

УДК 546.11

Т.Р. Татарчук, Г.О. Сіренко, І.Ю. Старко

## Хронологія відкриттів, пов'язаних із Гідрогеном. Частина 1. Відкриття XVI – XVIII століть

*Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,  
вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна*

На основі аналізу чисельних літературних джерел інформації наведено хронологію історичних відкриттів, пов'язаних з Гідрогеном (XVI-XVIII століття). Першими вченими, хто зумів отримати та зібрати водень, були Парацельс, ван Гельмонт, Бойль, Лемері тощо. Велике значення мало створення методики роботи з газами (пневматична ванна, сифони), які дозволяли забезпечити відбір, ізолювання та герметизацію певних об'ємів тих чи інших газів – період розквіту **пневматичної хімії** (Гейлс, Блек, Ломоносов). Наведено відомості про англійського хіміка Генрі Кавендіша, якому сьогодні науковий світ надає пріоритет у відкритті складу води та у відкритті первня Гідрогену. У 1786-1787 рр. Лавуазьє спільно із Луї Гітоном де Морво, Антуаном Фуркруа та Клодом Бертолле розробили нову хімічну номенклатуру, відповідно до якої «горючий газ» отримав від латинської мови назву Hydrogen (проста речовина – водень). Символ «H» був запропонований Берцеліусом.

**Ключові слова:** Гідроген, водень, Генрі Кавендіш, «горюче повітря», пневматична хімія, газ.

T.R. Tatarchuk, H.O. Sirenko, I.Yu. Starko

## Timeline of Discoveries Related to Hydrogen. Part 1. Discoveries of the XVI – XVIII Centuries

*Vasyl Stefanyk' Precarpathian National University,  
57, Shevchenko Str., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine*

Based on the analysis of numerous literary sources the chronology of historical discoveries relating to hydrogen (XVI-XVIII centuries) it was considered. The first scientists whose managed to obtain and collect hydrogen were Paracelsus, Van Helmont, Boyle, Lemaire. Of great importance was the creation of methods of working with gases (air bath, siphons), which allowed the selection, isolation and sealing of certain amounts of certain gases – the period of pneumatic chemistry (Heyls, Black, Lomonosov). The information on the english chemist Henry Cavendish, which now gives priority to the scientific world in the opening of the water and the opening element hydrogen has been considered. In 1786-1787 Lavoisier together with Louis de Morveau, Antoine Furkrua and Claude Berthollet developed a new chemical nomenclature, where «fuel gas» was the Latin name Hydrogene. The symbol «H» was proposed by Berzelius.

**Key words:** hydrogen, Henry Cavendish, «inflammable air», pneumatic chemistry, gas.

*Стаття постуила до редакції 11.07.2013; прийнята до друку 30.09.2013.*



Рис. 1. Символ Гідрогену.

### Вступ

**1. Гідроген** (лат. Hydrogenium, ii.n [1-4] від д. гр. υδωρ, υδατος, τό – вода + γεννάω – народжувати [5]; н. гр. hydr, hýdor – вода + γεννάω – народжую, gene – народжуючий [6]; англ. Hydrogen; нім. Wasserstoff m; фр. Hydrogène m; шв. Vate; норв. Hydrogen; ісп. el Hidrógeno; біл. Гідроген;

болг. Гідроген; пол., чес., слц., слн., мак., схв. Hydrogen [7-9, 30].

**2. Майже всі без винятку підручники** з неорганічної хімії [10-16 тощо] розпочинають систематичне вивчення властивостей хімічних первнів з вивчення властивостей Гідрогену – хімічного первня з порядковим номером 1 у Періодичній системі з символом H (рис. 1). Саме він має порівняно з іншими хімічними первнями найпростішу будову атома, він складається всього з двох частинок: протону, який утворює атомне ядро, та електрону, розташованого на 1s-орбіталі, між якими існують тільки сили притягання.

**3. Невипадково перша квантова теорія** – теорія Нільса-Бора – була успішно застосована саме для атома Гідрогену; і тільки для цього атома хвильове рівняння Шредингера має точний розв'язок. Унікальність атома Гідрогену полягає в тому, що його єдиний валентний електрон знаходиться безпосередньо в полі дії ядра атома, оскільки він не екранується іншими електронами. Проте простота електронної структури атома Гідрогену зовсім не означає, що він має найпростіші хімічні та фізичні властивості. Навпаки, вони дивним чином відрізняються від всіх інших первнів.

