНТИ

744-ЕЛЕМЕНТИ

745-ЕЛЕМЕНТИ

746-ЕЛЕМЕНТИ

747-ЕЛЕМЕНТИ

748-ЕЛЕМЕНТИ

749-ЕЛЕМЕНТИ

750-ЕЛЕМЕНТИ

751-ЕЛЕМЕНТИ

752-ЕЛЕМЕНТИ

753-ЕЛЕМЕНТИ

754-ЕЛЕМЕНТИ

755-ЕЛЕМЕНТИ

756-ЕЛЕМЕНТИ

757-ЕЛЕМЕНТИ

758-ЕЛЕМЕНТИ

759-ЕЛЕМЕНТИ

760-ЕЛЕМЕНТИ

761-ЕЛЕМЕНТИ

762-ЕЛЕМЕНТИ

763-ЕЛЕМЕНТИ

764-ЕЛЕМЕНТИ

765-ЕЛЕМЕНТИ

766-ЕЛЕМЕНТИ

767-ЕЛЕМЕНТИ

768-ЕЛЕМЕНТИ

769-ЕЛЕМЕНТИ

770-ЕЛЕМЕНТИ

771-ЕЛЕМЕНТИ

772-ЕЛЕМЕНТИ

773-ЕЛЕМЕНТИ

774-ЕЛЕМЕНТИ

775-ЕЛЕМЕНТИ

776-ЕЛЕМЕНТИ

777-ЕЛЕМЕНТИ

778-ЕЛЕМЕНТИ

779-ЕЛЕМЕНТИ

780-ЕЛЕМЕНТИ

781-ЕЛЕМЕНТИ

782-ЕЛЕМЕНТИ

783-ЕЛЕМЕНТИ

784-ЕЛЕМЕНТИ

785-ЕЛЕМЕНТИ

786-ЕЛЕМЕНТИ

787-ЕЛЕМЕНТИ

788-ЕЛЕМЕНТИ

789-ЕЛЕМЕНТИ

790-ЕЛЕМЕНТИ

791-ЕЛЕМЕНТИ

792-ЕЛЕМЕНТИ

793-ЕЛЕМЕНТИ

794-ЕЛЕМЕНТИ

795-ЕЛЕМЕНТИ

796-ЕЛЕМЕНТИ

797-ЕЛЕМЕНТИ

798-ЕЛЕМЕНТИ

799-ЕЛЕМЕНТИ

800-ЕЛЕМЕНТИ

801-ЕЛЕМЕНТИ

802-ЕЛЕМЕНТИ

803-ЕЛЕМЕНТИ

804-ЕЛЕМЕНТИ

805-ЕЛЕМЕНТИ

806-ЕЛЕМЕНТИ

807-ЕЛЕМЕНТИ

808-ЕЛЕМЕНТИ

809-ЕЛЕМЕНТИ

810-ЕЛЕМЕНТИ

811-ЕЛЕМЕНТИ

812-ЕЛЕМЕНТИ

813-ЕЛЕМЕНТИ

814-ЕЛЕМЕНТИ

815-ЕЛЕМЕНТИ

816-ЕЛЕМЕНТИ

817-ЕЛЕМЕНТИ

818-ЕЛЕМЕНТИ

819-ЕЛЕМЕНТИ

820-ЕЛЕМЕНТИ

821-ЕЛЕМЕНТИ

822-ЕЛЕМЕНТИ

823-ЕЛЕМЕНТИ

824-ЕЛЕМЕНТИ

825-ЕЛЕМЕНТИ

826-ЕЛЕМЕНТИ

827-ЕЛЕМЕНТИ

828-ЕЛЕМЕНТИ

829-ЕЛЕМЕНТИ

830-ЕЛЕМЕНТИ

831-ЕЛЕМЕНТИ

832-ЕЛЕМЕНТИ

833-ЕЛЕМЕНТИ

834-ЕЛЕМЕНТИ

835-ЕЛЕМЕНТИ

836-ЕЛЕМЕНТИ

837-ЕЛЕМЕНТИ

838-ЕЛЕМЕНТИ

839-ЕЛЕМЕНТИ

840-ЕЛЕМЕНТИ

841-ЕЛЕМЕНТИ

842-ЕЛЕМЕНТИ

843-ЕЛЕМЕНТИ

844-ЕЛЕМЕНТИ

845-ЕЛЕМЕНТИ

846-ЕЛЕМЕНТИ

847-ЕЛЕМЕНТИ

848-ЕЛЕМЕНТИ

849-ЕЛЕМЕНТИ

850-ЕЛЕМЕНТИ

851-ЕЛЕМЕНТИ

852-ЕЛЕМЕНТИ

853-ЕЛЕМЕНТИ

854-ЕЛЕМЕНТИ

855-ЕЛЕМЕНТИ

856-ЕЛЕМЕНТИ

857-ЕЛЕМЕНТИ

858-ЕЛЕМЕНТИ

859-ЕЛЕМЕНТИ

860-ЕЛЕМЕНТИ

861-ЕЛЕМЕНТИ

862-ЕЛЕМЕНТИ

863-ЕЛЕМЕНТИ

864-ЕЛЕМЕНТИ

865-ЕЛЕМЕНТИ

866-ЕЛЕМЕНТИ

867-ЕЛЕМЕНТИ

868-ЕЛЕМЕНТИ

869-ЕЛЕМЕНТИ

870-ЕЛЕМЕНТИ

871-ЕЛЕМЕНТИ

872-ЕЛЕМЕНТИ

873-ЕЛЕМЕНТИ

874-ЕЛЕМЕНТИ

875-ЕЛЕМЕНТИ

876-ЕЛЕМЕНТИ

877-ЕЛЕМЕНТИ

878-ЕЛЕМЕНТИ

879-ЕЛЕМЕНТИ

880-ЕЛЕМЕНТИ

881-ЕЛЕМЕНТИ

882-ЕЛЕМЕНТИ

883-ЕЛЕМЕНТИ

884-ЕЛЕМЕНТИ

885-ЕЛЕМЕНТИ

886-ЕЛЕМЕНТИ

887-ЕЛЕМЕНТИ

888-ЕЛЕМЕНТИ

889-ЕЛЕМЕНТИ

890-ЕЛЕМЕНТИ

891-ЕЛЕМЕНТИ

892-ЕЛЕМЕНТИ

893-ЕЛЕМЕНТИ

894-ЕЛЕМЕНТИ

895-ЕЛЕМЕНТИ

896-ЕЛЕМЕНТИ

897-ЕЛЕМЕНТИ

898-ЕЛЕМЕНТИ

899-ЕЛЕМЕНТИ

900-ЕЛЕ