

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет

**С.І.Кшнякіна, Б.А. Міщенко, А.С. Опанасюк**

## **КОНЦЕПЦІЇ СУЧАСНОГО ПРИРОДОЗНАВСТВА**

У трьох частинах

### **ЧАСТИНА 2**

Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету

Суми  
«Видавництво СумДУ»  
2010

**УДК 168.521 (075.8)**

**К 97**

Рецензенти:

*С.П. Рошупкін* - доктор фізико-математичних наук, професор Сумського державного університету;

*О.В. Лисенко* - кандидат фізико-математичних наук, доцент Сумського державного університету

*Рекомендовано вченою радою Сумського державного університету  
як навчальний посібник  
(протокол №5 від 18.12.2008 р.)*

**Кшнякіна С.І.**

**К 97** Концепції сучасного природознавства: навчальний посібник:  
у трьох частинах/С.І. Кшнякіна, Б.А.Міщенко, А.С.Опанасюк. -  
Суми: Вид-во СумДУ, 2010.– Ч.2. - 56 с.

Навчальна дисципліна «Концепції сучасного природознавства» внесена Міністерством загальної і професійної освіти Російської Федерації до Державного освітнього стандарту країни як обов'язковий пріоритетний предмет для вивчення студентами гуманітарних спеціальностей. У СумДУ вона викладається як дисципліна за вибором студента. Особливостями курсу є широкий діапазон знань із багатьох наукових напрямків, а також системний характер побудови навчального матеріалу. Мета курсу - ознайомити студентів на рівні загальних уявлень з найбільш важливими концепціями походження природи і людини, допомогти їм оволодіти сучасною науково-природничою картиною світу. У другій частині розглянута хімічна картина світу.

Посібник призначений для допомоги студентам денної форми навчання та викладачам під час роботи над курсом «Концепції сучасного природознавства».

**УДК 168.521 (075.8)**

© Кшнякіна С.І., Міщенко Б.А.,  
Опанасюк А.С., 2010

	<b>ЗМІСТ</b>	<b>С.</b>
<b>ПЕРЕДМОВА.....</b>		4
<b>СТАНОВЛЕННЯ І РОЗВИТОК ХІМІЧНОЇ КАРТИНИ СВІТУ.....</b>		5
Виникнення хімії.....		5
Алхімія.....		6
Арабська алхімія.....		8
Західноєвропейська алхімія.....		10
Період зародження наукової хімії.....		12
Теорія флогістону.....		13
Закон збереження маси Лавуазьє.....		15
Відкриття основних законів хімії.....		17
Таблиця Менделєєва.....		22
Хімія як наука.....		23
<b>СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ ХІМІЇ.....</b>		28
Структура хімії.....		28
Взаємозв'язок хімії з фізикою.....		30
Проблема хімічного елемента.....		33
Концепції структури хімічних сполук.....		36
Вчення про хімічні процеси.....		39
Еволюційна хімія.....		45
Взаємозв'язок хімії з біологією.....		45
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>		53

## ПЕРЕДМОВА

Реформа вищої освіти, що проводиться в нашій країні, має на меті зробити її більш різнобічною і фундаментальною. Сьогодні суспільству не потрібні фахівці, здатні вирішувати лише вузькоутилітарні завдання в межах знань, одержаних під час навчання. Сучасні вимоги до фахівця потребують його здатності до постійного підвищення своєї кваліфікації, прагнення бути в курсі останніх досягнень у своїй сфері знань, уміння творчо адаптувати їх до своєї роботи.

Тому основним завданням сучасної освіти є розвиток творчих здібностей студентів, спрямованість на те, щоб після закінчення навчання випускник міг стати творчою особистістю, здатною до різних форм діяльності. На реалізацію цих цілей і орієнтований курс «Концепції сучасного природознавства».

Актуальність введення у навчальний процес курсу «Концепції сучасного природознавства» обумовлена ще і тим, що останніми роками в країні та й у світі в цілому набувають все більшого поширення різного роду ірраціональні знання, такі, наприклад, як астрологія, магія, містичні та інші вчення. Поступово і досить послідовно вони витісняють із суспільної свідомості науково-природничу картину світу, що базується на раціональних способах його пояснення. Курс «Концепції сучасного природознавства» повинен стати перепорою на шляху цих псевдонаукових вчень.

Досягнення природничих наук є невід'ємною частиною людської культури. Знання основних сучасних теорій і концепцій природознавства формують науковий метод мислення, адекватне відношення людини до навколишнього світу. Будь-яка людина повинна знати, що світ пізнається раціонально, що в ньому діють об'єктивні закони. «Концепції сучасного природознавства» - це курс, покликаний ознайомити студентів на рівні загальних уявлень з найбільш важливими результатами різних наук про навколишній світ і місце людини в ньому.

# СТАНОВЛЕННЯ І РОЗВИТОК ХІМІЧНОЇ КАРТИНИ СВІТУ

## Виникнення хімії

Процес зародження і формування хімії як науки був тривалим у часі, складним і суперечливим за змістом. Витоки хімічних знань лежать у глибокій старовині. В їх основу покладено потребу людини отримувати необхідні речовини для своєї життєдіяльності. Для цього слід було навчитися створювати з одних речовин інші із заданими властивостями, тобто здійснювати їх якісні перетворення.

Походження назви «хімія» не з'ясоване дотепер, хоча з цього питання існує декілька версій. Згідно з однією із них ця назва походить від єгипетського слова «хемі», що означало Єгипет, а також «чорний». Історики науки перекладають цей термін також як «*єгипетське мистецтво*». Таким чином, у цій версії слово «хімія» означає мистецтво створювати необхідні речовини, у тому числі й мистецтво перетворювати звичайні метали у золото і срібло або їх сплави.

Проте у наш час популярніше інше пояснення. Група вчених вважають, що слово «хімія» походить від грецького терміна «хімос», який можна перекласти як «сік рослин». Тому «хімія» означає «мистецтво отримання соків», але сік, про який йде мова, може бути і розплавленим металом. ***Отже, хімія може означати і «мистецтво металургії».***

Історія хімії показує, що її розвиток відбувався нерівномірно: періоди накопичення і систематизації даних емпіричних дослідів і спостережень змінювалися періодами відкриттів і бурхливого обговорення фундаментальних законів і теорій. Послідовне чергування таких періодів дозволяє розділити історію хімічної науки на декілька етапів:

1 ***Період алхімії*** - із старовини до XVI ст. нашої ери. Він характеризується пошуками філософського каменя (реактиву, необхідного для перетворення будь-яких металів у золото),

еліксиру довголіття та алькагесту (універсального розчинника). Крім того, в алхімічний період майже в усіх культурах практикувалося «перетворення» неблагородних металів у золото або срібло, але всі ці «перетворення» у кожного народу здійснювалися різними способами.

**2 *Період зародження наукової хімії***, який мав місце протягом XVI - XVIII століть. На цьому етапі були створені теорія Парацельса, теорія газів Бойля, Кавендіша та ін., теорія флогістону Г. Шталаля і, нарешті, теорія хімічних елементів Лавуазьє. Протягом цього періоду удосконалювалася прикладна хімія, пов'язана з розвитком металургії, виробництва скла і фарфору, мистецтво перегонки рідин тощо. До кінця XVIII століття відбулося становлення хімії як науки, незалежної від інших природничих наук.

**3 *Період відкриття основних законів хімії*** охоплює перші шістдесят років XIX століття і характеризується виникненням і розвитком атомної теорії Дальтона, атомно-молекулярної теорії Авогадро, встановленням Берцеліусом атомної ваги елементів і формуванням основних понять хімії: атом, молекула та ін.

**4 *Сучасний період*** триває з 60-х років XIX століття до наших днів. Це найбільш плідний період розвитку хімії, в цей час були розроблені періодична класифікація елементів, теорія валентності, теорія ароматичних сполук і стереохімія, теорія електролітичної дисоціації Ареніуса, електронна теорія матерії тощо.

Разом з тим у цей період значно розширився діапазон хімічних досліджень. Такі складові частини хімії, як неорганічна хімія, органічна хімія, фізична хімія, фармацевтична хімія, хімія харчових продуктів, агрохімія, геохімія, біохімія та ін., набули статусу самостійних наук і отримали власну теоретичну базу.

На жаль, рамки посібника не дають можливості детально описати навіть основні хімічні теорії, тому зупинимо увагу лише на найцікавіших і найзначніших етапах в історії цієї науки.

## Алхімія

Традиційно алхімія вважалася псевдонаукою, або езотеричними знаннями, повними містики і таємниць. **Метою її були пошуки філософського каменя, створення еліксиру довголіття і відкриття способів перетворення металів у золото і срібло.** При такому розумінні алхімії вивчення її в курсі історії науки уявляється дуже сумнівним. Але така оцінка алхімії є односторонньою.

Справа у тому, що протягом своєї багатовікової історії алхіміки у процесі досліджень, що проводилися ними, вирішували багато практично важливих завдань. Протягом алхімічного періоду були одержані відомості про багато невідомих раніше процесів, і відкриті різні методи виробництва продуктів, що мали великий попит. Алхіміки хоч і не змогли знайти філософський камінь, зробили стільки відкриттів, спостерігали стільки реакцій, що це сприяло становленню нової науки. Саме алхіміки у пошуках філософського каменя заклали фундамент для створення хімії.

Найвищого розвитку алхімія досягла у трьох основних своїх типах: **греко-єгипетському, арабському і західноєвропейському.** Виділення цих типів у структурі алхімічних досліджень обумовлене перш за все особливим розумінням мети і предмета у кожному з них.

Батьківщиною алхімії був Єгипет. Там ще в давнину були відомі способи виробництва металів, отримання сплавів для монет і дорогоцінних виробів, які трималися у секреті і були надбанням дуже обмеженого кола жерців. Постійний попит на благородні метали був викликаний зростанням населення, розширенням торгового обміну, зниженням продуктивності старих золотоносних родовищ. Він підштовхнув представників практичної металургії до реалізації ідеї, що передбачала можливість перетворення одного металу в інший і, зокрема, перетворення свинцю або заліза у золото (трансмутація). Вважалося, що у цих практиків накопичилося достатньо спостережень, що підтверджували перетворення неблагородних металів у благородні.

Свою роль у становленні алхімії зіграла філософська теорія Емпідокла про чотири елементи Землі (вода, повітря, земля, вогонь). Згідно з цією теорією різні речовини на Землі розрізняються тільки за

характером поєднання цих елементів. Ці чотири елементи можуть змішуватися і в однорідні речовини.

Цілком природно, що алхімічний характер металургії досить швидко пов'язав її з астрологією і магією. Число сім у давнину було священними, було відомо сім металів і відкритих планет було також сім. Цей збіг став основою для припущення, що кожен метал має астрологічний зв'язок з відповідною планетою. Так, золото пов'язувалося з Сонцем, срібло - з Місяцем, мідь - із Венерою, залізо - з Марсом, свинець - із Сатурном, олово - з Юпітером, ртуть - із Меркурієм. Відповідно виникло і позначення металів символами і найменуваннями, що відповідають небесним світилам.

***Найважливішою проблемою алхімії вважався пошук філософського каменя.*** Але в марній гонитві за ним алхіміків поглиблювалися і розширювалися знання про хімічні процеси. У цей час греко-єгипетські алхіміки поліпшили процес очищення золота шляхом купеляції (нагріваючи багату на золото руду зі свинцем і селітрою). Було також значно поширене виділення срібла шляхом сплавлення руди зі свинцем. Одержала розвиток і металургія звичайних металів. Для отримання золота і срібла широко застосовувалася ртуть, був відомий і сам процес отримання ртуті.

Підсумки початкового періоду алхімії були узагальнені в «Смарагдовій скрижалі», що приписується Гермесу Трисмегісту. Вона була складена приблизно у III ст. і стала класичним алхімічним твором.

У період правління імператора Діоклетіана у Стародавньому Римі алхімія стала переслідуватися, оскільки Діоклетіан боявся, що отримання дешевого золота остаточно підірве хитку економіку імперії. Як результат, він наказав знищити всі праці з алхімії.

Свою роль у забороні алхімії зіграло і християнство. У перші століття нашого літочислення воно виступило проти алхімічної практики, розглядаючи її тоді як справу диявола.

## **Арабська алхімія**



У VII сторіччі на світовій арені з'явилися араби. У 641 р. н.е. вони вторглися до Єгипту і незабаром зайняли всю країну. Наслідуючи стародавніх єгипетських фараонів, арабські халіфи стали протектувати наукам. До кінця VIII століття в арабському світі з'явилися хіміки. Араби перетворили єгипетське слово «хемі» в «аль-хімія». Європейці пізніше запозичили це слово в арабів і в результаті в європейських мовах з'явилися терміни «алхімія» і «алхімік».

Найталановитішим і прославленим арабським алхіміком був *Джабір ібн Хайям*, що став пізніше відомим в Європі під ім'ям Гебер. Після себе він залишив численні праці, в яких описав нашатирний спирт, технологію виготовлення свинцевих білил, спосіб перегонки оцту для отримання оцтової кислоти.

