

УДК 37.011(477)

DOI https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2025-1-18

ПОНЯТТЯ ВАЛЕНТНОСТІ ЯК ДЖЕРЕЛО АПОРІЙ У ВИКЛАДАННІ ХІМІЇ НА РІВНІ БАЗОВОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ

Чухненко Поліна Сергіївна,

кандидат хімічних наук,

завідувач кафедри методики викладання природничо-математичних дисциплін

Комунального закладу «Інститут післядипломної педагогічної освіти Чернівецької області»

ORCID ID: 0009-0005-1225-0917

Scopus Author ID: 59358917700

Юзькова Валентина Дмитрівна,

кандидат хімічних наук,

доцент кафедри методики викладання природничо-математичних дисциплін

Комунального закладу «Інститут післядипломної педагогічної освіти Чернівецької області»

ORCID ID: 0000-0002-7221-7650

Scopus Author ID: 58154487900

Проаналізовано дві чинні модельні навчальні програми (далі – МНП) з предмета «Хімія. 7–9 клас», що розроблені відповідно до нового Державного стандарту базової середньої освіти (далі – ДСБСО), а також підручники, написані згідно із цими МНП, щодо вживання наукових понять. Зосереджено увагу на вилученні з однієї з програм терміна «валентність», який традиційно був серед наріжних понять шкільного курсу хімії. З близьких термінів у програмі присутній лише «ступінь окиснення». У статті досліджено та проілюстровано прикладами суперечності (апорії), які виникають під час вивчення учнями / ученицями шкільного курсу хімії та стосуються поняття валентності, зокрема доцільність застосування валентності до йонних сполук, приклади незбігу валентності (як кількості зв'язків) зі ступенем окиснення, порушення правила октету, залучення чи не залучення d-електронів передзовнішнього енергетичного рівня до утворення ковалентних зв'язків, теорія утворення ковалентних зв'язків (зокрема, за донорно-акцепторним механізмом) лише s- та p-електронами тощо. Порівняно визначення поняття «валентність» у різних українських та закордонних підручниках з визначенням Міжнародного союзу фундаментальної та прикладної хімії (IUPAC), проаналізовано вітчизняну та іноземну науково-методичну літературу щодо використання цього поняття в шкільній освіті. Спираючись на досвід іноземних систем загальної середньої освіти та розуміння ковалентних зв'язків сучасною хімічною наукою, обґрунтовано та презентовано погляди авторів щодо недоцільності оперування поняттям «валентність» на рівні базової середньої освіти. У статті сформульовано рекомендації для авторів підручників та вчителів закладів загальної середньої освіти щодо вилучення поняття «валентність» та заміни його поняттями «ступінь окиснення», «кількість зв'язків» і «заряд йона». Окреслено можливості для розвитку в здобувачів / здобувачок базової середньої освіти умінь, що належать до четвертої групи обов'язкових результатів навчання природничої освітньої галузі ДСБСО («розвиток наукового мислення, набуття досвіду розв'язання проблем»), шляхом введення до матеріалів занять проблемних питань, пов'язаних з утворенням ковалентних зв'язків.

Ключові слова: валентність, донорно-акцепторний механізм, ковалентний зв'язок, апорія, Державний стандарт базової середньої освіти, модельна навчальна програма з хімії.

Chukhnenko Polina, Yuzkova Valentyna. The concept of valence as a source of aporia in teaching chemistry at the level of basic secondary education

Two current model curricula for the subject “Chemistry. Years 7–9”, developed in accordance with the new State Standard for Basic Secondary Education, as well as textbooks written in accordance with these curricula, were analysed in relation to the use of the scientific concepts. The attention is focused on the removal of the term “valency”, which has traditionally been among the cornerstone concepts of the school chemistry course, from one of the curricula. Out of related terms, only “oxidation degree” is used in the curriculum. The article examines contradictions (aporia) that arise during the teaching and learning of school chemistry courses and relate to the concept of valency. In particular, the appropriateness of applying the term “valency”

to ionic compounds, examples of mismatch between valency (as the number of covalent bonds) of the atom in a compound and its oxidation state, violation of the octet rule, involvement or non-involvement of d-electrons (for d-block elements) in the formation of covalent bonds, formation of dative covalent bonds vs d-electron covalent bonds have been analysed and illustrated by examples. The definition of the valency concept in various Ukrainian and foreign textbooks is compared with the definition of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), and an analysis of domestic and foreign scientific and methodological literature on the use of this concept in school education is carried out. Based on the experience of the foreign school education systems and the understanding of covalent bonds in modern chemical science, the authors' opinions on the inexpediency of using the concept of "valence" at the level of basic secondary education are substantiated and presented. The recommendations for textbook authors and teachers of general secondary education institutions (GSEI) regarding the removal of the concept of "valence" and its replacement with the concepts of "oxidation state", "number of bonds" and "ionic charge" are formulated in the article. Opportunities are outlined for the development of skills belonging to the 4th group of mandatory learning outcomes of the natural science branch of the State Standard for Basic Secondary Education ("development of scientific thinking, gaining of experience in problem solving"). These skills can be achieved by introducing problematic issues related to the formation of covalent bonds into the lesson materials.