**4. Якщо атоми всіх інших первнів** (крім хімічного інертного Гелію) під валентною оболонкою мають електронний «кістяк» попереднього благородного газу та розміри їх позитивних йонів не набагато менші за розміри нейтральних атомів, то йон Гідрогену  $H^+$  являє собою просто протон, розмір якого приблизно у  $10^4$  менший за розмір атома. Тому позитивно поляризований атом Гідрогену має виключно сильно виражену поляризуючу дію, що є одним з основних мотивів у хімії цього первня. З цим пов'язані такі особливі властивості первня Гідрогену, як утворення водневих зв'язків, «онієвих» сполук (оксоній, амоній та ін.), протолітичні реакції, протонна (бренстедівська) концепція кислот і основ тощо. Не дивлячись на свій єдиний електрон, Гідроген може одночасно утворювати зв'язки з більше, ніж з одним атомом. Більше того, він може бути як сильною основою Льюїса (гідрид-йон  $H^-$ ), так і сильною кислотою Льюїса (катйон Гідрогену  $H^+$  – протон).

Це єдиний первень, за яким названий унікальний різновид хімічного зв'язку – водневий. Існують такі поняття, як «воднева бомба», «воднева бакте-

рія» та навіть «воднева енергетика». Водневі бактерії здатні виробляти енергію шляхом окиснення Гідрогену до води. Ця енергія необхідна водневим бактеріям для засвоєння  $CO_2$ . За певних умов вони здатні також окиснювати деякі органічні сполуки.

**Хімія Гідрогену – це єдина у своєму роді хімія елементарної частинки.**

**5. Історія Гідрогену пов'язана з іменами великих вчених та інженерів**, захоплюючими відкриттями та технічними досягненнями, але, водночас, й із трагедіями. Повсякденне життя неможливо уявити без гідридних технологій. Наприклад, Гідроген у металах використовується у батареях, давачах, феромагнетиках, теплопомпах, він впливає на крихкість, викликаючи специфічну корозію металевих матеріалів (воднева крихкість). Гідроген міститься у вуглеводнях, які широко використовуються в хімічній промисловості, зокрема, в нафтохімічній промисловості. Гідроген бере участь у біологічних процесах: наприклад, у фотосинтезі і перетворенні енергії у живих клітинах [17]. Проте у свідомості більшості людей водень асоціюється із небезпекою вибуху, водневою бомбою тощо. І хоча така ситуація пояснюється відсутністю наукових знань, все-таки водень був учасником (а іноді й ініціатором) багатьох трагічних подій. Про все це мова йтиме у даній статті, в якій, крім того, ще й наведено хронологічний огляд майже всіх визначних подій, пов'язаних з Гідрогеном, та його значення у розвитку експериментальної і теоретичної хімії, наукових та технологічних розробках.

## I. Відкриття XVI – XVII століття

**1. На протязі багатьох століть вчені** мали хибні уявлення, ніби газу неможливо ні ізолювати, ні зібрати, ні зважити, тому Гідроген, який є дев'ятим за розповсюдженістю первнем на Землі (0,9 % мас.), був відкритий порівняно пізно [9].

**2. Вперше водень отримали китайські вчені**, в яких назва Гідрогену складалася зі знаків китайського ієрогліфа<sup>1</sup>, які зображали «вогонь» і «газ». В Європі водень вперше отриманий, вірогідно, у I половині XVI ст. відомим ятрохіміком, лікарем та природознавцем **Філіпом Авреолусом Парацельсом** (1493-1541) (рис. 2) під час дії сульфатної кислоти на залізні цвяхи. Він назвав цю речовину

<sup>1</sup> **Ієрогліфи, гієрогліфи** (від гр. hierós – священний та glyphē – те, що вирізане) – найбільш давні образотворчі знаки єгипетського письма з кінця IV ст. до н. д. (на відміну від ієратичної та демотичної його різновидів до цієї доби). Всього відомо приблизно 5000 єгипетських ієрогліфів, але в кожному епоху їх використовували 700-800. Розрізняють ієрогліфи за знаками: 1) одноконсонантні (біля 30) – для позначення приголосних звуків єгипетської мови; 2) дво-триконсонантні – для фонетичної передачі морфем; 3) ідеограми – для позначення цілих слів; 4) детермінативи – допоміжні (безмовні) ідеографічні, які уточнюють значення слів. Термін «ієрогліфи» використовують й для інших систем письма: 1) давнього (II тис. до н. д.) та сучасного китайського письма (загальне число знаків – до 50 тис., сучасна китайська мова використовує 4-7 тис. знаків); 2) хетського образотворчого (не клинописного) письма (II-I тис. до н. д.); 3) японське письмо, яке запозичене в Китаї у 6-7 ст. н. д. і докомпоноване в Японії (загальне число знаків – до 15 тис.). Ієрогліфи позначають морфему або ряд синонімічних морфем і двох графічних варіантів слогової азбуки (по 47 слогових букв): хірогани – для запису службових морфем та звукоудаваних (звуконаслідуваних) слів; катакани – для запису нових запозичень [БСЭ, Т. 10, с. 46; Т. 12, с. 244; Т. 30, с. 550].



Рис. 2. Філіп Парацельс (1493-1541).



Рис. 3. Ван Гельмонт Ян Баптист (1579 – 1644).