Проте основним предметом його досліджень стало вивчення можливості трансмутації металів, і ці його дослідження сильно вплинули на подальші покоління арабських алхіміків. Джабір вважав, що ртуть є найбільш чистою з усіх металів, оскільки завдяки своїй рідкій формі містить дуже мало домішок. Такими самі незвичайні властивості має і сірка: вона здатна самотійно загорітися. При цьому він вважав, що найбільш чистим металом є той, який містить більше ртуті, а менш чистим - той, який містить більше сірки. Серед арабських алхіміків взагалі існувало глибоке переконання, що найбільш міцні, блискучіші і ковкі метали містять більше ртуті, а метали, що легше піддаються зміні, містять більше сірки.

Основоположна ідея теорії Джабіра полягала у тому, що *всі сім основних металів утворюються з суміші ртуті і сірки*. Найважче утворюється золото - найбільш довершений метал. Щоб здійснити перетворення одного металу в інший, необхідно було згідно з цією теорією мати якісь «ліки», які спричиняють перетворення неблагородних металів у благородні, прискорюють «дозрівання» золота.

У старовинних рукописах говорилося, що ця речовина є сухим порошком, каменем, великим еліксиром, «магістерієм». Греки називали його ксеріон, а араби змінили цю назву на аль-іксир, і врешті-решт в європейських мовах з'явилося слово еліксир.

В Європі ця дивовижна речовина одержала назву філософського каменя. Еліксир повинен був мати багато чудових властивостей: виликовувати від усіх хвороб, давати безсмертя, а найголовніше перетворювати неблагородні метали на срібло і золото.

Весь подальший розвиток арабської алхімії відбувався двома паралельними шляхами: одні займалися трансмутацією золота, інші шукали еліксир життя, що давав безсмертя.

### **Західноєвропейська алхімія**

Виникнення алхімії на Заході стало можливим перш за все завдяки хрестовим походам. Тоді європейці запозичили в арабів багато науково-практичних знань і серед них алхімію, яка набула швидкого поширення і сприяла розширенню знань про препарати, необхідні у медицині.

Європейська алхімія перебувала у цей період під впливом астрології і тому набула характеру таємної науки. Політичні умови, що склалися у середньовічній Європі, і гостре суперництво численних королівських дворів сприяли розвитку алхімії. У період з XI до XV століття, тобто протягом п'яти століть, західна алхімія дала багато великих мислителів, що залишили глибокий слід у розвитку хімії.

Починаючи з 1200 року, європейські вчені змогли ближче ознайомитися зі спадщиною алхіміків минулого і почали розвивати їхні дослідження. Ім'я найвидатнішого з середньовічних алхіміків залишилося невідомим, але, ймовірно, він був іспанцем і жив у XIV столітті. Його заслуга перед хімією полягала у тому, що він перший описав сірчану кислоту - одну з найважливіших сполук сучасної хімії (після води, повітря, вугілля і нафти). Він також описав, як утворюється азотна кислота. Її відкриття також пов'язане зі спробами одержати золото. Була відмічена важлива властивість «царської горілки» (яка одержувалася при взаємодії азотної кислоти з розчином нашатирю) впливати на золото, що вважалося таким, що не піддається зміні.

***Відкриття сильних мінеральних кислот було найважливішим досягненням хімії після успішного отримання***

*заліза і ртуті* приблизно за 3000 років до того. Використовуючи сильні мінеральні кислоти, європейські хіміки змогли здійснити багато нових реакцій і, зокрема, зуміли розчинити такі речовини, які стародавні греки і араби вважали нерозчинними.

Мінеральні кислоти дали людству значно більше, ніж могло б дати золото, якби його навчилися одержувати за допомогою трансмутації. Якщо б золото перестало бути рідкісним металом, воно миттєво знецінилося. Цінність же мінеральних кислот тим вища, чим вони дешевші і доступніші.

У XIV столітті західні алхіміки, розчарувавшись у спробах одержати філософський камінь, повернулися до теорії, яка розглядала ртуть і сірку як основні складові частини металів, але при цьому *вони ввели третю складову частину - «сіль»*. Під сіллю тут малася на увазі соляна основа металів, яка повинна була доповнити дві інші складові частини і надати ртуті властивостей тверднути і протистояти вогню. Таким чином, були вивчені солі, число яких значно зросло. Їх розрізняли за походженням: хлористий натрій називали морською сіллю, селітру – кам'яною сіллю тощо.

*Західні алхіміки не внесли значного вдосконалення у металургію, вони лише адаптували те, що було відоме арабським алхімікам*, до умов європейських країн і, головним чином, до переробки руд металів.

З досягнень європейських алхіміків на особливу згадку заслуговує *вивчення продуктів бродіння* (вино, оцет), оскільки саме в західній алхімії бере початок виготовлення чистого спирту шляхом перегонки міцних вин і горілки. Перегінні апарати застосовувалися в Італії з XI століття і швидко знайшли поширення в інших європейських країнах. Заслугою західних алхіміків є також значне розширення знань в області практичної і прикладної хімії. У цей період були створені апарати, що застосовувалися при різних операціях, пов'язаних з нагріванням на прямому вогні, на піщаній бані, на водяній бані, при перегонці, випаровуванні, фільтруванні, кристалізації, настоюванні і сублимації.

Таким чином, були підготовлені відповідні умови для досліджень хімічних сполук, їх застосування в медицині і практичній науці. Пошук золота став справою багатьох шахраїв, хоча деякі великі вчені навіть в освіченому XVII столітті (Бойль, Ньютон) не змогли встояти від спокуси спробувати одержати золото за допомогою трансмутації. І знову вивчення алхімії було заборонено. Заборона переслідувала дві мети: не можна було допустити знецінення золота і необхідно було боротися проти шахрайства.

### Період зародження наукової хімії

Цей період охоплює три століття, впродовж яких робляться спроби надати хімії єдиного теоретичного змісту, як це впливає з праць Парацельса, Штала, Лавуазьє.

Кожна наука є продуктом свого часу. Для того щоб вони могли з'явитися, необхідні відповідні умови й обставини. Для становлення хімії як науки такими умовами стало оновлення європейської культури, потреба у нових видах промислового виробництва, відкриття Америки і розширення торгових відносин, а також багато інших чинників прогресу. Ці зміни повернули наукові дослідження на нові шляхи. Хімія також відчула на собі вплив нових умов життя і, відокремившись від старої алхімії, набула досить великої свободи досліджень. У результаті цієї свободи хімія зробила перші кроки як самостійна наука, сформувала сучасний погляд на мету і завдання хімічних досліджень, затвердилася як єдина і незалежна наука.

У XVI столітті в європейських країнах алхімія втратила те своє значення, яке вона мала у попередні століття. На зміну алхімії прийшло абсолютно нове розуміння завдань хімії. Її призначення полягало **не в отриманні золота, а в приготуванні ліків**. Цей напрям у хімічній науці одержав назву **ятрохімії**.

Засновником ятрохімії став швейцарець **Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм**, який увійшов в історію науки під ім'ям **Парацельс**, тобто такий, що «перевершує Цельса» (Цельс

був давньоримським ученим, що писав праці з медицини). Ятрохімія відображала прагнення поєднати медицину з хімією, переоцінюючи при цьому роль хімічних процесів в організмі і приписуючи певним хімічним сполукам здатність усувати в організмі порушення рівноваги. Парацельс свято вірив, що якщо людське тіло складається з хімічних речовин, то зміни, що відбуваються в ньому, повинні спричиняти хвороби, які можуть бути виліковані лише шляхом застосування ліків, що поновлюють нормальну хімічну рівновагу. До Парацельса як ліки використовувалися переважно рослинні препарати, але він вважав ефективними тільки лікарські засоби, виготовлені з мінералів, і тому прагнув створювати ліки саме такого типу.

У своїх хімічних дослідженнях Парацельс запозичив з алхімічної традиції вчення про три основні складові частини матерії - ртуть, сірку і сіль, яким відповідають основні властивості матерії: леткість, горючість і твердість. Ці три елементи становлять основу макрокосму (всесвіту), але належать і до мікркосму (людини), що складається з духу, душі і тіла. Визначаючи причини хвороб, Парацельс стверджував, що лихоманка і чума походять від надлишку в організмі сірки, при надлишку ртуті настають паралічі, а надлишок солі може спричинити розлад шлунка і виникнення водянки. Так само причиною багатьох інших хвороб він вважав надлишок або брак цих трьох основних елементів.

***Ятрохімія принесла значну користь хімії, оскільки сприяла звільненню її від впливу алхімії й істотно розширила знання про життєво важливі сполуки, здійснивши тим самим благотворний вплив і на фармацію.*** Але одночасно ятрохімія була і перешкодою для розвитку хімії, тому що звужувала поле її досліджень. З цієї причини у XVII і XVIII ст. цілий ряд дослідників відмовилися від принципів ятрохімії і вибрали інший шлях своїх досліджень, упроваджуючи хімію у життя і ставлячи її на службу людині.

Саме ці дослідники своїми відкриттями сприяли створенню перших наукових хімічних теорій.

## Теорія флогістону

У сімнадцятому сторіччі почався бурхливий розвиток механіки, який виявився плідним і для хімії.

Розвиток механіки привів до створення парової машини і поклав початок промислової революції. Людина одержала машину, яка, здавалося, може робити всю важку роботу. Але використання вогню у паровій машині відродило у хіміків інтерес до процесу горіння. Чому одні предмети горять, а інші не горять? Що є процесом горіння?

Задовго до XVIII сторіччя грецькі і західні алхіміки намагалися відповісти на ці питання. За уявленнями стародавніх греків все, що здатне горіти, містить у собі елемент вогню, який у відповідних умовах може вивільнитися. Алхіміки дотримувалися приблизно тієї самої точки зору, але вважали, що здатні до горіння речовини містять у собі елемент «сульфур». У 1669 році німецький хімік Іоганн Бехер спробував дати раціональне пояснення явищу горючості. Він припустив, що тверді речовини складаються з трьох видів «землі», і один з цих видів, названий ним «жирна земля», служить горючою речовиною. Всі ці пояснення не відповідали на питання про суть процесу горіння, але вони стали вихідною точкою для створення єдиної теорії, відомої під назвою *теорії флогістону*.

Основоположником теорії флогістону вважається німецький лікар і хімік Георг Шталь, який намагався послідовно розвинути ідеї Бехера про «жирну землю», але на відміну від *Бехера Шталь* замість поняття «жирна земля» ввів поняття «*флогістон*» - від грецького «*флогістос*» - *горючий, займистий*. Термін «флогістон» набув великого поширення завдяки працям самого Штала і тому, що його теорія об'єднала численні відомості про горіння і випалення.

*Теорія флогістону ґрунтується на переконанні, що всі горючі речовини багаті на особливу горючу речовину – флогістон, і чим більше цієї речовини містить дане тіло, тим більше воно здатне до горіння.* Те, що залишається після завершення процесу горіння, флогістону не містить і тому горіти не може. Шталь стверджував, що розплавлення металів подібне до горіння дерева. Метали, на його думку, теж містять флогістон, але, втрачаючи його, перетворюються на вапно, іржу або окалину. Проте якщо до цих залишків знову

додати флогістон, то знов можна одержати метали. При нагріванні цих речовин з вугіллям метал «відроджується».

Таке розуміння процесу плавлення дозволило дати прийнятне пояснення і процесу перетворення руд у метали - першому теоретичному відкриттю у галузі хімії.

Пояснення Штала полягало у такому. Руда, вміст флогістону в якій невеликий, нагрівається на деревному вугіллі, дуже багатому на флогістон. Флогістон при цьому переходить з деревного вугілля у руду, внаслідок чого деревне вугілля перетворюється на золу, збіднену флогістоном, а руда перетворюється на метал, багатий на флогістон.

Теорія флогістону Штала на перших порах стикнулася з різкою критикою, але потім швидко почала завойовувати популярність і в другій половині XVII ст. була прийнята хіміками повсюдно, оскільки дозволила дати чіткі відповіді на багато питань. Проте одне питання ні Шталь, ні його послідовники вирішити не змогли. Справа у тому, що більшість горючих речовин (дерево, папір, жир) при горінні частково зникали. Зола і сажа, що залишилися, були набагато легші, ніж початкова речовина. Але хімікам XVIII ст. ця проблема не здавалася важливою, вони ще не усвідомлювали важливість точних вимірювань і зміною у вазі нехтували. Теорія флогістону пояснювала причини зміни зовнішнього вигляду і властивостей речовин, а зміни ваги були неважливі.

### **Закон збереження маси Лавуазьє**

До кінця XVIII ст. у хімії був накопичений великий обсяг експериментальних даних, які необхідно було систематизувати в рамках єдиної теорії. Творцем такої теорії став французький хімік *Антуан-Лоран Лавуазьє*.

Із самого початку своєї діяльності на терені хімії Лавуазьє зрозумів важливість точного вимірювання ваги речовин, що беруть участь у хімічних процесах. Застосування точних вимірювань при вивченні хімічних реакцій дозволило йому довести неспроможність старих теорій, що заважали розвитку хімії.