Key words: valence, dative bond mechanism, covalent bond, aporia, State Standard for Basic Secondary Education, model curriculum in chemistry.

Вступ. Реформування у сфері освіти згідно з концепцією «Нова українська школа» (далі – НУШ) [1] охоплює оновлення змісту освітніх галузей на всіх рівнях середньої освіти: від початкової до старшої профільної. Предмет «Хімія» входить до природничої освітньої галузі та вивчається із 7 класу, тобто в циклі базового предметного навчання. У цей період природнича освітня галузь має на меті закласти у світогляд учнів / учениць основи розуміння природничих предметів і закономірностей природи, ролі природничих наук у житті людства, розвинути наукове мислення здобувачів / здобувачок освіти щодо вирішення природничих проблем задля реалізації сталого розвитку суспільства [2]

Метою вивчення предмета «Хімія» на рівні базової середньої освіти є формування особистостей учнів / учениць, які знають і розуміють основні закономірності живої та неживої природи, володіють певними вміннями її дослідження, виявляють допитливість, на основі здобутих знань і пізнавального досвіду усвідомлюють цілісність природничо-наукової картини світу, здатні оцінити вплив хімічної науки, техніки й технологій на сталий розвиток суспільства та можливі наслідки людської діяльності для природи, відповідально взаємодіють із навколишнім природним середовищем [3].

Поетапне впровадження ДСБСО зумовлює перехід до викладання за новими навчальними програмами, які тепер мають назву «модельні» та доступні для вибору вчителями. Здійснюючи вибір МНП, розробляючи на її основі власну навчальну програму (що може до 20 % відрізнятися від МНП завдяки змінам змісту, зокрема вилучення певних понять, змінам послідовності вивчення тем тощо [4, с. 4]) та календарно-тематичне планування, необхідно володіти прогностичними та аналітичними вміннями, окрім, власне, знання предмета. Перед учителями постало завдання вибудувати правильну послідовність вивчення тем, формування понять, закласти розуміння основ природничих наук, урахувати системність і доступність у поданні матеріалу за трирічний період (7–9 класи).

Водночас у шкільному курсі хімії є значна кількість дискусійних питань, або так званих апорій (апорія – не вирішена проблема, що виникла в результаті наявності закладеної в ній суперечності), які можуть викликати труднощі не лише в школярів, а й у вчителів. Причиною наявності таких суперечностей є спрощене пояснення складних для розуміння теорій, концепцій, невідповідність між класичними та сучасними науковими підходами щодо їх пояснень тощо. Зрозуміло, що спрощення необхідні, і недоцільно ускладнювати той матеріал, який вивчають учні / учениці в межах базової шкільної хімічної освіти, проте іноді ці концепції суперечать одна одній.

Поставимо собі за мету похитнути впевненість у необхідності вивчати валентність як один із дискусійних термінів, проаналізувати суперечності, які це поняття потенційно вносить у досить чітку структуру подання матеріалу в шкільній хімії, та запропонувати обґрунтовані рекомендації щодо заміни поняття «валентність» іншими простими термінами та поняттями.

Аналіз досліджень і публікацій. Поняття «валентність», яке досить штучно пояснює здатність атомів утворювати хімічні зв'язки між собою, виникло ще в XIX ст., коли не було уявлень про будову атома. На той час валентність емпірично показувала, у яких співвідношеннях атоми здатні сполучатися між собою.

Упродовж тривалого періоду часу вивчення поняття «валентність» у шкільному курсі хімії регламентувалося ДСБСО 2004 та 2010 років [5; 6] і, починаючи із 7 класу, траплялося в підручниках хімії як «число зв'язків, які певний атом може утворити з іншими атомами в молекулі» [7], «здатність (властивість) атома сполучатися (утворювати хімічні зв'язки) з певною кількістю таких самих або інших атомів» [8–10], «властивість атомів, яка характеризує їх здатність сполучатись з певним числом інших атомів» [11], а з поданих у шкільних підручниках прикладів та завдань зрештою сприймалося та застосовувалося вчителями й засвоювалося учнями / ученицями як кількість ковалентних зв'язків, які утворює окремий атом з іншими атомами в молекулі, деяких йонах (наприклад, NH_4^+), атомній кристалічній ґратці тощо.