– «повітря, яке виривається, як вітер». Проте Парацельс не зміг на той час ізолювати водень і не описав його характерні властивості [18].

**3. Учень Парацельса**, голландський хімік, ботанік, алхімік, ятрохімік, дослідник природи **Ян Баптист ван Гельмонт** (1577-1644) (рис. 3), вперше ввів у науковий обіг термін «газ», утворивши його від грецького слова «хаос», що означає «безформенна матерія». Слід відзначити, що термін «газ» ввійшов у всезагальне вживання тільки наприкінці XVIII ст. До цього часу хіміки називали всі гази «пружній флюїд». Гельмонт вважав, що існують гази, які відрізняються як один від одного, так і від повітря, і що вони містяться у різноманітних твердих тілах і можуть бути виділені з них. На його думку, газ, який виділяється, може характеризувати ті зміни, які відбуваються з речовиною під час дії на неї ферментів, тепла чи кислот [19, 20].

У 1620 р. Я.Б. ван Гельмонт виявив, що вугілля під час спалювання виділяє «лісовий дух». 62 фунти<sup>1</sup> дубового вугілля дають 1 фунт попелу, а решта 61 фунт слугують для утворення «лісового духу» Гельмонт означив, «що «лісовий дух», невідомий до цих пір, неможливо зібрати в жодну посудину і неможливо зробити видимим тілом. Я називаю його новим іменем – газ [21]». Ван Гельмонту було відомо, що «лісовий дух» утворюється під час горіння дерева, під час бродіння вина, виділяється із мінеральної води і його можна отримати під час дії кислот на вапняк і поташ. Я.Б. Ван Гельмонт знав про отруйний газ (NO), який виділяється під час дії нітратної кислоти на метали, і горючий газ, який утворюється під час сухої перегонки органічних речовин (очевидно, суміш водню, метану та

CO). Схоже, він переплутав водень з іншими типами газів, такими як метан та карбон (IV) оксид [20].

**4. Твердження про те, що газ неможливо зібрати у закритій посудині** вперше вдалось спростувати англійському вченому **Роберту Бойлю** (1627-1691) (рис. 4), який у 1671 році не тільки отримав водень, але й зібрав його та спостерігав його горіння [13, 20]. Він вперше описав спосіб збирання газів: у скляну посудину, наповнену розбавленою сульфатною кислотою, покласти декілька залізних цвяхів і, перевернувши догори дном, занурити шийку посудини у ванну з такою ж кислотою. Витісняючи розчин, водень, отриманий у результаті хімічної реакції, збирається у перевернутій посудині. Р. Бойль також отримав водень, діючи хлоридною кислотою на залізні ошурки, при цьому виділялась «значна пара». Під час піднесення запаленої свічі вона легко спалахувала та горіла біля відкритої посудини синюватим, іноді зеленкуватим полум'ям. Бойль показав, що продукти згоряння важчі, ніж вихідна речовина. Проте його результати не були належним чином підтвержені [22]. Він створив перший пневматичний прилад – повітряний насос для стиснення газів (рис. 5) [21].

**5. Більш детально отримання водню** та його властивості описує придворний лікар, відомий демонстратор Паризького медичного саду та автор «Курсу хімії» **Ніколя Лемері** (1645-1715) (рис. 6) [13, 23]. Він встановив, що безбарвний газ, який утворюється під час взаємодії залізних ошурків з розбавленим розчином сульфатної кислоти, дуже добре горить і назвав його «горючим повітрям».

<sup>1</sup> **Фунт** (livre, від лат libra) – одиниця маси (358,3 г). Торговий (паризький) фунт містив 16 унцій і дорівнював 489,5 г. 1 унція = 30,59 г.



Рис. 4. Роберт Бойль (1627 – 1691).



Рис. 6. Ніколя Лемері (1645 – 1715).

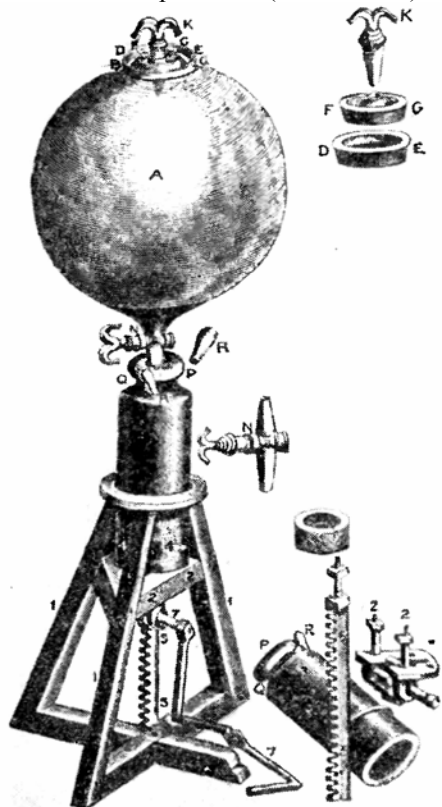


Рис. 5. Перший пневматичний прилад Бойля – повітряний насос (1660 р.) [21].