Питання про природу процесу горіння цікавило всіх хіміків XVIII ст., і Лавуазьє також не міг не зацікавитися ним. Його численні досліди з нагрівання різних речовин у закритих посудинах дозволили встановити, що незалежно від характеру хімічних процесів і їх продуктів загальна вага всіх речовин, які беруть участь у реакції, залишається без змін.

Це дозволило йому висунути нову теорію утворення металів із руд. Згідно з цією теорією в руді метал сполучений з газом. Коли руду нагрівають на деревному вугіллі, вугілля абсорбує газ з руди, і при цьому утворюються вуглекислий газ і метал.

Таким чином, на відміну від Штала, який вважав, що плавлення металу передбачає перехід флогістону з деревного вугілля у руду, Лавуазьє уявляв собі цей процес як перехід газу з руди у вугілля. Ідея Лавуазьє дозволяла пояснити причини зміни ваги речовин у результаті горіння.

Обдумуючи результати проведених ним дослідів, Лавуазьє визначив, що якщо враховувати всі речовини, що беруть участь у хімічній реакції, і всі продукти реакції, то змін у вазі ніколи не буде. Іншими словами, *Лавуазьє дійшов висновку, що маса ніколи не створюється і не знищується, а лише переходить від однієї речовини до іншої.* Цей висновок, відомий сьогодні як закон збереження маси, став основою для розвитку хімії XIX століття.

Проте сам Лавуазьє був незадоволений отриманими результатами, оскільки не розумів, чому при поєднанні повітря з металом утворювалася окалина, а при поєднанні з деревом - гази, і чому при цих взаємодіях бере участь не все повітря, а тільки приблизно п'ята його частина?

У результаті численних дослідів і експериментів Лавуазьє дійшов висновку, що повітря є не простою речовиною, а сумішшю двох газів. Одну п'яту частину повітря, на думку Лавуазьє, становить «дефлогізоване повітря», яке з'єднується з предметами, що горять й іржавіють, переходить з руд у деревне вугілля і, крім цього, необхідне для життя. Лавуазьє назвав цей газ *киснем*, тобто таким, що породжує кислоти, оскільки помилково вважав, що кисень - компонент усіх кислот.



Інший газ, що становить чотири п'ятих повітря («флогістоване повітря»), був визнаний абсолютно самостійною речовиною. Цей газ не підтримував горіння, і його Лавуазьє назвав *азотом - нежиттєвим*.

Важливу роль у дослідженнях Лавуазьє зіграли *результати дослідів англійського фізика Кавендіша, який довів, що гази, що утворюються при горінні, конденсуються у рідину, яка, як показали досліди, є водою*. Важливість цього відкриття була величезною, оскільки з'ясувалося, що вода - не проста речовина, а продукт поєднання двох газів. Лавуазьє назвав газ, що виділяється при горінні, воднем («утворюючим воду») і визначив, що водень горить, з'єднуючись з киснем, і, отже, вода є поєднанням водню і кисню.

*Нові теорії Лавуазьє привели до повної раціоналізації хімії*. Було остаточно покінчено зі всіма таємничими елементами, що використовувалися для пояснення перетворення одних речовин на інші. З цього часу хіміки стали цікавитися тільки тими речовинами, які можна було зважити або виміряти будь-яким способом.

### **Відкриття основних законів хімії**

Проблема хімічного складу речовин була головною у розвитку хімії аж до 30 – 40-х рр. XIX століття. У цей час мануфактурне виробництво змінилося на машинне, а для останнього була необхідна широка сировинна база. У промисловому виробництві переважало перероблення величезних мас речовини рослинного і тваринного походження. У виробництві почали використовувати речовини з різними (часто протилежними) якостями, що складаються лише з декількох хімічних елементів органічного походження: вуглець, водень, кисень, сірка, фосфор. Пояснення цієї широкої різноманітності органічних сполук, що виникли на базі обмеженого числа хімічних елементів, учені стали шукати не тільки у складі, але й у структурі сполучення цих елементів.

Численні лабораторні експерименти і досліди переконливо доводили, що властивості одержаних у результаті хімічних реакцій

речовин залежать не лише від самих елементів, але і від взаємозв'язку і взаємодії цих елементів у процесі реакції. Тому хіміки стали все більше звертатися до проблеми структури речовини і взаємодії складових елементів речовини.

Першим ученим, який домогся значних успіхів у новому напрямі розвитку хімії, став англійський хімік *Джон Дальтон*, який увійшов в історію хімії як *першовідкривач закону кратних відношень і творець основ атомної теорії*. Усі свої теоретичні висновки він одержав на основі зробленого ним самим відкриття, що два елементи можуть поєднуватися один з одним у різних співвідношеннях, але при цьому кожна нова комбінація елементів є новою сполукою.

Подібно до стародавніх атомістів Дальтон виходив з положення про корпускулярну будову матерії, але, ґрунтуючись на сформульованому Лавуазьє понятті хімічного елемента, вважав, що всі атоми кожного окремого елемента однакові і характеризуються тим, що мають певну вагу, яку він назвав атомною вагою. Таким чином, *кожен елемент має свою атомну вагу, але ця вага відносна, оскільки абсолютну вагу атомів визначити неможливо*. Як умовну одиницю атомної ваги елементів Дальтон брав атомну вагу найлегшого зі всіх елементів - водню і зіставляв з ним вагу інших елементів. Для експериментального підтвердження цієї ідеї необхідно, щоб елемент поєднувався з воднем, утворюючи певну сполуку. Якщо цього не відбувається, то необхідно, щоб даний елемент поєднувався з іншим елементом, про який відомо, що він здатний поєднуватися з воднем. Знаючи вагу цього іншого елемента відносно водню, можна завжди знайти відношення ваги даного елемента до прийнятої за одиницю ваги водню.

Міркуючи таким чином, *Дальтон склав першу таблицю атомної ваги елементів*. Ця таблиця стала найважливішою працею Дальтона, хоча у ряді аспектів вона виявилася помилковою. Основна помилка Дальтона полягала у переконанні, що при утворенні молекули атоми одного елемента поєднуються з атомами іншого елемента попарно. Хоча вже у той час було

накопичено достатньо даних, які свідчили, що подібне приєднання атомів не є загальним правилом.

Для того щоб атомна теорія Дальтона могла одержати свій науковий статус у хімії, необхідно було об'єднати її з молекулярною теорією, яка припускала існування частинок (молекул), утворених з двох або більше атомів, здатних у хімічних реакціях розщеплюватися на ці складові.

Поворотний етап у розвитку хімічної атомістики пов'язаний з ім'ям шведського хіміка *Іенса Якоба Берцеліуса*, який услід за Дальтоном зробив особливо великий внесок у створення атомної теорії.

Коли Дальтон запропонував свою атомну теорію і встановив закон кратних відношень, молодий шведський хімік Берцеліус, керований прагненням знайти закон утворення хімічних сполук, ретельно вивчив питання про їх склад. Провівши не одну сотню аналізів, він надав велику кількість доказів, що підтверджували закон сталості складу. У результаті хіміки були вимушені визнати справедливність цього закону, а отже, і прийняти атомістичну теорію, яка безпосередньо випливала із закону сталості складу.

Після цього Берцеліус звернувся до проблеми визначення атомної ваги елементів, розробивши складніші і точніші методи експериментів, ніж ті, які були доступні Дальтону. У результаті тривалої і ретельної аналітичної роботи Берцеліус дійшов висновку, що у солях існують прості і постійні зв'язки між атомами кисню основи і атомами кисню кислоти. Цього правила він постійно дотримувався при вивченні атомної проблеми.

На підставі своїх досліджень і розрахунків у 1826 р. *Берцеліус опублікував першу таблицю атомної ваги, яка відрізнялася високою точністю*. У цій таблиці атомна вага елементів була співвіднесена ним з киснем, атомна вага якого була взята такою, що дорівнює стам. Наведені у цій таблиці значення в основному збігаються (за винятком атомної ваги двох-трьох елементів) з прийнятими у наш час. Істотна відмінність між таблицями Берцеліуса і Дальтона полягає у тому, що величини, одержані

Берцеліусом, у своїй більшості не були цілими числами. Ці розрахунки потім були підтвержені й уточнені іншими вченими.

З працями Берцеліуса з атомістики тісно пов'язане ***введення символів, запропонованих ним у 1814 р. для позначення не тільки елементів, але й хімічних реакцій.*** Усі хімічні символи, формули сполук і хімічні рівняння були введені Берцеліусом. Його система хімічної символіки істотно посприяла розвитку хімії. Як символ елемента у цій системі береться перша літера його латинської або грецької назви. У тих випадках, коли назви двох або більше елементів починаються з одних і тих самих літер, до них додається друга літера назви. Так з'явилися хімічні символи елементів, які використовуються у всьому світі і до цього часу. ***Ще одним важливим внеском Берцеліуса у розвиток хімії був запропонований ним поділ усіх хімічних речовин на органічні і неорганічні.***

Від часу винайдення вогню людина стала ділити всі речовини на дві групи: горючі і негорючі. До горючих відносили, зокрема, дерево і жир, які в основному були паливом. Дерево - продукт рослинного походження, а жир або масло - продукти як тваринного, так і рослинного походження. На відміну від них вода, пісок, гірські породи і більшість інших речовин мінерального походження не горять і навіть гасять вогонь. Таким чином, між здатністю речовини до горіння і її приналежністю до живого або неживого світу було видно певний зв'язок.

Накопичені протягом вісімнадцятого століття знання дозволили хімікам зробити висновок, що судити про природу речовин, виходячи тільки з їх горючості або негорючості, помилково. Було встановлено, що речовини неживої природи могли витримувати жорстку обробку, і саме їх Берцеліус назвав неорганічними. Речовини живої або колись живої матерії такої обробки не витримували, і їх він назвав органічними.

У багатьох своїх проявах ці дві групи речовин поведилися принципово різним чином. Так, хіміки не припиняли дивуватися, що органічні речовини при нагріванні або якій-небудь іншій дії легко перетворюються на неорганічні (можливість зворотного переходу була встановлена набагато пізніше). У той час у науці панував

віталізм - учення, що розглядає життя як особливе явище, що підкоряється не законам всесвіту, а впливу особливих життєвих сил. Прихильники віталізму стверджували, що для перетворення неорганічних речовин в органічні необхідна якась особлива дія («життєва сила»), яка виявляється тільки всередині живої тканини. З цієї причини неорганічні сполуки, наприклад воду, можна було знайти скрізь, тоді як органічні сполуки, що утворюються під впливом життєвої сили, можна знайти тільки у живих тканинах.

Хіміки того часу, що мали справу зі звичайними сполуками і користувалися звичайними методами, здійснити перетворення, що вимагали участі життєвих сил, природно, не могли.

Історія хімії свідчить, що до середини XIX ст. її розвиток відбувався безладно і хаотично. Хіміки відкривали все нові і нові хімічні елементи, описували їх властивості, здатність вступати у різні реакції і завдяки цьому поступово накопичили величезний емпіричний матеріал, який необхідно було звести до певної системи. Логічним завершенням цього багатовікового процесу виникнення і розвитку хімії став *Перший міжнародний хімічний конгрес, який відбувся у вересні 1860 р. у німецькому місті Карлсруе*. На конгресі були присутні найвідоміші хіміки того часу.

Проведення конгресу в Карлсруе мало велике значення для розвитку хімії. *На ньому були сформульовані і прийняті основоположні принципи, теорії і закони хімії, які не викликали ніяких сумнівів в учасників. Тим самим хімія заявила про себе де-факто як про самостійну науку.*

Проте набагато більше значення мали наукові результати і наслідки конгресу. До 60-х років минулого століття у хімії ще збереглася плутанина з атомною і молекулярною вагою, що не дозволяло точно вирішити питання про систему елементів і негативно позначалося на розвитку самої хімії. Розбіжності з приводу відносної атомної ваги, що приписувалася атомам різних елементів, привела до розбіжностей стосовно числа атомів окремих елементів, що входять у дану молекулу. Вчені неодноразово робили спроби надати цим проблемам системного вигляду, але їх пропозиції були дуже недосконалими, тому що як системоутворюючі чинники бралися найчастіше неістотні, другорядні і навіть чисто зовнішні ознаки елементів.

Ініціатором обговорення і вирішення даної проблеми став італійський хімік **Станіслао Канніццаро**, який запропонував розмежувати поняття «*атомна вага*», «*молекулярна вага*» і «*еквівалентна вага*». На конгресі Канніццаро виголосив яскраву промову і йому вдалося переконати учасників у правильності пропонованих ним ідей. З цієї миті **у питання про атомну вагу була внесена ясність**, одночасно було гідно оцінене значення таблиці атомної ваги, складеної Берцеліусом.

**Це рішення означало можливість домовитися про емпіричні формули сполук і продовжити вивчення будови молекул, уточнюючи розташування атомів у них спочатку у площині, а потім і у просторі.** Крім того, рішення конгресу, по суті справи, підготували умови для створення періодичної системи елементів.