Власне таке сприйняття й досі вимагається для надання правильних відповідей на завдання зовнішнього незалежного оцінювання (далі – ЗНО) та національного мультипредметного тесту (далі – НМТ). Відзначимо, що запитання про валентність траплялися в ЗНО та НМТ вкрай рідко, порівняно із запитаннями про використання альтернативного в певному розумінні поняття «ступінь окиснення». Наведемо деякі приклади: у сертифікаційній роботі ЗНО з хімії 2020 року в запитанні «Валентність Нітрогену й кількість ковалентних зв'язків у йоні амонію, утворених за обмінним і донорно-акцепторним механізмами, наведено в рядку...» та у 2024 році на одній із сесій НМТ для продовження твердження «Унаслідок перетворення молекули амоніаку на йон амонію...» (правильне продовження – «збільшується значення валентності Нітрогену») валентність потрібно розуміти як сукупну кількість ковалентних зв'язків, які утворив атом Нітрогену.

Варто зазначити, що розуміння валентності як кількості ковалентних зв'язків переважає також у вчителів хімії за кордоном (у тих країнах, де воно залишилося в шкільній програмі), проте й там віддають перевагу поняттю «ступінь окиснення» [12]. У шкільних підручниках хімії в США термін «валентність» (переважно в розумінні «здатності утворювати зв'язки») був важливим поняттям у підручниках XX століття, проте наразі втратив свою актуальність й у підручниках XXI століття трапляється лише у вигляді прикметника «валентний» (валентні електрони, валентні орбіталі, валентна оболонка, теорія валентних зв'язків) [13]. У силабусах та підручниках з хімії для шкіл Великої Британії поняття «валентність» чи «валентний» не трапляється до 11 класу, а на A level (12–13 класи старшої профільної школи) з'являється лише у вигляді прикметника «валентний» [14].

В одній із двох чинних МНП з хімії для 7–9 класів НУШ [3], розробленій відповідно до нового ДСБСО, та в нових підручниках для 7 і 8 класів деякі автори відмовляються від вивчення поняття «валентність», зокрема тому, що воно відсутнє в ДСБСО [2]. Зазначимо, що в новому Державному стандарті профільної середньої освіти [15] поняття «валентність» також відсутнє, щоправда знаннявий компонент там подано дуже стисло, тому питання про те, чи буде поняття валентності в МНП для старшої профільної школи залишається відкритим.

Із досвіду роботи з учителями на курсах підвищення кваліфікації зазначимо, що вилучення поняття валентності викликає певний супротив та нерозуміння з боку педагогів, оскільки вони, по-перше, пам'ятають, як самі вивчали це поняття в школі, а по-друге, мають досвід викладання хімії на рівні загальної середньої освіти й звикли, що валентність є одним із клю-

чових понять, яке потрібно обов'язково сформулювати в здобувачів / здобувачок освіти на самому початку вивчення хімії в 7 класі, оскільки воно є підґрунтям для складання формул бінарних сполук, формування навичок хімічної номенклатури неорганічних речовин тощо.

Думку педагогів-практиків про важливість валентності часто поділяють і науковці, зокрема В. Т. Яворський називає поняття «валентність» одним із найважливіших у хімії, щоправда визначає він її зовсім не так, як у підручниках: «Валентність хімічного елемента – кількість неспарених (одинарних) електронів, які має атом елемента або може мати в збудженому стані» [16, с. 52]. У такому разі в йоні амонію валентність атома Нітрогену буде лише III, а отже, не збігатиметься з кількістю зв'язків, яку він утворює з атомами Гідрогену, тому таке розуміння валентності точно не допоможе розставити крапки над «і».

У деяких літературних джерелах можна натрапити на поняття валентності як «кількості електронів, яку атом використовує в утворенні зв'язку» [17], проте кількість використаних на утворення зв'язку електронів не збігається з кількістю зв'язків у сполуках, що містять ковалентні зв'язки, утворені за донорно-акцепторним механізмом (наприклад, якщо рахувати за кількістю задіяних електронів, то в Нітрогену в йоні амонію буде валентність V, а в Оксигену в йоні гідроксонію (H_3O^+) – IV), тому таке розуміння валентності значно відхиляється від поняття «кількість зв'язків» для багатьох сполук.

Згідно з офіційним визначенням IUPAC [18], «валентність – це максимальна кількість одновалентних атомів (попередньо атомів Гідрогену або Хлору), які можуть сполучатися з атомом певного хімічного елемента або на яку цей атом хімічного елемента може бути заміщений», тоді як у традиційному в українських та закордонних підручниках розумінні це швидше не «валентність», а «максимальна валентність».