Він не відрізняв його від інших горючих газів, але твердо був переконаний у відмінності «горючого повітря» від звичайного повітря. Однак і для нього «горюче повітря» залишилося повітрям, яке набуло лише нової якості – горючості (подібно до того, як повітря над квітучими луками, вбираючи в себе аромати квітів, набуває невластивої йому духмяності).



Рис. 7. Георг Ернст Шталь (1659 – 1734).

6. У 1697 р. німецький хімік Джордж Ернст Шталь (1659-1734) (рис. 7) опублікував теорію флогістону, відповідно до якої всі горючі матеріали містять **флогістон** (грец. φλογιστόν – займистий, горючий) – гіпотетичну речовину, яка вивільняється під час горіння. Відповідно до теорії флогістону: чим більший вміст флогістону, тим більш горючим є матеріал. Наприклад, свинець складається із плумбум оксиду та флогістону, і флогістон виділяється під час згоряння матеріалу [22, 24].

## II. Відкриття XVIII століття

1. Думка про те, що гази беруть участь у багатьох хімічних процесах, набуває реального змісту тільки на початку XVIII ст. З розширенням галузей застосування кислот та лугів під час обробки руд, мінералів і солей був обґрунтований певний напрям досліджень, який і призвів до розвитку хімії газів. Розпочався період інтенсивного вивчення «штучних видів повітря». Довгий час природодослідники сумнівались, чи може такий пружний флюїд, як повітря, входити до складу речовин. Але виявилось, що під час обробки мінералів, солей та інших речовин з них виділяються гази, які знаходились у твердому тілі у зв'язаному (фіксованому) стані. Для виявлення складу «штучного повітря» велике значення мало створення методики роботи з газами (пневматична ванна, сифони), які дозволяли би забезпечити відбір, ізолювання та герметизацію певних об'ємів тих чи інших газів. Це був період розквіту **пневматичної хімії** (від грец. πνευμα – газ, дух) [20].

2. **Внеском у розвиток хімії газів** були роботи англійця **Стівена Гейлса** (1677-1761) (рис. 8), пастора за професією і ботаніка за покликанням [13, 18, 20]. У 1724 р. він винайшов пневматичну ванну, за допомогою якої йому вдалося зібрати гази.

Гази, які виділялися під час нагрівання різноманітних речовин у зігнутому дулі рушниці, збиралися у наповненій водою скляній посудині, зануреній горловиною у воду, тобто вперше місця утворення і нагромадження газів були роз'єднані. (рис. 9). Досліди Гейлса показали, що «повітря» входить до складу більшості речовин, приймаючи «тверду форму», а під час розчинення чи обпалення цих тіл «повітря» знову виділяється. С. Гейлса, як ботаніка, цікавив тільки об'єм газів, які при цьому утворюються. З його іменем не пов'язане відкриття жодного газу, але його винахід сприяв успіхам газової хімії XVIII ст. Книга С. Гейлса «Рослинна статика» (1727), в якій автор стверджував, що «найбільш ймовірним шляхом проникнення у природу тих частин світу, які попадають у сферу нашого спостереження, повинні бути число, вага та міра», здійснила вплив на багатьох дослідників, і перш за все на Джозефа Блека.

3. **Англієць Джозеф Блек** (1728-1799) (рис. 10) був першим хіміком-пневматиком. У 1756 р. він опублікував роботу «Експерименти над білою магнезією, негашеним вапном та деякими іншими лужними речовинами», в якій показав, що під час термообробки вапняку, магнезії чи дії на них кислот відбувається виділення великої кількості «фіксованого (зв'язаного) повітря» (мова йшла про вуглекислий газ, проте на той час Блек не міг встановити, що це сполука Карбону і Оксигену). У 1790 р. Дж. Блек сконструював рейтерні ваги, які дозволяли зважувати з точністю до 0,052 мг. Йому також належить відкриття енергії у формі



Рис. 8. Стівен Гейлс (1677 – 1761).