### Таблиця Менделєєва

Основоположником системного підходу у хімії став російський хімік **Дмитро Іванович Менделєєв**. Під час роботи конгресу він перебував у Німеччині і працював над дисертацією. Він, природно, був учасником конгресу і чув виступ Канніццаро, в якому той чітко виклав свою точку зору на проблему атомної ваги. Повернувшись до Росії, Менделєєв розпочав вивчення хімічних властивостей елементів і звернув особливу увагу на періодичність зміни валентності елементів, розміщених у порядку зростання атомної ваги. Він вважав, що будь-яке точне знання складає систему, в основі якої повинен бути єдиний систематизуючий чинник. За такий чинник він вибрав атомну вагу, вважаючи, що остання є головною характеристикою всіх хімічних елементів.

Грунтуючись на збільшенні і зменшенні валентності елементів, залежно від їх атомної ваги, **Менделєєв розділив елементи на періоди** (звідси назва «періодична система елементів»). Перший період включає тільки один елемент - водень, потім ідуть два періоди по сім елементів у кожному, а потім періоди, що містять більше семи елементів. Така періодична система елементів була

яснішою і наочнішою, ніж графік. Завдяки формі таблиці світова спільнота вчених віддала пріоритет відкриття періодичної системи саме Менделєєву, а не іншим ученим, які на той час також систематизували елементи, але в інших формах. За часів Менделєєва було відомо лише 62 хімічних елементи. Тому в таблиці залишилися порожні клітинки (пропуски). Наявність цих пропусків він пояснив не недосконалістю самої таблиці, а тим, що відповідні елементи поки що не відкриті. Згодом ці елементи були відкриті хіміками і їх властивості виявилися саме такими, як передбачив Менделєєв.

Хоча класифікація Менделєєва стала видатним науковим досягненням, яка набула значного поширення і стала достовірно науковою системою хімічних знань, вона не була ідеальною і довершеною. Перший недолік таблиці полягав у тому, що водень як одновалентний елемент був розміщений на початку I групи. Проте хіміки тоді ще не дійшли до єдиної думки щодо того, чи слід поміщати водень у цю групу, оскільки водень не схожий у хімічному відношенні на інші елементи цієї групи. Цей і ряд інших недоліків таблиці дозволив у подальшому декільком ученим внести в неї удосконалення, останнє з яких було зроблене після відкриття явища радіоактивності.

У міру вдосконалення періодична система елементів завойовувала у хіміків загальний авторитет, оскільки пояснювала багато фактів, а найголовніше вказувала на існування глибокої залежності між різними елементами, виводила властивості хімічних елементів з їх порядкового номера у таблиці Менделєєва.

## Хімія як наука

Хімія на відміну від багатьох інших наук (наприклад, біології) **сама створює свій предмет дослідження**. Як ніяка інша наука **вона є одночасно і наукою, і виробництвом**. Хімія завжди була потрібна людству в основному для того, щоб одержувати з речовин природи всі матеріали, необхідні людині: метали і кераміку, вапно і цемент, скло і бетон, барвники і фармацевтичні

препарати, вибухові речовини і паливно-мастильні матеріали, каучук і пластмаси, хімічні волокна і матеріали із заданими електрофізичними властивостями. Тому всі хімічні знання, набуті за багато сторіч і подані у вигляді теорій, законів, методів, технологій, об'єднує одне-єдине довгострокове, головне завдання хімії - **отримання речовин з необхідними властивостями**. Але це виробниче завдання і щоб його реалізувати, необхідно вміти з одних речовин виготовляти інші, тобто здійснювати якісні перетворення речовини. А оскільки якість - це сукупність властивостей речовини, необхідно знати, від чого залежать хімічні властивості. Інакше кажучи, щоб вирішити назване виробниче завдання, хімія повинна вирішити теоретичне завдання генезису (походження) властивостей речовини.

Таким чином, **основою хімії є двоєдина проблема отримання речовин із заданими властивостями (на досягнення чого спрямована виробнича діяльність людини) і виявлення способів керування властивостями речовини (на реалізацію чого спрямована науково-дослідна діяльність)**.

Це і є основна проблема хімії. Вона ж є системоутворюючим началом даної науки. Ця проблема, що виникла у давнину, не втрачає свого значення і в наші дні.

Природно, що у **різні історичні епохи вона розв'язувалася по-різному**, оскільки способи її вирішення залежать від рівня матеріальної і духовної культури суспільства, а також від внутрішніх закономірностей, властивих ходу наукового пізнання. Досить сказати, що виготовлення таких матеріалів, як, наприклад, скло і кераміка, фарби й ароматичні речовини, в давнину здійснювалося абсолютно інакше, ніж у XVIII столітті і пізніше.

Уся історія хімії, весь її розвиток є закономірним процесом зміни способів вирішення її основної проблеми. Найважливішою особливістю основної проблеми хімії є те, що вона має лише чотири способи вирішення. Йдеться при цьому не про частинні методи вивчення і перетворення речовини – їх багато, а про найзагальніші способи вирішення питання: від чого, від яких



чинників залежать властивості речовини. А залежать вони від чотирьох чинників:

1 *Від її елементного і молекулярного складу.*

2 *Від структури її молекул.*

3 *Від термодинамічних і кінетичних (наявність каталізаторів, дія матеріалу стінок посудин тощо) умов, у яких речовина знаходиться у процесі хімічної реакції.*

4 *Від глибини хімічної організації речовини.*

Перший по-справжньому дієвий спосіб вирішення проблеми походження властивостей речовини з'явився у другій половині сімнадцятого століття у працях англійського ученого **Роберта Бойля**. Його дослідження показали, що якості і властивості тіла не мають абсолютного характеру і залежать від того, з яких хімічних елементів ці тіла утворені. З цього часу стали вважати, що найменшою частинкою тіла є молекула. У період з середини XVII століття до першої половини XIX століття **вчення про склад речовини** було всією тодішньою хімією. Воно існує і сьогодні, але є частиною хімії.

Монопольне положення вчення про склад речовини зберігалось до 1830 року. До цього часу мануфактурне виробництво змінилося на фабричне, яке спирається на машинну техніку і широку сировинну базу. У хімічному виробництві стала переважати переробка величезних мас речовини рослинного і тваринного походження, їх якісна різноманітність величезна - сотні тисяч хімічних сполук, а склад їх вкрай одноманітний - лише декілька елементів-органогенів (вуглець, водень, кисень, сірка, азот, фосфор), з яких ці сполуки складаються. Пояснення надзвичайно широкої різноманітності органічних сполук при такому бідному їх елементному складі було знайдено в явищах, що одержали назви «ізомерія» і «полімерія». Стало абсолютно зрозуміло, що властивості речовин, а отже, і їх якісна різноманітність обумовлюються не тільки складом, але ще і структурою молекул. З'явилось нове вирішення проблеми генезису властивостей, а також відмежувалися самі поняття «властивість» і «функція» або реакційна здатність. У поняття «реакційна здатність» включалися

уявлення про хімічну активність окремих фрагментів молекули - атомів, атомних груп і навіть окремих хімічних зв'язків.

Так був покладений початок другому рівню розвитку хімічних знань, який одержав назву **структурної хімії**. Вона стала вищим рівнем відносно вчення про склад, включаючи його.

На другому рівні свого розвитку **хімія перетворилася з науки переважно аналітичної у науку головним чином синтетичну**. Цей період пов'язаний з розвитком хімії органічного синтезу. В цей час з'явилися різні барвники для текстильної промисловості, різні препарати для фармації, штучний шовк і т. ін. Для цього ці матеріали видобувалися в обмежених масштабах і з величезними витратами низькопродуктивної, переважно сільськогосподарської праці.

Але захоплення успіхами структурної хімії було недовгим. Інтенсивний розвиток автомобілебудування, авіації, енергетики, приладобудування у першій половині ХХ століття висунув нові вимоги до виробництва матеріалів. Необхідно було одержувати високооктанове моторне паливо, спеціальні синтетичні каучуки, пластмаси, високостійкі ізолятори, жароміцні органічні і неорганічні полімери, напівпровідники. Для отримання цих матеріалів **спосіб вирішення основної проблеми хімії, що ґрунтується на вченні про склад і структуру речовини, був явно недостатній**. Він не враховував різких змін властивостей речовини у результаті впливу температури, тиску, розчинників і багатьох інших чинників, що впливають на напрям і швидкість хімічних процесів.

Під впливом нових вимог виробництва виник **третій спосіб вирішення проблеми генезису властивостей, що враховує всю складність організації хімічних процесів у реакторах і забезпечує їх економічно прийнятну продуктивність**. Після цього **хімія стає наукою вже не тільки і не стільки про речовини як закінчені предмети, а наукою про процеси і механізми зміни речовини**. Завдяки цьому вона забезпечила багатотоннажне виробництво синтетичних матеріалів, що замінили дерево і метал у будівельних роботах, харчову сировину у

виробництві оліфи, лаків, миючих засобів і змащувальних матеріалів. Виробництво штучних волокон, каучуків, етилового спирту і багатьох розчинників стало базуватися на нафтовій сировині, а виробництво азотних добрив - на основі азоту повітря. З'явилася технологія нафтохімічних виробництв з її потоковими системами, що забезпечують безперервні високопродуктивні процеси.

Ще у 1935 році всі 100 відсотків таких матеріалів, як шкіра, хутро, гума, волокна, миючі засоби, оліфа, лаки, оцтова кислота, етиловий спирт, вироблялися цілком з тваринної і рослинної сировини, зокрема харчової. На це витрачалися десятки мільйонів тонн зерна, картоплі, жирів, сирої шкіри і т. ін. Але вже у 60-ті роки ХХ ст. 100% технічного спирту, 80% миючих засобів, 90% оліфи і лаків, 40% волокон, 70% каучуку і близько 25% шкіряних матеріалів виготовлялися на основі газової і нафтової сировини. Крім цього, хімія щорічно дає сотні тисяч тонн сечовини і нафтового білка як корм худобі і близько 200 мільйонів тонн добрив.

Але і ці можливості ще далеко не межа. У 60 – 70-ті роки минулого сторіччя з'явився четвертий спосіб вирішення основної проблеми хімії, що відкриває шляхи використання у виробництві матеріалів найвисокоорганізованіших хімічних систем, які тільки можливі на цей час. В основі цього способу лежить принцип використання у процесах отримання цільових продуктів таких умов, які приводять до самовдосконалення каталізаторів хімічних реакції, тобто до самоорганізації хімічних систем. По суті, йдеться про використання хімічного досвіду живої природи. Це - своєрідна біологізація хімії. Хімічний реактор постає як якась подібність живої системи, для якої характерні саморозвиток і певні риси поведінки. І так, ми бачимо чотири рівні розвитку хімічних знань, або, як прийнято говорити, чотири концептуальні системи, що перебувають у відношеннях ієрархії.

На основі системи хімічних наук складається *хімічна картина світу - погляд на природу з точки зору хімії, що визначає при цьому місце і роль хімічних об'єктів і процесів у всьому природному розмаїтті*. Її змістом є:

1 Узагальнене знання даної епохи про те, що являють собою об'єкти живої і неживої природи з боку їх хімічного змісту. Сюди входить вчення про розмаїття частинок речовини, про їх хімічну організацію.

2 Уявлення про походження всіх основних типів природних об'єктів, їх природну еволюцію.

3 Залежність хімічних властивостей природних об'єктів від їх структури.

4 Загальні закономірності природних процесів як процесів хімічного руху (взаємодія реагуючих речовин одна з одною і з навколишнім середовищем).

5 Знання про специфічні об'єкти, що синтезуються в практичній діяльності хіміка.

## СУЧАСНІ КОНЦЕПЦІЇ ХІМІЇ

### Структура хімії

До кінця XIX століття хімія в основному була єдиною цілісною наукою. Внутрішній її поділ на органічну і неорганічну не порушував єдності. Але численні відкриття, що відбулися після цього як у самій хімії, так і у біології та фізиці, поклали початок швидкої її диференціації.

Сучасна хімічна наука, спираючись на міцні теоретичні основи, безперервно розвивається вшир і вглиб. Зокрема, відбуваються відкриття і вивчення якісно нових дискретних хімічних частинок. Так, ще у першій половині XIX століття при вивченні електролізу були виявлені *іони* - особливі частинки, утворені з атомів і молекул, але такі, що мають електричний заряд. Іони є структурними одиницями багатьох кристалів, кристалічних ґраток металів, вони існують в атмосфері, у розчинах тощо.

На початку XX століття хіміки відкрили *радикали* як одну з активних форм хімічної речовини. Вони утворюються з молекул шляхом відщеплення окремих атомів або їх груп і містять атоми елементів у незвичайному для них валентному стані. Їх виняткова

хімічна активність пов'язана з наявністю одиничних (неспарених) електронів.

До особливих форм хімічної речовини відносять також **макромолекули**. Вони складаються з сотень і тисяч атомів і внаслідок цього набувають на відміну від звичайної молекули якісно нових властивостей.