Тож поняття «валентність» по-різному трактують різні автори підручників, науковці та воно здебільшого не збігається з трактуванням IUPAC.

Матеріали та методи. У процесі написання статті використано теоретичні методи, а саме: аналіз науково-педагогічної та методичної літератури, Державних стандартів освіти, модельних навчальних програм з хімії. Також застосовано шкільні підручники з хімії різних років видавництва для реалізації порівняльного аналізу й з метою систематизації та узагальнення даних для уточнення понятійно-термінологічного поняття «валентність».

Результати. Розглянемо приклади суперечливості поняття «валентність». До впровадження нових МНП і концепції НУШ учні / учениці 7 класу після вивчення правил визначення валентності за формулою сполуки могли хибно визначити, що валентність Нітрогену в N_2O_5 становить V. Через рік, у 8 класі, вивчаючи електронні конфігурації та обмінний механізм утворення ковалентного зв'язку, учні / учениці дізнаються, що маючи на зовнішньому електронному рівні 1 неподільну пару та 3 неспарені електрони, атом Нітрогену може утворити за обмінним механізмом лише 3 ковалентні зв'язки (валентність III); й аж в 11 класі, дізнавшись про здатність атомів переходити в збуджений стан та донорно-акцепторний механізм утворення ковалентного зв'язку, учні / учениці розуміють, що атом Нітрогену не може перейти в збуджений стан, адже немає вільних атомних орбіталей, тому максимально може утворити 4 ковалентні зв'язки (3 за обмінним механізмом і 1 за донорно-акцепторним), тобто проявити валентність IV. Тоді «чому ж він називається нітроген(V) оксид?», можуть здивуватись учні / учениці, пам'ятаючи із 7–8 класу, що саме валентність зазначається в дужках після назви хімічного елемента.

Подібна апорія потенційно виникала в учнів / учениць і при спробі визначити валентність Оксигену в гідроген пероксиді, з формулою якого вони ознайомилися ще в 7 класі під час вивчення методів добування кисню (за правилами визначення валентності в бінарних сполуках в Оксигену вийде валентність I). Тобто не завжди валентність атома, яка розраховується з молекулярної формули, відповідає дійсній кількості зв'язків, які утворює атом з іншими атомами в молекулі.

Розглянемо наступний приклад: у 8 класі вивчається йонна кристалічна ґратка, у якій кожен йон електростатично притягається до значно більшої кількості йонів протилежного заряду, ніж визначається його «валентністю» і стає зрозуміло, що до йонних сполук недоречно застосовувати поняття валентності в тому ж розумінні, що й для ковалентних. Тож оперування поняттям валентності як загальним для всіх сполук мало би ставитися під сумнів уже через рік після його вивчення в 7 класі.

Ще одним прикладом неузгодженості, пов'язаної з валентністю, у шкільному курсі хімії є «правило октету» (атоми намагаються здобути електронну конфігурацію найближчого інертного газу, тобто отримати 8 електронів на зовнішньому енергетичному рівні), з яким учнів / учениць знайомлять у 8 класі. Проте в тому ж класі досить часто трапляються сполуки, що порушують правило октету (наприклад, SO_2 , SO_3 , якщо вважати, що атом Сульфуру перебуває в збудженому стані й усі зв'язки утворені за обмінним механізмом), хоча учні / учениці у 8 класі не можуть скласти їх електронні формули, оскільки ще не знають про розпарування електронів неподільних електронних пар, а отже, не здатні зрозуміти чому ж там «валентність» IV і VI, відповідно. Аж в 11 класі, дізнавшись про можливість переходу атомів у збуджений стан для утворення більшої кількості хімічних зв'язків, учні / учениці можуть установити, що кількість електронів, які входять до складу спільних та неподільних електронних пар, що належать одному атому в молекулі, іноді значно перевищує 8 (10 та 12 електронів для атома Сульфуру у SO_2 та SO_3 відповідно). Тож виникає апорія: для визначення кількості зв'язків атома Сульфуру в цих сполуках керуватися валентністю визначеною з молекулярної формули чи за правилом октета?