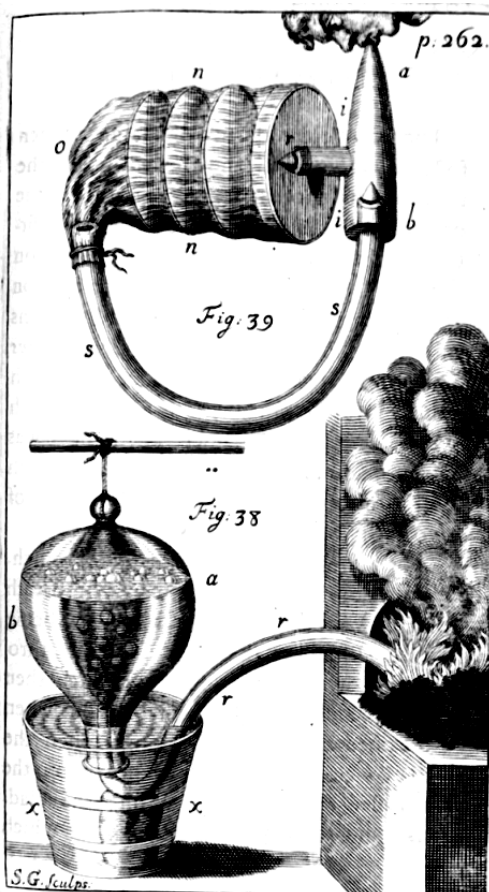


Рис. 9. Прилади Стівена Гейлса для збору повітря та пневматична ванна (рисунок із «Рослинної статики»).

прихованого тепла топлення. Він встановив, що суміш води кімнатної температури і льоду не має, як це слід було очікувати, середньої температури, а зберігає температуру льоду, поки він не розтане [20].

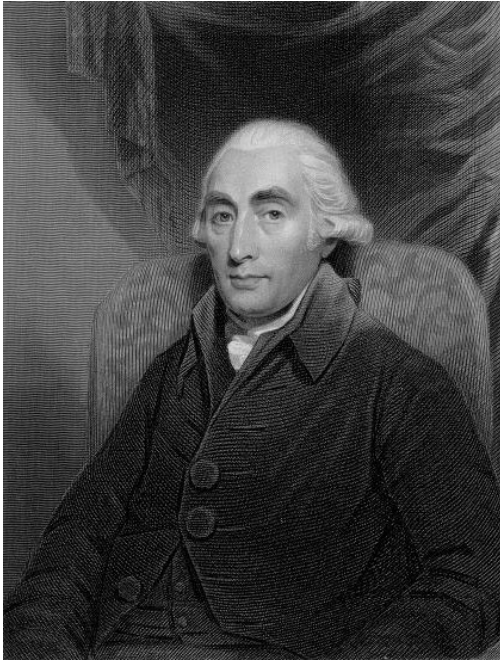


Рис. 10. Джозеф Блек (1728 – 1799).



Рис. 11. Ломоносов М.В. (1711 – 1765).

**4. З розповсюдженням теорії флогістону** деякі хіміки намагалися отримати водень у якості «вільного флогістону». Серед них був і російський вчений **М.В. Ломоносов** (1711-1765) (рис. 11). У 1745 р. він написав дисертацію «Про металічний блиск», в якій описано отримання водню дією «кислотних спиртів» (наприклад, «соляного спирту», тобто хлоридної кислоти) на залізо та інші метали. Він вперше висунув гіпотезу про те, що водень («горючий пар» – varog inflammabilis) являє собою флогістон. Розчиняючись у кислоті, метал зникав. Дуже зручний привід припустити, що в ході розчинення метал втрачає флогістон: все добре вкладається у рамки флогістонної теорії. Але Ломоносов це зробив якісно, в той час як Кавендіш, фактично, «зважив флогістон». Разом з цим цікаво відзначити, що Ломоносов був одним із перших, хто пізніше відмовився від теорії флогістону як хибної [19, 25].

**5. Після робіт Дж. Блека багато хіміків** у різних лабораторіях Великої Британії, Швеції, Франції, Німеччини зайнялись вивченням газів. Великих успіхів у цій царині досягнув **Генрі Кавендіш** (1731-1810) (рис. 12) – англійський хімік та фізик, з 1760 р. член Лондонського королівського товариства [23].

Всі експериментальні роботи цього скрупульозного вченого базувались на кількісному методі дослідження на приладах (рис. 13). Його вважали на той час «найбагатшим серед вчених і найуваженішим серед багатіїв» (так написав про нього його біограф, відомий французький вчений Жан-Батист Біо) [19, 20, 23]. Будучи дуже багатою людиною, Г. Кавендіш добре обладнав свою хімічну лабораторію, де зробив чимало цікавих дослідів. Це людина, яка була фанатично віддана науці, чудовий експериментатор. Він один, без асистентів, виконував свої дослідження. Разом з тим, Г. Кавен-



Рис. 12. Генрі Кавендіш (1731 – 1810).

діш ніколи не поспішав з публікацією результатів своїх робіт, інколи проходило декілька років, перш ніж з'являлись його статті. Тому важко назвати точну дату, коли вчений спостерігав і описав виділення «горючого повітря» [25]. Відомо тільки те, що ця робота, проведена в руслі пневматичної хімії, називалася: «Досліди зі штучним повітрям» і була опублікована у 1766 р. [26].