Характерний для новітньої хімії, як і для всієї науки ХХ століття, **процес глибокої внутрішньої диференціації** значною мірою пов'язаний з відкриттям цього якісного розмаїття хімічних речовин. Їх будова, перетворення і властивості стали предметом вивчення спеціальних розділів хімії: електрохімії, хімічної кінетики, хімії полімерів, хімії комплексних сполук, колоїдної хімії, хімії високомолекулярних сполук.

Вже до початку ХХ століття усередині самої хімії чітко розрізняють **загальну, неорганічну хімію і органічну хімію**. Предметом вивчення загальної і тісно пов'язаної з нею неорганічної хімії стали хімічні елементи та прості неорганічні сполуки, що утворюються ними, і їх загальні закони (перш за все періодичний закон Д.І. Менделєєва).

Сильний поштовх у розвитку неорганічної хімії надали проникнення у надра атома і вивчення ядерних процесів. Пошуки елементів, найбільш придатних для розщеплювання в ядерних реакторах, сприяли дослідженню маловивчених і синтезу нових елементів за допомогою ядерних реакцій. Вивченням фізико-хімічних основ і хімічних властивостей **радіоактивних ізотопів**, методикою їх поділу і концентрації зайнялася радіохімія, що виникла у другій чверті ХХ століття.

**Органічна хімія** остаточно склалася як самостійна наука в другій половині ХІХ століття. Цьому сприяло отримання великого емпіричного і теоретичного матеріалу про сполуки вуглецю і його похідних. Визначальним чинником для всіх органічних сполук є особливості валентного стану вуглецю - здатність його атомів зв'язуватися між собою як одинарним, так і подвійними, потрійними зв'язками у довгі лінійні і розгалужені ланцюги. Завдяки нескінченному розмаїттю форм сполучення вуглецевих

атомів, наявності ізомерії і гомологічних рядів майже в усіх класах органічних сполук, можливості їх отримання практично безмежні.

У ХХ столітті **багато розділів органічної хімії стали поступово перетворюватися на великі, відносно самостійні вітки зі своїми об'єктами вивчення.** Так з'явилися: хімія елементоорганічних сполук, хімія полімерів, хімія високомолекулярних сполук, хімія антибіотиків, барвників, ароматичних сполук, фармакохімія тощо.

У кінці минулого століття виникає хімія металоорганічних сполук, тобто сполук, що містять один (або більше) прямий зв'язок металу з вуглецем. До кінця століття були відкриті органічні сполуки ртуті, кадмію, цинку, свинцю та ін. У наш час одержані вуглецеві сполуки з більшою частиною не тільки металів, але і неметалів (фосфор, бор, кремній, миш'як тощо). Тепер цю галузь хімії почали називати хімією елементоорганічних сполук, вона знаходиться на стику органічної і неорганічної хімії.

Самостійною областю хімії є **наука про методи визначення складу речовини - аналітична хімія.** Її основне завдання - **визначення хімічних елементів або їх сполук, що входять до складу досліджуваної речовини,** - розв'язується шляхом аналізу. Без сучасних методів аналізу був би неможливий синтез нових хімічних сполук, постійний ефективний контроль за ходом технологічного процесу і якістю продуктів, що отримуються.

### **Взаємозв'язок хімії з фізикою**

Крім процесів диференціації самої хімічної науки, **у наш час відбуваються й інтеграційні процеси хімії з іншими галузями природознавства.** Особливо інтенсивно розвиваються взаємозв'язки між фізикою і хімією. Цей процес супроводжується виникненням все нових і нових суміжних фізико-хімічних галузей знання.

Історія взаємодії хімії і фізики багата на приклади обміну ідеями, об'єктами і методами дослідження. На різних етапах свого розвитку фізика забезпечувала хімію поняттями і теоретичними концепціями, що сильно вплинули на розвиток хімії. При цьому чим більше ускладнювалися хімічні дослідження, тим більше

апаратура і методи розрахунків фізики проникали у хімію. Необхідність вимірювання теплових ефектів реакцій, розвиток спектрального і рентгеноструктурного аналізу, вивчення ізотопів і радіоактивних хімічних елементів, кристалічних ґраток речовини, молекулярних структур вимагали створення і використання складних фізичних приладів - спектроскопів, мас-спектрографів, дифракційних ґраток, електронних мікроскопів і т.ін.

Розвиток сучасної науки підтвердив глибокий зв'язок між фізикою і хімією. Зв'язок цей має генетичний характер, тобто утворення атомів хімічних елементів, об'єднання їх у молекули речовини відбулося на деякому етапі розвитку неорганічного світу. Також цей зв'язок ґрунтується на спільності будови конкретних видів матерії, у тому числі і молекул речовин, що складаються, зрештою, з одних і тих самих хімічних елементів, атомів і елементарних частинок. Виникнення хімічної формули руху у природі викликало подальший розвиток уявлень про електромагнітну взаємодію, що вивчається фізикою. На основі періодичного закону сьогодні здійснюється прогрес не тільки у хімії, але і в ядерній фізиці, на межі якої виникли такі змішані фізико-хімічні теорії, як хімія ізотопів, радіаційна хімія та ін.

***Фізика і хімія вивчають практично одні й ті самі об'єкти, але тільки кожна з них бачить у цих об'єктах свій бік, свій предмет вивчення.*** Так молекула є предметом вивчення не тільки хімії, але і молекулярної фізики. Якщо перша вивчає її з погляду закономірностей утворення, складу, хімічних властивостей, зв'язків, умов її дисоціації на атоми, то остання вивчає статистичну поведінку молекул, що обумовлює теплові явища, різні агрегатні стани речовини, переходи з газоподібної фази у рідку й тверду фази і, навпаки, явища, не пов'язані із зміною складу молекул і їх внутрішньої хімічної будови. Те, що кожна хімічна реакція супроводжується механічним переміщенням молекул реагентів, виділенням або поглинанням тепла за рахунок розриву або утворення хімічних зв'язків у нових молекулах, переконливо свідчить про тісний зв'язок хімічних і фізичних явищ. Так, енергетика хімічних процесів тісно пов'язана із законами термодинаміки. Хімічні реакції, що відбуваються з

виділенням енергії, як правило, у вигляді тепла і світла, називаються **екзотермічними**. Існують також **ендотермічні** реакції, що відбуваються з поглинанням енергії. Все сказане не суперечить законам термодинаміки: при горінні енергія вивільняється одночасно із зменшенням внутрішньої енергії системи. В ендотермічних реакціях відбувається підвищення внутрішньої енергії системи за рахунок припливу тепла. Вимірюючи кількість енергії, що виділяється при реакції (тепловий ефект хімічної реакції), можна судити про зміну внутрішньої енергії системи.

***Частинним випадком першого початку термодинаміки є закон Гесса. Він свідчить про те, що тепловий ефект реакції залежить тільки від початкового і кінцевого стану речовин і не залежить від проміжних стадій процесу. Закон Гесса дозволяє обчислити тепловий ефект реакції у тих випадках, коли його безпосереднє вимірювання неможливе.***

Після створення теорії відносності, квантової механіки і вчення про елементарні частинки розкрилися ще глибші зв'язки між фізикою і хімією. Виявилось, що **ключ до пояснення сутності властивостей хімічних сполук, самого механізму перетворення речовин лежить у будові атомів, у квантово-механічних процесах його елементарних частинок і особливо електронів зовнішньої оболонки**. Новітня фізика блискуче вирішила такі питання хімії, як природа хімічного зв'язку, особливості хімічної будови молекул органічних і неорганічних сполук і т. ін.

У галузі контакту фізики і хімії виникла й успішно розвивається фізична хімія, яка оформилася в окрему науку у кінці XIX століття у результаті успішних спроб кількісного вивчення фізичних властивостей хімічних речовин і сумішей, теоретичного пояснення будови молекулярних структур. Експериментальною і теоретичною базою для цього стали праці Д.І. Менделєєва (відкриття періодичного закону), Вант-Гоффа (термодинаміка хімічних процесів), С. Арреніуса (теорія електролітичної дисоціації) і т. ін. Предметом її вивчення стали загальнотеоретичні питання, що стосуються будови і властивостей молекул хімічних сполук, процесів перетворення речовин у зв'язку із



взаємною обумовленістю та їх фізичними властивостями, вивчення умов перебігу хімічних реакцій і фізичних явищ, що відбуваються при цьому. Сьогодні це різносторонньо розгалужена наука, що тісно пов'язує фізику і хімію.

У самій фізичній хімії на цей час виділилися і склалися як самостійні розділи, що мають свої особливості, методи і об'єкти дослідження, електрохімія, вчення про розчини, фотохімія, кристалохімія. На початку ХХ століття виділилася також у самостійну науку колоїдна хімія, що з'явилася у надрах фізичної хімії. З другої половини ХХ століття у зв'язку з інтенсивним розробленням проблем ядерної енергетики виникла і розвинулася новітня галузь фізичної хімії - хімія високих енергій, радіаційна хімія (предметом її вивчення є реакції, що відбуваються під дією іонізуючого випромінювання), хімія ізотопів.

Взагалі фізична хімія розглядається зараз як найбільш широкий загальнотеоретичний фундамент всієї хімічної науки. Багато її учень і теорій мають велике значення для розвитку неорганічної і особливо органічної хімії. З виникненням фізичної хімії вивчення речовини почало здійснюватися не тільки традиційними хімічними методами дослідження, не тільки з уявлень про її склад і властивості, але і з боку структури, термодинаміки і кінетики хімічного процесу, а також з боку зв'язку і залежності останніх від дії явищ, властивих іншим формам руху (світлове і радіаційне опромінювання, світлова і тепла дія тощо).

У першій половині ХХ століття виникла суміжна між хімією і новими розділами фізики (квантова механіка, електронна теорія атомів і молекул) наука, яку почали пізніше називати хімічною фізикою. У ній широко застосовувалися теоретичні і експериментальні методи новітньої фізики щодо дослідження будови хімічних елементів і сполук і особливо механізму реакцій. Хімічна фізика вивчає взаємозв'язок і взаємоперетворення хімічної і субатомної форм руху матерії.

**Таким чином, сучасна хімія постає перед нами як досить багатогранна і розгалужена система знань, яка перебуває у процесі інтенсивного розвитку.** В основній своїй масі хімія

розвивається у напрямку вузько орієнтованих прикладних досліджень, але разом з тим сьогодні розвиваються і концептуальні напрями фундаментального характеру, які і визначають статус і положення цієї науки у системі сучасного природознавства. До таких концептуальних напрямів розвитку сучасної хімії слід віднести: проблему хімічного елемента, дослідження структури хімічних сполук, вчення про хімічні процеси й еволюційну хімію.

## Проблема хімічного елемента

**Концепція хімічного елемента з'явилася у хімічній науці у результаті прагнення людини виявити першоелемент природи.** Вона проіснувала більше двох тисяч років. Проте лише у XVII столітті Р. Бойль започаткував уявлення про хімічний елемент як про просте тіло, межу хімічного розкладання речовини, що переходить без зміни зі складу одного складного тіла в інше. Проте ще ціле століття хіміки робили помилки у визначенні хімічних елементів.

У подальшому Д.І. Менделєєв довів, що **властивості хімічного елемента залежать від місця даного елемента в періодичній системі, що врейті-рейт визначається зарядом ядра атома.** У XX столітті фізика спромоглася встановити складну структуру атома будь-якого хімічного елемента. Атом є єдиною квантово-механічною системою, що складається з позитивно зарядженого ядра і негативно зарядженої електронної оболонки. **Були з'ясовані особливості будови електронних орбіталей атомів усіх елементів і особлива роль серед них зовнішньої електронної оболонки, від кількості електронів у якій залежить реакційна здатність елемента.** Найбільш активними з хімічної точки зору є елементи, що мають мінімальну атомну масу і 6-7 електронів у зовнішній електронній оболонці (фтор, хлор і кисень): вони прагнуть добудувати свою електронну оболонку, приєднавши число електронів, яких не вистачає. Активними також є метали, що мають велику атомну масу і 1-2 електрони на зовнішньому електронному рівні (барій, цезій). Вони прагнуть їх віддати для добудови електронної оболонки. На цьому базується

поняття *валентності - здатності атома до утворення хімічних зв'язків*.

Сьогодні науці відомо 116 хімічних елементів. Їх питомий вміст у природних мінералах украї нерівномірний. Так, 98,6% маси фізично доступного шару Землі становлять всього вісім хімічних елементів: кисень, (27,5%), алюміній (8,8%), залізо (4,6%), кальцій 13%, натрій (2,6%), калій (2,5%), магній (2,1%). Проте використовуються ці елементи непропорційно. Наприклад, заліза у земній корі міститься удвічі менше, ніж алюмінію, але сьогодні більше ніж 95% усіх металевих виробів виготовляють із залізородної сировини. Тому у сучасній хімії концепція хімічного елемента постає як проблема раціонального використання хімічних елементів.