Долучимо до вищенаведених міркувань існування донорно-акцепторного механізму утворення ковалентного зв'язку, з яким здобувачі / здобувачки освіти також ознайомлюються в 11 класі (іноді частково згадується в підручниках 8 класу [19]) зазвичай лише на прикладі йону амонію. Тож може виникнути питання: «А чи завжди утворюється донорно-акцепторний зв'язок, якщо зв'язуються атоми, один з яких має неподільну електронну пару (тобто потенційно здатний бути донором), а інший має вільну атомну орбіталь (тобто може бути акцептором)?». Розглянемо, наприклад, молекулу карбон(II) оксиду CO , зв'язки в якій унікають зображати в шкільних підручниках (ми не знайшли будови молекули CO в жодному із чинних українських шкільних підручників з хімії). Окрім двох ковалентних зв'язків, утворених за обмінним механізмом (як сказав би учень / учениця 8 класу, спираючись на кількість неспарених електронів та/або назву речовини), є ще один донорно-акцепторний ковалентний зв'язок, у якому Карбон є акцептором, оскільки має одну вільну атомну орбіталь, а Оксиген – донором, бо має неподільні електронні пари (як міг би сказати учень / учениця 11 класу) (рис. 1). Вилучення поняття про те, що валентність Карбону в карбон(II) оксиді дорівнює II, а валентність Оксигену завжди II усуває суперечності в існуванні потрійного зв'язку в молекулі чадного газу.

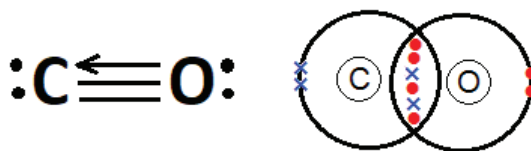


Рис. 1. Схема утворення потрійного зв'язку в молекулі Карбон(II) оксиду

Повернемося до питання будови молекул сульфур(IV) оксиду та сульфур(VI) оксиду на основі знань учня / учениці 11 класу, тобто взявши до уваги здатність до утворення донорно-акцепторних зв'язків, можливість переходити в збуджений стан, але також не забуваючи про правило октету й валентність з назви сполук. Тож як зрозуміти, скільки все-таки зв'язків буде

в молекулі SO_2 : 4 за обмінним механізмом, що суперечить правилу октету й не враховує утворення донорно-акцепторних зв'язків, проте узгоджується з валентністю IV та переходом у збуджений стан, чи 3 (2 за обмінним механізмом з одним з атомів Оксигену та 1 за донорно-акцепторним механізмом з іншим атомом Оксигену), що узгоджується з правилом октету, можливістю утворення донорно-акцепторних зв'язків, проте суперечить валентності й не враховує переходу атома в збуджений стан (рис. 2)? Аналогічні міркування можна висловити щодо молекули SO_3 , яка матиме або 6 зв'язків центрального атома з атомами Оксигену (згідно з назвою та можливістю переходу в збуджений стан), або 4 (без переходу в збуджений стан, але з утворенням двох зв'язків за донорно-акцепторним механізмом і маючи 8-електронний октет).

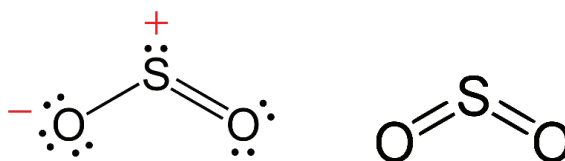


Рис. 2. Схеми можливої будови молекули сульфур(IV) оксиду згідно з концепцією шкільного курсу хімії

Подібно можна висвітлити міркування щодо кількості зв'язків у йоні гідроксонію (H_3O^+) (рис. 3), концентрація якого визначає кислотність середовища. Ураховуючи донорно-акцепторний механізм утворення ковалентного зв'язку, атом Оксигену в цьому йоні утворює 3 ковалентні зв'язки з Гідрогенами, що знову суперечить твердженню про те, що Оксиген має постійну валентність II. Без донорно-акцепторного механізму, існування йону гідроксонію неможливо пояснити.

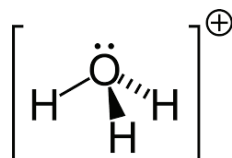


Рис. 3. Схема зображення ковалентних зв'язків у йоні гідроксонію.

Зазначимо, що хоча IUPAC досі віддає перевагу традиційному зображенню молекул та іонів через утворення більшої кількості ковалентних зв'язків з порушенням правила октету [20], сучасні наукові дані, підтверджені квантово-хімічними розрахунками, свідчать на користь існування структур, які не суперечать правилу октету та в яких утворення ковалентних зв'язків, зокрема донорно-акцепторних, відбувається завдяки s- та p-електронам [21].

Ще одним аспектом, що потенційно може викликати незрозуміння в педагогів, може бути пояснення здобувачам / здобувачкам освіти утворення назв оксидів, гідроксидів та солей, у яких, як ми звикли говорити, у дужках зазначається валентність хімічного елемента назві (в українських підручниках пояснюють, що в назві вказується саме валентність [8–10]). Насправді, за сучасним трактуванням IUPAC, у назвах неорганічних речовин указується зовсім не валентність, а якраз ступінь окиснення: «Ступінь окиснення елемента вказується римськими цифрами в круглих дужках одразу після назви елемента, до якого він належить. Не цілі ступені окиснення не використовують у номенклатурі» IUPAC [22].