«Штучним повітрям» вчений назвав різновид повітря, який міститься у речовинах у зв'язаному стані, який можна виділити з них штучним шляхом. Про те, що «горюче повітря» не один раз спостерігали, Г. Кавендіш знав. Він сам отримував

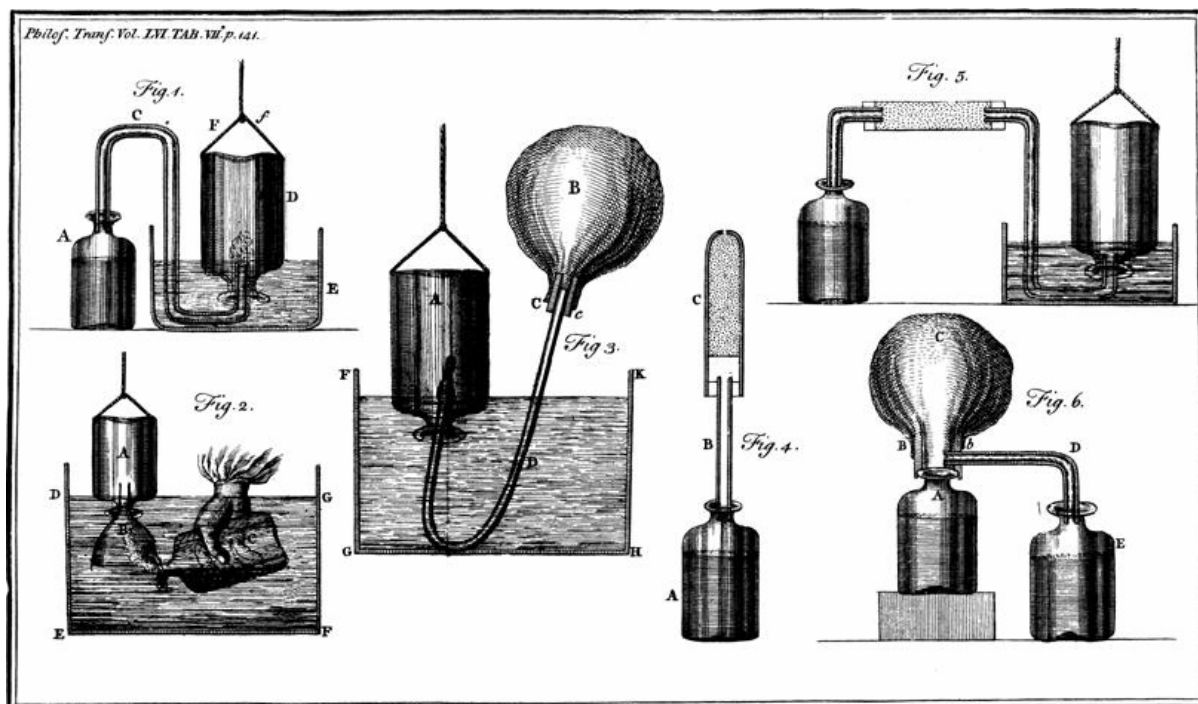
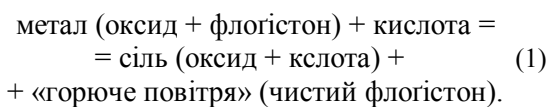


Рис. 13. Прилади для дослідів отримання водню, що проведені Г. Кавендішем у 1766 р. [26].

його тим же способом дією сульфатної та хлоридної кислот на залізо, цинк та цинку, проте першим остаточно переконався, що у всіх випадках утворюється один і той же самий вид «горючого повітря».

Цей факт остаточно переконав Кавендіша в тому, що всі метали містять флогістон, який виділяється під час перетворення металів у «землі». Англійський вчений приймав водень за чистий флогістон, оскільки газ горить, не залишаючи залишку, а оксиди металів, які обробили цим газом, під час нагрівання відновлюються у відповідні метали.

Г. Кавендіш, як прибічник теорії флогістону вважав, що водень не витісняється металом із кислоти, а виділяється внаслідок розкладу «складного» металу. Реакцію отримання «горючого повітря» з металів він представляв так:



На думку Г. Кавендіша, «горюче повітря» виганялося кислотами з металів, подібно до того, як виділялось «фіксоване повітря» під час дії кислот на вапняк чи білу магnezію [20].

Якщо уважно подивитися на експерименти та висновки Г. Кавендіша, то видно, що він не відкрив нічого нового. Він тільки підбив підсумки попередніх досліджень. Проте ці підсумки були суттєвими кроками на шляху відкриття водню [25].

«Горюче повітря» відрізнялося від звичайного і вражало своєю легкістю. А, як переконався Г. Кавендіш, виділений ним чистий флогістон мав певну масу. Вчений перший ввів кількісну величи-

ну для характеристики різних газів – густину. Приймавши за одиницю густину повітря, Г. Кавендіш отримав для «горючого повітря» густину 0,09, тому він був змушений відмовитись від висновку, що флогістон – це чистий водень і прийняти, що водень виділяється під час реакції у поєднанні з водяною парою. І все ж цей висновок був зустрінутий із захопленням хіміками-флогістиками, які прагнули давно отримати вільний флогістон. І, як виявилось пізніше, суть цієї гіпотези був тільки в тому, що нарешті в складі горючого повітря з'явився водень [18].