Перш за все дослідження у цій області спрямовані на вивчення і використання силікатів, які становлять 97% маси земної кори. Звідси цілком природне переконання вчених, що силікати повинні стати основною сировиною для виробництва всіх будівельних матеріалів і напівфабрикатів при виготовленні кераміки, здатної конкурувати з металами.

Увага хіміків до цих двох видів матеріалів не випадкова: саме метали і кераміка на 90% становлять сучасну матеріально-технічну базу виробництва. Сьогодні щорічно виготовляється близько 600 млн тонн металу – більше 150 кг на кожного жителя планети. Приблизно стільки ж виготовляється і кераміки разом із цеглою. Проте виготовлення металу обходиться у сотні і тисячі разів дорожче за кераміку. Різниця в їх вартості до недавнього часу особливо нікого не хвилювала, оскільки кожен матеріал мав своє призначення. Але сьогодні завдяки хімії відкривається все більше можливостей для заміни металу на кераміку. Тут істотними є дві обставини: виробництво кераміки набагато легше у технічному відношенні і вигідніше економічно, а головне кераміка за своїми показниками виявляється більш задовільним конструкційним матеріалом у порівнянні з металом.

Очевидна перевага кераміки полягає у тому, що її густина на 40% нижча, ніж густина металів, що дозволяє відповідно зменшити масу деталей, що виготовляються з кераміки. При використанні у

виробництві кераміки нових хімічних елементів - цирконію, титану, бору, германію, хрому, молібдену, вольфраму та ін. - можна одержувати керамічні вироби з наперед заданими властивостями. Так, останнім часом була синтезована вогнетривка, термостійка, високотверда кераміка з набором заданих електрофізичних властивостей.

Вперше у світі у 60-х роках ХХ сторіччя в СРСР був одержаний надтвердий матеріал – гексаніт - Р. Він є одним із різновидів нітриду бору з температурою плавлення 3200 градусів за Цельсієм і твердістю, близькою до твердості алмазу. У цього матеріалу відсутня крихкість, властива кераміці. Така кераміка виробляється методом пресування порошків з отриманням необхідних форм і розмірів, що робить непотрібною механічну обробку виробів.

Ще одна перевага деяких видів кераміки порівняно з металами - надпровідність при температурі кипіння азоту ( $-195,8^{\circ}\text{C}$ ). Практична реалізація високотемпературної надпровідності відкриває величезні перспективи для створення надпотужних двигунів і генераторів, транспортних систем на магнітній подушці, розроблення надпотужних електромагнітних прискорювачів і т.ін.

Справжній переворот у теорії хімічних елементів відбувся із виникненням хімії фторорганічних сполук. Вона відкрила абсолютно новий світ органічних речовин. Справа у тому, що фторвуглеводи мають виняткову стійкість навіть у дуже агресивних середовищах кислот і лугів, особливу поверхневу активність, здатність поглинати кисень і перекиси. Тому вироби з фторвуглеводу застосовуються як матеріал для виготовлення внутрішніх органів людини (наприклад, серцевих клапанів, кровоносних судин тощо).

### **Концепції структури хімічних сполук**

*Характер будь-якої системи, як відомо, залежить не тільки від складу і будови елементів, але і від їх взаємодії.* Саме така взаємодія визначає специфічні властивості цілісної системи. Тому при дослідженні різноманітних речовин і їх реакційної здатності хімікам доводилося займатися і вивченням їх структури.

При цьому відповідно до рівня досягнутих знань змінювалися й уявлення про хімічну структуру речовини. І хоча у цьому напрямі хімії існували різні концепції і вчені по-різному тлумачили характер взаємодії між елементами хімічних систем, проте всі вони підкреслювали, що **цілісні властивості цих систем визначаються саме специфічними особливостями взаємодії між елементами.**

Сам термін «**структурна хімія**» - поняття умовне. У ньому перш за все мається на увазі такий рівень хімічних знань, при якому, комбінуючи атоми різних хімічних елементів, можна створити структурні формули будь-якої хімічної сполуки. Виникнення структурної хімії означало, що з'явилася можливість для цілеспрямованого якісного перетворення речовин, для створення схеми синтезу будь-якої хімічної сполуки, у тому числі і раніше невідомої.

Багато у чому розвиток цього напрямку у хімії пов'язаний з **теорією хімічної будови органічних сполук** російського хіміка **Олександра Михайловича Бутлерова**. Його **теорія дозволяла будувати структурні формули будь-якої хімічної сполуки, оскільки показувала взаємний вплив атомів у структурі молекули і, таким чином, пояснювала хімічну активність одних речовин і пасивність інших.** Теорія хімічної будови органічних сполук Бутлерова змогла стати для хіміків практичним керівництвом зі синтезу органічних речовин. Виникнення цієї теорії дозволило перетворити хімію з науки аналітичної, такої, що займається вивченням складу готових речовин, у науку переважно синтетичну, здатну створювати нові речовини і нові матеріали.

Ця **теорія наочно демонструє валентність хімічних елементів як число одиниць спорідненості**, властивих даному атому =C=; -N=; -O-, H-. Комбінуючи атоми різних хімічних елементів з їх одиницями спорідненості, можна створити структурні формули будь-якої хімічної сполуки. А це означає, що хімік, у принципі, може створювати план синтезування будь-якої хімічної сполуки, як уже відомої, так і ще невідомої, прогнозувати можливість отримання невідомої сполуки і перевіряти свій прогноз її синтезуванням.

У результаті у хіміків з'явився не тільки ентузіазм, але й упевненість у позитивному результаті експериментів у галузі органічного синтезу. Сам термін «органічний синтез» виник у 60 - 80-ті роки минулого століття. Він став початком цілої галузі науки, названої так на противагу загальному захопленню аналізом природних речовин. Цей період у хімії був названий тріумфальним ходом органічного синтезу. Хіміки гордо заявляли про свої нічим не обмежені можливості, обіцяючи синтезувати з вугілля, води і повітря всі найскладніші речовини, аж до білків, гормонів і алкалоїдів. І дійсність, здавалося, підтвердила ці заяви: протягом другої половини ХІХ століття число вивчених органічних сполук за рахунок знов синтезованих зросло з півмільйона приблизно до двох мільйонів.

Але справа у тому, що структурна хімія обмежена рамками даних тільки про молекули речовини, що знаходяться у дореакційному стані. Цих даних недостатньо для того, щоб керувати процесами перетворення речовини. Так, згідно із структурними теоріями повинні бути цілком здійсненними багато реакцій, які практично не відбуваються. Велика кількість реакцій органічного синтезу, що базуються лише на принципах структурної хімії, має такі низькі виходи продукції і такі великі відходи у вигляді побічних продуктів, що не може бути використана у промисловості. До того ж такий синтез вимагав як початкову сировину дефіцитних активних реагентів і сільськогосподарської продукції, у тому числі і харчової, що вкрай невігдно в економічному відношенні.

Проте сучасна структурна хімія досягла значних результатів: велика частина лікарських препаратів - це продукти органічного синтезу. Одним з її досягнень є відкриття абсолютно нового класу металоорганічних сполук, які за свою двошарову структуру одержали назву «сендвічевих сполук». Молекула цієї речовини є двома пластинами із сполук водню і вуглецю, між якими знаходиться атом якогось металу.

***Дослідження у галузі сучасної структурної хімії проводяться за двома основними перспективними напрямками:***

- синтез кристалів з кристалічною структурою, максимально наближеною до ідеальної, для отримання матеріалів із високими технічними показниками: максимальною міцністю, термічною стійкістю, довговічністю при експлуатації та ін.;

- створення кристалів з наперед запрограмованими дефектами для виробництва матеріалів із заданими електричними, магнітними та іншими властивостями.

Вирішення кожної проблеми має свої труднощі. Так, у першому випадку необхідне дотримання таких умов вирощування кристалів, які виключали б дію на цей процес зовнішніх чинників, у тому числі і поля гравітації (земного тяжіння). Тому такі кристали вирощують на орбітальних станціях у космосі. Вирішення другої проблеми утруднене тим, що разом із запрограмованими дефектами практично завжди утворюються і небажані.

### **Вчення про хімічні процеси**

***Здатність до взаємодії різних хімічних реагентів визначається, крім усього іншого, і умовами перебігу хімічних реакцій.*** Ці умови можуть впливати на характер і результат хімічних реакцій. Найбільш залежними від умов проходження реакції виявляються сполуки змінного складу з ослабленими зв'язками між їх компонентами. Саме на них у першу чергу спрямована дія різних ***каталізаторів***, які значно прискорюють хід хімічних реакцій.

Одним з основоположників цього напрямку у хімії став російський хімік ***Н.Н. Семенов*** - лауреат Нобелівської премії, засновник хімічної фізики. У своїй Нобелівській лекції 1965 р. він заявив, що ***хімічний процес – це те основне явище, яке відрізняє хімію від фізики і робить її більш складною наукою. Хімічний процес стає першою сходинкою при сходженні від таких відносно простих фізичних об'єктів, як електрон,***

*протон, атом, молекула, до живої системи, тому що будь-яка клітина живого організму, по суті, є своєрідним складним реактором.* Це міст від об'єктів фізики до об'єктів біології.

Переважає більшість хімічних реакцій є нестійкими. Їх важко контролювати: в одних випадках їх просто не вдається здійснити, хоча вони принципово можливі, в інших - важко зупинити, наприклад, горіння і вибухи, у третій випадках їх важко ввести в одне бажане русло, оскільки вони мимовільно створюють десятки непередбачених відгалужень з утворенням сотень побічних продуктів. У найзагальнішому вигляді *методи керування хімічними процесами можна розділити на термодинамічні і кінетичні, а серед останніх провідну роль відіграють каталітичні методи.*

Виділення хімічної термодинаміки у самостійний напрям вчення про хімічні процеси, звичайно, пов'язують із появою у 1884 р. книги «Нариси з хімічної динаміки» голландського хіміка *Я. Вант-Гоффа*. У ній обґрунтовані закони, що встановлюють залежність напряму хімічної реакції від зміни температури і теплового ефекту реакції. Тоді ж *Ле-Шательє* сформулював свій «*принцип рухомої рівноваги*», озброївши хіміків методами зміщення рівноваги у бік утворення цільових продуктів. Основними важелями керування реакцією є: температура, тиск (якщо реакція відбувається у газовій фазі) і концентрація реагуючих речовин (якщо реакція відбувається у рідкій фазі).

*Кожна хімічна реакція, у принципі, оборотна, але на практиці рівновага зміщується в той або інший бік, що залежить як від природи реагентів, так і від умов процесу.* Є реакції, які не вимагають особливих засобів керування: кислотно-основна взаємодія (нейтралізація), реакції, що супроводжуються видаленням готових продуктів або у вигляді газів, або у формі осадів. Але існує немало реакцій, рівновага яких зміщена вліво, до початкових речовин. Щоб їх здійснити, необхідні особливі термодинамічні важелі - збільшення температури, тиску і концентрації реагуючих речовин.



*Термодинамічна дія впливає переважно на спрямованість хімічних процесів, а не на їх швидкість. Керуванням швидкістю хімічних процесів займається хімічна кінетика, в якій вивчається залежність перебігу хімічних процесів від різних структурно-кінетичних чинників: будови початкових реагентів, їх концентрації, наявності у реакторі каталізаторів та інших домішок, способів змішування реагентів, матеріалу і конструкції реактора і т.ін.*

Завдання дослідження хімічних реакцій є виключно складним. Адже при його вирішенні необхідно з'ясувати механізм взаємодії не просто двох реагентів, а ще і «третьох тіл», яких може бути декілька. У цьому випадку найдоцільніше поетапне вирішення, при якому спочатку виділяється найбільш сильна дія будь-якого одного з «третьох тіл», найчастіше всього каталізатора.

Слід розуміти, що *практично всі хімічні реакції є не простою взаємодією початкових реагентів, а складними ланцюгами послідовних стадій, де реагенти взаємодіють не тільки один з одним, але і зі стінками реактора, які можуть як каталізувати (прискорювати), так і інгібувати (уповільнювати) процес.*

*Досліди показують, що на інтенсивність хімічних процесів впливають також випадкові домішки.* Речовини різного ступеня чистоти проявляють себе в одних випадках як активні реагенти, в інших - як інертні. *Домішки можуть здійснювати як каталітичну, так і інгібовану дію.* Тому для керування хімічним процесом у речовини, що реагують, вносять ті або інші домішки.

Таким чином, *вплив «третьох тіл» на хід хімічних реакцій може бути зведений до каталізу, тобто позитивної дії на хімічний процес або до інгібування, тобто впливу, що стримує процес.*

Каталіз у хімії робить справжні чудеса. Приклад цього - реакція синтезу аміаку. До 1913 р. її взагалі не могли провести. Тільки після того, як був винайдений каталізатор, цю реакцію вдалося здійснити при високій температурі і тиску. Але вона

була технологічно дуже складною і небезпечною. На цей час відкриті умови, що дозволяють проводити її з використанням металоорганічних каталізаторів при нормальному тиску і кімнатній температурі.