З вищенаведених прикладів стає зрозуміло, що хоча вилучення поняття валентності сприятиме кращому розумінню учнями хімічних зв'язків, проте повністю усунути суперечності,

вживаючи замість нього поняття «ступінь окиснення», «заряд йону» і «кількість зв'язків», все одно не вдасться, але вважаємо, що цього й не потрібно робити. Наука постійно розвивається, і на зміну одним теоріям (моделям) приходять інші, які краще пояснюють попередні неузгодженості, або навіть кілька теорій (моделей) продовжують співіснувати впродовж тривалого часу, оскільки кожна з них має свої переваги в поясненні явищ навколишнього світу. Уважаємо, що учні / учениці мають усвідомлювати, що наука завжди використовує спрощені моделі для пояснення та прогнозування явищ навколишнього світу і важливо вміти оперувати різними теоріями для пояснення явищ природи, аргументувати власний вибір, порівнювати моделі та обирати спрощені варіанти, які задовольняють умови. Це сприятиме досягненню високих рівнів розвитку наукового мислення здобувачів / здобувачок освіти, що, власне, вимагається згідно з новим ДСБСО (четверта група результатів природничої освітньої галузі: розвиває власне наукове мислення, набуває досвіду розв'язання проблем природничого змісту), питання актуальності розвитку та оцінювання якого неодноразово ставало предметом дискусій [23]

Висновки. Отже, на основі розглянутих прикладів можна підсумувати, що відмова від поняття валентності, як це вже зробили в багатьох країнах, не тільки не зашкодить, а навіть допоможе зробити вивчення хімії в школі більш логічним.

Тому рекомендуємо авторам шкільних підручників та вчителям ЗЗСО: 1) для пояснення складання формул неорганічних сполук вживати поняття «ступінь окиснення», для йонних сполук паралельно використовувати поняття «заряд йону»; 2) у поясненні номенклатури неорганічних сполук також варто оперувати ступенем окиснення, додаючи, що традиційно в систематичній назві речовини його записують римськими цифрами без знаку «+» чи «-», що узгоджується з рекомендаціями IUPAC [22]; 3) щодо структурних формул речовин замість терміна «валентність» у контексті кількості ковалентних зв'язків, утворених атомом, оперувати поняттям «кількість зв'язків»; 4) після вивчення здобувачами / здобувачками освіти донорно-акцепторного механізму утворення ковалентного зв'язку та збудженого стану атома в молекулі, використовувати приклади сполук, для яких можливе існування кількох резонансних структур; 5) вводити в підручники (зміст уроків) проблемні завдання, які ознайомлюють учнів з апоріями, заснованими на різних підходах до обґрунтування будови деяких простих молекул, а також сприяти усвідомленню того, що кожна теорія (модель) може мати певні обмеження щодо застосування.

Література:

1. Концептуальні засади реформування середньої школи «Нова українська школа». Міністерство освіти і науки України. 2016. 40 с.
2. Державний стандарт базової середньої освіти. Київ : Офіційний вісник України. 2020. 472 с.
3. Григорович О. В. Модельна навчальна програма «Хімія. 7–9 класи» для закл. загальної середньої освіти. Міністерство освіти і науки України. 2023. 68 с.
4. Інструктивно-методичні рекомендації щодо викладання навчальних предметів / інтегрованих курсів у закладах загальної середньої освіти (ЗЗСО) у 2024/2025 навчальному році. Додаток до листа МОН від 30.08.2024 1.1/15776-24.
5. Державний стандарт базової і повної середньої освіти. Київ : КНТ, 2004. 88 с.
6. Державний стандарт базової і повної загальної середньої освіти. Київ: Офіційний вісник України. 2011. 49 с.
7. Григорович О. В. Хімія : підруч. для 7 класу загальноосвіт. навч. закл.. Харків : Ранок. 2015. 192 с.
8. Попель П. П., Крикля Л. С. Хімія : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закл. Київ : Академія. 2015. 192 с.
9. Ярошенко О. Г. Хімія : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закл. Київ : Січ. 2015. 192 с.
10. Буринська Н. М. Хімія : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закл. Київ : Пед. думка, 2015. 112 с.
11. Лашевська Г. А., Лашевська А. А. Хімія : підруч. для 7 кл. загальноосвіт. навч. закл. Київ : Генеза, 2015. 192 с.