Г. Кавендіш вперше встановив, що «горюче повітря» не підтримує горіння і дихання тварин, а вибухає тільки в тому випадку, коли його попередньо змішати зі звичайним повітрям. Далі Кавендіш визначив об'єми «горючого повітря», яке виділяється із кислот під час повного розчинення однакової кількості різних металів, знайшов об'ємні співвідношення «горючого повітря» та звичайного повітря, при яких отримується вибух найбільшої сили, виміряв силу звуку.

Звідси випливає цілком очевидний висновок: як і його попередники, Г. Кавендіш не зрозумів природи «горючого повітря», хоча і зважив його, описав його властивості та вважав самостійним видом «штучного повітря». Словом, Г. Кавендіш, сам цього не підозрюючи, вивчав свій «флогістон» так, ніби він вивчав новий хімічний первень. Але йому і на думку не спало, що «горюче повітря» є хімічним первнем у газовому стані – надто міцними були пута флогістонної концепції.

Тому, строго кажучи, вислів «Гідроген був відкритий у 1766 р. англійським вченим Г. Кавендішем» є помилковим. Г. Кавендіш тільки більш де-



Рис. 14. П'єр Джозеф Маке (1718 – 1784).

тально і з більшим розумінням описав процеси отримання і властивості «горючого повітря» порівняно зі своїми попередниками. Проте, первнева природа «горючого повітря» виявилась за рамками його розуміння. Але це не була провина Г. Кавендіша: хіміки просто ще не дозріли до подібного розуміння. Знадобились ще роки, перш ніж Гідроген, нарешті, став Гідроґеном і набув свого справжнього значення у хімії [18].

На той час було встановлено дуже багато, майже все, але не було визначено, у що перетворюється «горюче повітря» під час вибуху та горіння. Ці властивості «горючого повітря» були знайдені зусиллями трьох вчених: Маке, Кавендішем та Лавуазьє [18].

Кавендіш практично не спілкувався з людьми, проте дуже старанно вивчав описи проведених ними експериментів. Характерною особливістю його експериментальної роботи було те, що він ретельно повторював дослідження інших, виконувач їх із більшою точністю і використовував більш глибокий аналіз для інтерпретації результатів. Це був період, коли електрична енергія стала використовуватись для багатьох речей, можливих та неможливих на той час. Зокрема, через пляшку, заповнену газом, можна було пропустити електричний розряд від одного електроду до іншого [19].

**6. Англієць Джон Ворлтайр**, який допомагав Прістлі у роботах по відкриттю Оксигену, повідомив про свій експеримент. Він намагався визначити, чи енергія у формі тепла має вагу, чи ні. У закритій пляшці він приготував суміш звичайного повітря та водню і підпалив суміш за допомогою електричної іскри. Стався вибух і Ворлтайр виявив утворення роси на стінках пляшки. Але він цікавився вагою, і не звернув на це увагу. Проте Кавендіш цим зацікавився [19].



Рис. 15. Джозеф Прістлі (1733 – 1804).

**7. Інший експеримент був проведений у Франції у 1776 р.** Всім було відомо, що порцелянова ложка почорніє, якщо її помістити у полум'я свічки. Французький вчений **П'єр Джозеф Маке** (Macquer) (1718-1784) (рис. 14) підпалив «горюче повітря» і вніс у полум'я шматок білої порцеляни. Білий шматочок залишився білим, проте на ньому утворились краплі рідини, подібної на воду [19].

**8. Від свого друга Джозефа Прістлі** (1733-1804) (рис. 15), Кавендіш отримав наступну інформацію: «18 квітня 1781 р. я використав свою електричну машину (рис. 16, 17) і підпалив суміш звичайного повітря і «горючого повітря» у закритій товстостінній скляній посудині. Це спрацювало, але я не думаю, що звичайне повітря і «горюче повітря» можуть замінити порох». Тобто Прістлі на той час працював над іншою проблемою, ніж вивчення хімічних реакцій [19].

**9. Вся ця інформація не залишила** Кавендіша байдужим. Він розумів, що сталося щось надзвичайне, коли іскра підпалила суміш звичайного повітря і «горючого повітря» (водню). Він вирішив повторити досліди Прістлі, Маке і Ворлтайра, та вивчити їх кількісним аналізом. У спеціальній серії експериментів він також змінив звичайне повітря щойно відкритим киснем. Це було необхідним, щоб мати змогу визначати об'єми газів до і після згоряння суміші. Для підвищення точності дослідів він змінив воду на ртуть у приладі для вимірювання об'ємів газів. Він знав, що об'єм газу залежить від тиску і температури і що всі порівняння потрібно робити в деяких стандартних умовах. Він досліджував вибухи точно вимірюваних об'ємів «горючого повітря» і кисню за допомогою електричної іскри в евідіометрі та встановив, що 100 об'ємів кисню з'єднується зі 202 об'ємами «горючого повітря» (водню). Щоб дослідити, що уявляє