***Застосування каталізаторів стало основою докорінної перебудови всієї хімічної промисловості.*** Дякуючи їм, стало можливим увести в дію як сировину для органічного синтезу парафіну і циклопарафіну, що до цього часу вважалися хімічно неактивними. Каталіз є основою виробництва маргарину, багатьох харчових продуктів, а також засобів захисту рослин. Майже вся промисловість основної хімії (виробництво неорганічних кислот, основ і солей) і “важкого” органічного синтезу, враховуючи отримання паливно-мастильних матеріалів, базується на каталізі. Останнім часом тонкий органічний синтез також стає все більш каталітичним. 60 - 80 відсотків усієї хімії ґрунтується на каталітичних процесах. Хіміки небезпідставно говорять, що некаталітичних процесів у природі взагалі не існує, оскільки всі вони відбуваються у реакторах, матеріал стінок яких є своєрідним каталізатором. Але сам каталіз довгий час залишався загадкою природи, породжуючи найрізноманітніші теорії як чисто хімічні, так і фізичні.

Ці теорії, навіть будучи помилковими, виявлялися корисними хоча б тому, що підштовхували дослідників до нових експериментів. Адже для більшості промислово важливих хімічних процесів каталізатори підбиралися шляхом незліченних проб і помилок. Так, наприклад, для проведення вищезгаданої реакції синтезу аміаку у 1913 - 1914 роках німецькі хіміки випробували як каталізатор більше 20 тисяч хімічних сполук, використовуючи як елементи періодичної системи, так і різні їх поєднання.

Сьогодні можна зробити деякі ***висновки про суть каталізу:***

1 Реагенти вступають у контакт з каталізатором і взаємодіють з ним, внаслідок цього відбувається ослаблення



хімічних зв'язків  $B + \text{кат.} \rightarrow B \cdot \text{кат.}$

Якщо ж реакцію проводять за відсутності каталізатора, то активація молекул реагуючих речовин повинна відбуватися за рахунок подачі у реактор енергії ззовні.

2 У загальному випадку будь-яку каталітичну реакцію можна подати як таку, що відбуваються через проміжний комплекс, в якому відбувається перерозподіл ослаблених



хімічних зв'язків  $B \quad D \quad B \text{ кат} \quad D \quad B - D$

3 У переважній більшості випадків як каталізатори виступають сполуки бертолідного типу - речовини змінного складу, що відрізняються наявністю в них ослаблених хімічних зв'язків або навіть вільних валентностей. Це забезпечує їх високу хімічну активність. Такі молекули містять широкий набір енергетично неоднорідних зв'язків або навіть вільні атоми на поверхні.

4 Наслідком взаємодії реагентів з каталізатором є хід реакції у заданому напрямі; збільшення швидкості реакції, оскільки на поверхні каталізатора збільшується число зіштовхувань реагуючих молекул; відбір каталізатором деякої частини енергії екзотермічної реакції енергетичного підживлення все нових актів реакції і її загального прискорення.

На сучасному етапі свого розвитку вчення про хімічні процеси займається вивченням хімії плазми, радіаційної хімії, хімії високих тисків і температур.

Хімія плазми вивчає хімічні процеси в низькотемпературній плазмі (плазма - це іонізований газ). Вона досліджує перебіг хімічних реакцій при температурах від 1000 до 10000 °С. Такі процеси характеризуються збудженим станом частинок, зіткненнями молекул із зарядженими частинками і дуже високими швидкостями реакцій.

У плазмохімічних процесах швидкість перерозподілу хімічних зв'язків дуже висока: тривалість елементарних актів хімічних перетворень становить  $10^{-13}$  с при повній відсутності оборотності реакції. Швидкість цих хімічних процесів у звичайних реакторах внаслідок їх оборотності знижується у тисячі разів. Тому плазмохімічні процеси дуже продуктивні.

Плазмова хімія останнім часом усе більше впроваджується у промислове виробництво. Вже створені технології виробництва сировини для порошкової металургії, розроблені методи синтезу для цілого ряду хімічних сполук. У 70-х роках ХХ ст. були створені плазмові сталеплавильні печі, що дозволяють одержувати дуже високоякісні метали. Розроблені методи іонно-плазмової обробки поверхні інструментів, зносостійкість яких збільшується у кілька разів.

Плазмохімія дозволяє синтезувати раніше невідомі матеріали, такі, як металобетон, у якому як зв'язуючий елемент використовуються різні метали. При сплавленні частинок гірської породи з металом утворюється металобетон, який перевершує за своїми якостями звичайний бетон у десятки і сотні разів.

Одним із наймолодших напрямків у дослідженні хімічних процесів є радіаційна хімія, яка зародилася у другій половині ХХ сторіччя. Предметом її розроблень стали перетворення найрізноманітніших речовин під впливом іонізуючих випромінювань. Джерелами іонізуючого випромінювання є рентгенівські установки, прискорювачі заряджених частинок, ядерні реактори, радіоактивні ізотопи. У результаті радіаційно-хімічних реакцій речовини одержують підвищені термостійкість і твердість.

Найбільш важливими процесами радіаційно-хімічної технології є полімеризація, вулканізація, виробництво композиційних матеріалів, зокрема, отримання полімербетонів шляхом просочення звичайного бетону яким-небудь полімером із подальшим опромінюванням. Такі бетони мають у 4 рази вищу міцність, ніж звичайні, вони водонепроникні і відзначаються високою корозійною стійкістю.

Сьогодні також принципово новою і виключно важливою галуззю вчення про хімічні процеси є високотемпературний синтез тугоплавких і керамічних матеріалів, що саморозповсюджується. Як правило, їх виробництво здійснюється методом порошкової металургії, суть якого полягає у пресуванні і стисненні при високій температурі (1200 – 2000 °С) металевих порошоків. Синтез, що саморозповсюджується, є набагато простішим, оскільки базується на реакції горіння одного металу в іншому, або металу в азоті, вуглеці тощо.

Сьогодні абсолютно точно відомо, що процес горіння є поєднанням кисню з горючою речовиною. У хімії прийнято вважати горіння реакцією окислення горючої речовини, що означає переміщення електронів атомів горючого тіла до атомів кисню. З цієї точки зору горіння можливо не тільки у кисні, але і в інших окислювачах. На цьому ефекті і ґрунтується високотемпературний синтез, що саморозповсюджується. Це тепловий процес горіння у твердих тілах. Прикладом є горіння порошку титану у порошку бору або порошку цирконію у порошку кремнію. У результаті такого синтезу отримані сотні тугоплавких сполук найвищої якості.

### **Еволюційна хімія**

До 50 - 60-х рр. ХХ ст. про еволюційну хімію нічого не було відомо. На відміну від біологів, які вимушені були використовувати еволюційну теорію Дарвіна для пояснення походження численних видів рослин і тварин, хіміків питання про походження речовини не хвилювало, тому що отримання будь-якої нової хімічної речовини завжди було справою рук і розуму людини: молекула нової хімічної сполуки конструювалася за законами структурної хімії з атомів і атомних груп як будівля з цегли. Живі ж організми з блоків зібрати неможливо.

***Виникненню еволюційної хімії сприяли дослідження у сфері моделювання біокаталізаторів.*** Штучний вибір каталітичних структур орієнтувався на здійснювану природою

еволюцію від неорганічної хімії до живих систем. Іншою підставою розвитку досліджень у галузі еволюційної хімії є реальні досягнення «нестационарної кінетики».

У результаті цих досягнень у хіміків з'явилася можливість вирішувати еволюційні проблеми стосовно своїх об'єктів. Це проблеми мимовільного (без участі людини) синтезу нових хімічних сполук, які є більш високоорганізованими продуктами у порівнянні з початковими речовинами. Тому еволюційну хімію вважають передбіологією - наукою про самоорганізацію і саморозвиток хімічних систем.

### **Взаємозв'язок хімії з біологією**

Хімія й біологія довгий час розвивалися незалежно одна від одної, хоча давньою мрією хіміків було створення в лабораторних умовах живого організму.

Сама по собі ця ідея виникла ще в період алхімії і аж до XVI століття була однією з її головних цільових установок. Проте до XVII століття серед учених затвердилося переконання про нездійсненність і, отже, помилковість ідеалів алхімії. Такій переоцінці сприяли ті позитивні знання, які були накопичені у результаті розвитку самої алхімії. У результаті були дискредитовані такі напрямки алхімії, як пошуки «філософського каменя» і універсального розчинника. Третій же ідеал алхімії - еліксир довголіття - не втратив своєї популярності завдяки застосуванню хімічних препаратів для збереження здоров'я і лікування хвороб.

«Біологічні ідеали» ранніх етапів становлення хімічного знання визначили стійку традицію цікавості хіміків до проблем біології, хоча тоді ж склались уявлення про непереборну грань між живим і неживим.

Процес взаємодії хімії і біології значно посилювався на початку XIX століття, коли у складі хімії утворилися дві самостійні наукові дисципліни - неорганічна і органічна хімія. Стосовно питання взаємодії хімії й біології найбільший інтерес становить органічна хімія.

Органічна природа надала хімікам-органікам прекрасні зразки свого творіння - речовини рослинного і тваринного походження - для наслідування і відтворення подібних речовин у хімічних лабораторіях. Так, для хіміків виник «біологічний ідеал», що істотно вплинув на розвиток органічної хімії, особливо на початковому етапі її становлення.

Різде зміцнення взаємозв'язку хімії з біологією відбулося у результаті створення *А.М. Бутлеровим* теорії хімічної будови органічних сполук. Керовані цією теорією хіміки-органіки вступили у бій зі своєю «суперницею» природою. Подальші покоління хіміків проявили велику винахідливість, працелюбність, фантазію і творчий пошук у спрямованому синтезі речовини. Їх задумом було не тільки наслідувати природу, вони хотіли перевершити її. Сьогодні ми можемо впевнено заявити, що у багатьох випадках це вдалося.

Поступовий розвиток науки ХІХ століття, що привів до розкриття структури атома та детального пізнання будови і складу клітини, відкрив перед хіміками і біологами практичні можливості спільної роботи над хімічними проблемами вчення про клітину, серед яких питання про характер хімічних процесів у живих тканинах, про обумовленість біологічних функцій хімічними реакціями.

Дійсно, якщо подивитися на обмін речовин в організмі з чисто хімічної точки зору, як це зробив *А.І. Опарін*, ми побачимо сукупність великого числа порівняно простих і одноманітних хімічних реакцій, які поєднуються між собою у часі, відбуваються не випадково, а у строгій послідовності, внаслідок чого утворюються довгі ланцюги реакцій. Цей порядок закономірно спрямований до постійного самозбереження і самовідтворення всієї живої системи у цілому в даних умовах навколишнього середовища.

Таким чином, такі специфічні властивості живого, як ріст, розмноження, рухливість, збудливість, здатність реагувати на зміни зовнішнього середовища пов'язані з певними комплексами хімічних перетворень.

Тому *хімії серед наук, що вивчають життя, належить основна роль*. Саме хімією виявлена найважливіша роль хлорофілу як хімічної основи фотосинтезу, гемоглобіну як основи процесу дихання, встановлена хімічна природа передачі нервового збудження, визначена структура нуклеїнових кислот і т. ін. Але головне полягало у тому, що об'єктивно у самій основі біологічних процесів, функцій живого є хімічні механізми. Всі функції і процеси, що відбуваються у живому організмі, виявляються можливими для викладення мовою хімії у вигляді конкретних хімічних процесів.

Однак було б неправильно зводити явища життя тільки до хімічних процесів. Це було б грубим механістичним спрощенням. Яскравим доказом цього є специфіка хімічних процесів у живих системах у порівнянні з неживими. Вивчення цієї специфіки розкриває єдність і взаємозв'язок хімічної і біологічної форм руху матерії. Свідченням цього й висновки інших наук, що виникли на стику біології, хімії і фізики: біохімія - наука про обмін речовин і хімічні процеси в живих організмах; біоорганічна хімія - наука про будову, функції і шляхи синтезу сполук, що входять до складу живих організмів; фізико-хімічна біологія як наука про функціонування складних систем передачі інформації і регулювання біологічних процесів на молекулярному рівні, а також біофізика, біофізична хімія і радіаційна біологія.

Науковими досягненнями цього процесу стало визначення хімічних продуктів клітинного метаболізму (обміну речовин у рослинах, тваринах, мікроорганізмах); встановлення біологічних шляхів і циклів біосинтезу цих продуктів, був реалізований їх штучний синтез, відкриття матеріальних основ регулятивного і спадкового молекулярного механізму, а також значною мірою з'ясоване значення хімічних процесів в енергетиці процесів клітини і взагалі живих організмів.

На цей час для хімії особливо важливим стає застосування біологічних принципів у технологічних процесах. Ще у XIX столітті вчені зрозуміли, що основою виняткової ефективності біологічних процесів є біокаталіз. Тому хіміки ставлять за мету



створити нову хімію, що базується на каталітичному досвіді живої природи. У результаті з'явиться можливість нового підходу до керування хімічними процесами, де почнуть застосовуватися принципи синтезу собі подібних молекул, за принципом ферментів будуть створені каталізатори з такою різноманітністю якостей, які істотно перевершать ті, що існують у промисловості.