12. Sindhu R. S. Teachers' misconception concerning valence and valency in chemistry. *Science Education International*. 2021. Vol. 32, no. 4. P. 308–310. <https://doi.org/10.33828/sei.v32.i4.5>.
13. Jones R.M., Rudler E.M., & Preston C. Exploring the Concept of Valence and the Nature of Science via Generative Artificial Intelligence and General Chemistry Textbooks. *Journal of Chemical Education*. 2024. 101 (8). P. 3276–3283. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.4c00271> (date of access: 28.02.2025).
14. Cambridge International AS & A Level Chemistry 9701. (2019). URL: <https://www.cambridgeinternational.org/Images/554616-2022-2024-syllabus.pdf> (date of access: 28.02.2025).
15. Державний стандарт профільної середньої освіти. Затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 25.07.2024 № 851. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/851-2024-%D0%BF#Text> (дата доступу: 28.02.2025).
16. Яворський В. Т. Стандартизація назв хімічних елементів, понять, термінів та визначень хімії – нагальне завдання сьогодення. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія : Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2016. № 841. С. 48–53.
17. Norman N. C., Pringle P. G. In defence of oxidation states. *Dalton Transactions*. 2021. 51(2), 400–410. <https://doi.org/10.1039/d0dt03914d> (date of access: 28.02.2025).
18. PAC. Glossary of terms used in physical organic chemistry (IUPAC Recommendations 1994, 66, P. 1175. URL: <https://goldbook.iupac.org/terms/view/V06588> (date of access: 28.02.2025).
19. Григорович О. В. Хімія : підруч. для 8 кл. загальноосвіт. навч. закл. Харків : Ранок, 2021. 240 с.
20. Brecher J. Graphical representation standards for chemical structure diagrams (IUPAC Recommendations 2008)". *Pure and Applied Chemistry*. 2008. 80 (2): 277–410. DOI: 10.1351/pac200880020277. (date of access: 28.02.2025).
21. Jackson B. A., Harshman J., Miliordos E. Addressing the hypervalent model: a straightforward explanation of traditionally hypervalent molecules. *Journal of Chemical Education*, 2020. 97(10), 3638–3646. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00368>.
22. Nomenclature of Inorganic Chemistry, IUPAC Recommendations 2005, IUPAC Red Book, prepared for publication by Neil G. Connelly and Ture Damhus (senior editors), and Richard M. Hartshorn and Alan T. Hutton, RSC Publishing, 2005 [ISBN 0 85404 438 8]
23. Чухненко П. С. Оцінювання навчальних досягнень здобувачів освіти за групами результатів природничої освітньої галузі. Нова українська школа: від теорії до практики: збірник статей II Все-укр. науково-практичної конф. з міжн. участю (м. Чернівці, 26 жовт. 2023 р.). Чернівці : ІППОЧО, С. 179–187.

References:

1. Kontseptualni zasady reformuvannya serednoi shkoly «Nova ukrainska shkola» (2016). Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. [Conceptual principles of secondary school reform. Ministry of Education and Science of Ukraine]. 40 p. [in Ukrainian].
2. Derzhavnyi standart bazovoi serednoi osvity (2020). [State standard of basic secondary education]. Kyiv: Ofitsiyni visnyk Ukrainy. 472 p. [in Ukrainian].
3. Modelna navchalna prohrama «Khimiiia. 7-9 klasy» dlia zakladiv zahalnoi serednoi osvity. (2023) O.V. Hryhorovych. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy [Model curriculum "Chemistry. Grades 7-9" for secondary education institutions]. 68 p. [in Ukrainian].
4. Instruktyvno-metodychni rekomendatsii shchodo vykladannia navchalnykh predmetiv / intehrovanykh kursiv u zakladyakh zahalnoi serednoi osvity (ZZSO) u 2024/2025 navchalnomu rotsi (2024). [Instructional and methodological recommendations for teaching subjects / integrated courses in general secondary education institutions (GSE) in the 2024/2025 academic year. Appendix to the letter of the Ministry of Education and Science]. vid 30.08.2024 1.1/15776-24. [in Ukrainian].
5. Derzhavnyi standart bazovoi i povnoi serednoi osvity (2024).[State standard of basic secondary education] Kyiv : KNT. 88 p. [in Ukrainian].
6. Derzhavnyi standart bazovoi i povnoi zahalnoi serednoi osvity (2011). [State standard of basic secondary education] Kyiv: Ofitsiyni visnyk Ukrainy. 49 p. [in Ukrainian].
7. Khimiiia: pidruch. dlia 7 klasu zahalnoosvit. navch. zakl. (2015) [Chemistry: textbook for 7th grade general education] / O. V. Hryhorovych. Kh.: Ranok. 192 p. [in Ukrainian].
8. Khimiiia: pidruch. dlia 7 kl. zahalnoosvit. navch. zakl. (2015) [Chemistry: textbook for 7th grade general education]/ P. P. Popel, L. S. Kryklia. K.: Akademiia. 192 p. [in Ukrainian].
9. Khimiiia: pidruch. dlia 7 kl. zahalnoosvit. navch. zakl. (2015) [Chemistry: textbook for 7th grade general education]/ O. H. Yaroshenko. K.: Sytsiia. 192 p. [in Ukrainian].

10. Khimiia: pidruch. dlia 7 kl. zahalnoosvit. navch. Zakl (2015). [Chemistry: textbook for 7th grade general education] / N. M. Burynska. – K. : Ped. dumka. 112 p. [in Ukrainian].
11. Khimiia: pidruch. dlia 7 kl. zahalnoosvit. navch. zakl. (2015). [Chemistry: textbook for 7th grade general education] / H. A Lashevskia, A. A. Lashevskia. K. : Heneza 192 p. [in Ukrainian].
12. Sindhu, R. S. (2021) Teachers' misconception concerning valence and valency in chemistry. *Science Education International*. Vol. 32, no. 4. P. 308–310. <https://doi.org/10.33828/sei.v32.i4.5> (date of access: 28.02.2025). [in English].
13. Jones, R M., Rudler, E. M., & Preston, C. (2024). Exploring the Concept of Valence and the Nature of Science via Generative Artificial Intelligence and General Chemistry Textbooks. *Journal of Chemical Education*, 101 (8), 3276–3283. Retrieved from: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.4c00271> (date of access: 28.02.2025) [in English].
14. Cambridge International AS & A Level Chemistry 9701. (2019). Retrieved from: <https://www.cambridgeinternational.org/Images/554616-2022-2024-syllabus.pdf> (date of access: 28.02.2025). [in English].
15. Derzhavnyi standart profilnoi serednoi osvity (2024). Zatverdzhnyi postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 25.07.2024 № 851 [State standard of specialized secondary education]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/851-2024-%D0%BF#Text> (date of access: 28.02.2025). [in Ukrainian].
16. Yavorskyi, V. T. (2016) Standartyzatsiia nazv khimichnykh elementiv, poniat, terminiv ta vyznachen khimii – nahalne zavdannia sohodennia. [Standardization of names of chemical elements, concepts, terms, and definitions of chemistry is an urgent task today]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Seriia : Khimiia, tekhnolohiia rehovyn ta yikh zastosuvannia*, 841, 48–53 [in Ukrainian].
17. Norman, N. C., & Pringle, P. G. (2021). In defence of oxidation states. *Dalton Transactions*, 51(2), P. 400–410. <https://doi.org/10.1039/d0dt03914d> [in English].
18. Glossary of terms used in physical organic chemistry (IUPAC Recommendations PAC, (1994). 66, 1077. P. 1175. Retrieved from: <https://goldbook.iupac.org/terms/view/V06588> (date of access: 28.02.2025). [in English].
19. Khimiia: pidruch. dlia 8 kl. zahalnoosvit. navch. zakl. (2021) [Chemistry: textbook for 8th grade general education] / O. V. Hryhorovych. Kharkiv: Ranok,. 240 p. [in Ukrainian].
20. Brecher, J. Graphical representation standards for chemical structure diagrams (IUPAC Recommendations 2008)". *Pure and Applied Chemistry*, 80 (2), 277–410. DOI: 10.1351/pac200880020277 (date of access: 28.02.2025). [in English].
21. Jackson, B. A., Harshman, J., & Miliordos, E. (2020). Addressing the hypervalent model: a straightforward explanation of traditionally hypervalent molecules. *Journal of Chemical Education*, 97(10), 3638–3646. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00368> (date of access: 28.02.2025). [in English].
22. Nomenclature of Inorganic Chemistry, IUPAC Recommendations (2005), IUPAC Red Book, prepared for publication by Neil G. Connelly and Ture Damhus (senior editors), and Richard M. Hartshorn and Alan T. Hutton, RSC Publishing, [ISBN 0 85404 438 8] [in English].
23. Chukhnenko, P.S. (2023). Otsiniuvannia navchalnykh dosiahnen zdo buvachiv osvity za hrupamy rezul-tativ pryrodnychoi osvithoi haluzi [Assessment of educational achievements of education seekers by groups of results in the natural sciences]. *Nova ukrainska shkola: vid teorii do praktyky: zbirnyk statei II Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu* (Chernivtsi, 26 zhovt. 2023 r.). Chernivtsi: IPPO-ChO, P. 179–187 [in Ukrainian].