Незважаючи на те, що ферменти мають загальні властивості, притаманні всім каталізаторам, вони не тотожні останнім, оскільки функціонують у рамках живих систем. Тому всі спроби використовувати досвід живої природи для прискорення хімічних процесів у неорганічному світі стикаються з серйозними обмеженнями. Поки що мова може йти тільки про моделювання деяких функцій ферментів і використання цих моделей для теоретичного аналізу діяльності живих систем, а також частково-практичного застосування виділених ферментів для прискорення деяких хімічних реакцій.

Тут найперспективнішим напрямком, очевидно, є дослідження, орієнтовані на застосування принципів біокаталізу у хімії і хімічній технології, для чого необхідно вивчити весь каталітичний досвід живої природи, у тому числі і досвід формування самого ферменту, клітини і навіть організму. Саме тут і виникли основи еволюційної хімії як нової науки, що прокладає шляхи принципово нової хімічної технології, здатної стати аналогом живих систем.

Той факт, *що каталіз відігравав вирішальну роль у процесі переходу від хімічних систем до біологічних*, тобто на передбіологічній стадії еволюції, у наш час підтверджується багатьма даними. Такі реакції супроводжуються утворенням специфічних просторових і часових структур за рахунок утворення нових і видалення використаних хімічних реагентів. Проте на відміну від самоорганізації відкритих фізичних систем у даних хімічних реакціях важливого значення набувають каталітичні процеси.

Роль цих процесів посилюється у міру ускладнення складу і структури хімічних систем. Саме на цій підставі деякі вчені

безпосередньо пов'язують хімічну еволюцію з самоорганізацією і саморозвитком каталітичних систем. Іншими словами, така еволюція якщо не цілком, то значною мірою пов'язана з процесами самоорганізації каталітичних систем. Однак слід пам'ятати, що перехід до простих форм життя припускає також особливий диференційований відбір лише таких хімічних елементів і їх сполук, які є основними будівельними матеріалами для утворення біологічних систем. Такі елементи у хімії одержали назву **органогенів**.

У результаті такого підходу з'явилася інформація про механізми відбору хімічних елементів і більш складних структур, який виявився подібним до біологічної еволюції. На цей час наукою відкрито 116 хімічних елементів. Більшість із них потрапляє у живі організми і бере участь у їх життєдіяльності. Проте **основу життєдіяльності організмів забезпечують тільки шість хімічних елементів-органогенів. Це вуглець, водень, кисень, азот, фосфор і сірка**. Їх сумарна вагова частка у структурі живого організму становить 97,4%. За ними за ступенем важливості йдуть **12 елементів, які беруть участь у побудові багатьох фізіологічно важливих компонентів біологічних систем. Це натрій, калій, кальцій, магній, алюміній, залізо, кремній, хлор, мідь, цинк, кобальт, нікель**. Їх вагова частка в організмі становить 1,6%. Крім того, є ще **20 елементів, які беруть участь у побудові і функціонуванні окремих вузькоспецифічних біосистем** і вагова частка яких становить близько 1%. Уся решта елементів у побудові біосистем практично не бере участі.

**Загальна картина хімічного світу також досить переконливо свідчить про відбір елементів**. У наш час хімічній науці відомо близько 8 млн хімічних сполук. З них переважну більшість (96%) становлять органічні сполуки, які утворені все з тих самих 6 - 18 елементів. З інших 98 - 112 хімічних елементів природа створила лише 300 тисяч неорганічних сполук. З органогенів на Землі найбільш поширені кисень і водень. Ступінь поширеності вуглецю, азоту, фосфору і сірки в поверхневих шарах Землі приблизно однаковий і

загалом невеликий - близько 0,24 вагових відсотка. У космосі неподільно панують тільки два елементи - водень і гелій, а решту елементів можна розглядати тільки як добавки до них.

Така різка диспропорція між органічними і неорганічними сполуками, а також виключно диференційований відбір мінімуму органогенів не можуть бути пояснені різною поширеністю хімічних елементів у космосі і на Землі.

Це означає, що ***визначальними чинниками у відборі хімічних елементів при формуванні органічних систем, а тим більше біосистем виступають умови відповідності цих елементів певним вимогам:***

1 Здатність утворювати міцні і, отже, енергоємні хімічні зв'язки.

2 Ці зв'язки повинні бути лабільними (тобто здатними до утворення нових різноманітних зв'язків).

***Саме тому вуглець і був відібраний природою з багатьох інших елементів як органоген номер один.*** Він, як ніякий інший елемент, здатний поєднувати найрізкісніші хімічні протилежності, реалізовувати їх єдність, виступати як носій внутрішніх суперечностей. Про те, як відбувався відбір хімічних сполук, найбільш придатних для утворення життя, який його механізм, поки що сказати досить важко. Але цей процес залишив нам своєрідний музей. Подібно до того, як із усіх хімічних елементів тільки 6 органогенів та 10 - 15 інших елементів відібрані природою, щоб скласти основу біосистем, так само в результаті еволюції відбувався ретельний відбір оптимальних хімічних сполук.

3 мільйонів органічних сполук у побудові живого беруть участь лише декілька сотень, із 100 відомих амінокислот до складу білків входять тільки 20, лише по чотири нуклеотиди ДНК і РНК покладені в основу всіх складних полімерних нуклеїнових кислот, відповідальних за спадковість і регуляцію білкового синтезу у будь-яких живих організмах.

Сьогодні зрозуміло, що ***у ході еволюції відбиралися ті структури, які сприяли різкому підвищенню активності і***

**селективності дії каталітичних груп.** Сформульовані вже і деякі **висновки:**

1 На ранніх етапах хімічної еволюції світу каталіз був зовсім відсутній. Умови існування високих температур (більше 5000 °С), електричних розрядів і радіації, з одного боку, перешкоджають утворенню конденсованого стану, а з іншого - перекривають ті порції енергії, які необхідні для подолання енергетичних бар'єрів хімічних реакцій.

2 Перші прояви каталізу починаються при пом'якшенні умов і утворенні первинних твердих тіл.

3 У міру того як фізичні умови наближалися до земних, роль каталізу зростала. Але загальне значення каталізу аж до утворення більш - менш складних органічних молекул усе ще не могло бути високим.

4 Роль каталізу у розвитку хімічних систем після досягнення стартового стану, тобто певного кількісного мінімуму органічних і неорганічних сполук, почала зростати з фантастичною швидкістю.

Теорія саморозвитку елементарних відкритих каталітичних систем у найзагальнішому вигляді висунута професором МГУ **А.П. Руденко** у 1964 р., є загальною теорією хімічної еволюції і біогенезу. **Вона вирішує питання про рушійні сили і механізми еволюційного процесу, тобто про закони хімічної еволюції, про відбір елементів і структур та їх причинну обумовленість, про глибину хімічної організації та ієрархію хімічних систем як наслідок еволюції.**

Суть цієї теорії полягає у тому, що **хімічна еволюція є саморозвитком каталітичних систем і, отже, еволюціонуючою речовиною є каталізатори. У ході реакцій відбувається природний відбір тих каталітичних центрів, які мають найбільшу активність.** Саморозвиток, самоорганізація і самоускладнення каталітичних систем відбувається за рахунок постійного припливу трансформованої енергії. А оскільки основним джерелом енергії є базова реакція, то максимальні еволюційні переваги одержують каталітичні

системи, що розвиваються на базі екзотермічних реакцій. Звідси базова реакція є не тільки джерелом енергії, але і знаряддям відбору найбільш прогресивних еволюційних змін каталізаторів.

***Тим самим А.П. Руденко сформулював основний закон хімічної еволюції, згідно з яким з найбільшою швидкістю і ймовірністю здійснюються ті шляхи еволюційних змін каталізатора, на яких відбувається максимальне збільшення його абсолютної активності.***

Практичним наслідком теорії саморозвитку відкритих каталітичних систем є так звана «нестационарна технологія», тобто технологія зі змінними умовами реакції. Сьогодні дослідники приходять до висновку, що стаціонарний режим, надійна стабілізація якого здавалася запорукою високої ефективності промислового процесу, є лише окремим випадком нестационарного режиму. При цьому виявлено безліч нестационарних режимів, що сприяють інтенсифікації реакції.

Сьогодні вже абсолютно зрозумілі перспективи створення і розвитку нової хімії, на основі якої будуть створені маловідходні, безвідходні і енергозберігаючі промислові технології.

## **СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Концепции современного естествознания: учеб. для вузов/ ред: В.Н. Лавриненко, В.П. Ратников. - Москва:ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 271 с.

2. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания: уч.пос.для студ. вузов/ Т.Я. Дубнищева. - Москва: Академия, 2008.- 608 с.

3. Мотылева Л. Концепции современного естествознания: учебник для вузов / Л. Мотылева, В. Скоробогатов, А. Судариков - Санкт-Петербург: Издательство Союз, 2000. - 320 с.

4. Концепции современного естествознания /под ред. С.И.Самыгина. – Ростов-на-Дону:Феникс, 1999. - 576 с.

5. Горохов В.Г. Концепции современного естествознания и техники: учебное пособие/ В.Г. Горохов. - Москва: Инфра – М, 2000. - 608 с.

6. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания: учебник/ С.Х. Карпенков. - Москва: Академический проект, 2004. – 639 с.

7. Горелов А. А. Концепции современного естествознания/ А.А. Горелов. - Москва: Центр, 2001. - 206 с.

8. Данилова В.С. Основные концепции современного естествознания: учебное пособие/ В.С. Данилова, Н.Н. Кожевников. - Москва: Аспект – пресс, 2001. - 255 с.

9. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания: учебное пособие/В.М. Найдыш. - Москва: Гардарики, 2001. – 475 с.

10. Белкин П.Н. Концепции современного естествознания: учеб. пособие для вузов /П.Н. Белкин. – Москва: Высш. шк., 2004. - 335 с.

11. Солопов Е.Ф. Концепции современного естествознания: учебное пособие для вузов/ Е.Ф. Солопов. - Москва: ВЛАДОС, 2005. - 232 с.

12. Суханов А.Д. Концепция современного естествознания: учебник для вузов/ А.Д. Суханов. - Москва: Дрофа, 2006.-256 с.

13. Лобачев А.И. Концепции современного естествознания: учебник для вузов/ А.И. Лобачев. – Москва: ЮНИТИ, 2001.- 239 с.

14. Рузавин Г.И. Концепции современного естествознания: учебник для вузов/ Г.И. Рузавин. – Москва: ЮНИТИ, 2005. – 304 с.

15. Воронов В.К. Основы современного естествознания: учебное пособие/ В.К. Воронов. –Москва: Высшая школа, 1999.- 247 с.

16. Иванов А.И. Основы современного естествознания: учебное пособие/ А.И. Иванов и др. – Волгоград: Издательство Волгоградского университета, 1999. - 228 с.

17. Бабушкин А.Н. Современные концепции естествознания: курс лекций/ А.Н. Бабушкин. - Санкт-Петербург: Омега-Л, 2004. – 224 с.

18. Дягилев Ф.М. Концепции современного естествознания: учебное пособие для вузов/ Ф.М. Дягилев. - Москва: ИНФРА-М, 2000. - 192 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

До друку та в світ дозволяю  
на підставі

“Єдиних правил”,

п. 2.6.14

Заступник першого проректора-  
начальник організаційно-методичного  
управління

В.Б. Юскаєв

# КОНЦЕПЦІЇ СУЧАСНОГО ПРИРОДОЗНАВСТВА

## НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

У трьох частинах

### ЧАСТИНА 2

Усі цитати, цифровий та фактичний матеріал, бібліографічні відомості перевірені, запис одиниць відповідає стандартам

Укладачі: С.І. Кшнякіна  
Б.А. Міщенко  
А.С. Опанасюк

Відповідальний за випуск

Ю.М. Лопаткін

Декан факультету ЕЛІТ

С.І. Проценко

Суми  
Вид-во Сум ДУ  
2010

Навчальне видання

**Кшнякіна** Світлана Іванівна  
**Міщенко** Борис Андрійович  
**Опанасюк** Анатолій Сергійович



# КОНЦЕПЦІЇ СУЧАСНОГО ПРИРОДОЗНАВСТВА

Навчальний посібник

## ЧАСТИНА 2

Художнє оформлення обкладинки О.О.Силки  
Редактор Н.З.Клочко  
Комп'ютерне верстання А.С.Опанасюка

Формат 60x84/16. Ум. друк.арк. 12,32. Обл.-вид. арк.  
Тираж 100 прим. Зам. №688.

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3062 від 17.12.2007.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Міщенко Б.А., Опанасюк А.С.**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК  
З ДИСЦИПЛІНИ  
«КОНЦЕПЦІЇ СУЧАСНОГО ПРИРОДОЗНАВСТВА»**

для студентів усіх спеціальностей  
денної форми навчання

**ЧАСТИНА 2**

Суми Вид-во Сум ДУ 2010