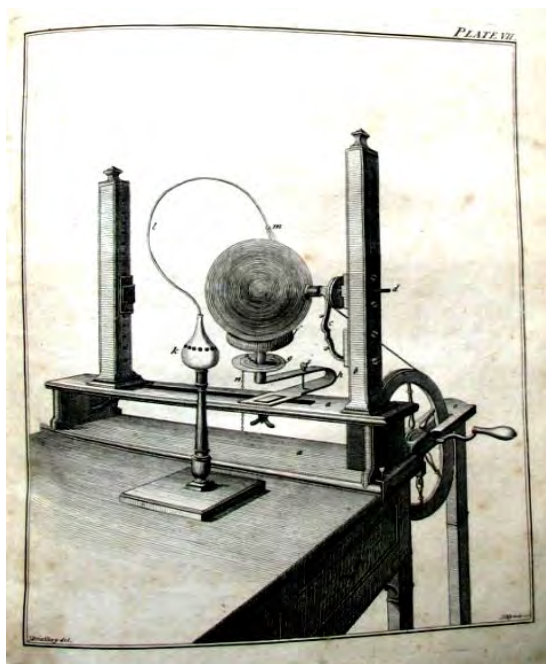


Рис. 16. «Електрична машина для аматорських експериментів» Прістлі, зображена у першому виданні його праці «Вступ до вивчення електрики» (1768).

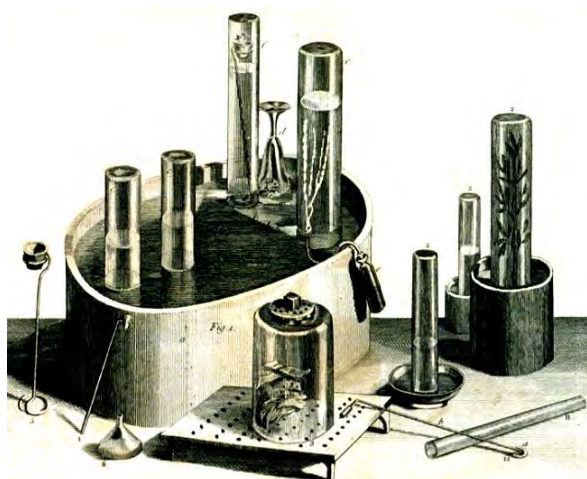


Рис. 17. Пневматична ванна та інше обладнання, яке використовував Прістлі у своїх експериментах з газами.

собою утворена під час вибуху роса, Кавендіш брав колбу, наповнену холодною водою, і поміщав її над палаючим «горючим повітрям» (воднем). Краплі рідини, які конденсувалися на стінках посудини, стікали у склянку. Отримавши таким чином біля 8,5 г рідини, він переконався, що роса – просто вода, отже, майже все «горюче повітря» і частина звичайного повітря перетворились у чисту воду. Після багаторічної праці картина ставала все більше зрозумілою. Вода не була первнем, вона утворюється, коли «горюче повітря» (водень) реагує з киснем. Або, як він сам висловився: «Вода складається із дефлогістованого повітря, об'єднаного з флогістоном» [19].



Рис. 18. Антуан Лоран де Лавуазьє (1743 – 1794).

**10. На початку 1783 р. Кавендіш повідомив** Прістлі про результати, а в червні того ж року проінформував **Лавуазьє** (1743-1794) (рис. 18). І тільки у січні 1784 р. Кавендіш представив доповідь «Експерименти над повітрям» Королівському товариству, в якій повідомляв про свої відкриття наступними словами: «Мабуть, є всі підстави вважати, що дефлогістоване повітря – це просто вода, позбавлена свого флогістона, а вода, яка складається з дефлогістованого повітря, поєднаного з флогістоном» [12].

Королівське товариство зустріло доповідь Кавендіша з великим здивуванням та скептицизмом. Чи можливо таке, щоб вода складалася із дефлогістованого повітря та флогістону? Вода є сполукою двох газів – неймовірно!

**11. З погляду сучасної хімічної термінології,** Кавендіш стверджував наступне:

- вода не є первнем, а хімічною сполукою двох первнів Гідрогену та Оксигену;
- вода утворюється під час хімічної реакції між двома об'ємами водню та одним об'ємом кисню;
- у звичайному повітрі є тільки кисень, який може сполучатись з воднем з утворенням води;
- коли кисень витрачається на утворення води, залишається інший газ; в ньому не горить дерево і гинуть миші. Цей газ становить 4/5 об'єму звичайного повітря.

На зустрічі Кавендіш провів кілька демонстраційних дослідів. Він у скляній посудині пропустив електричний розряд через суміш – 42,3 об'ємів «горючого повітря» і 100 об'ємів звичайного повітря. Після іскріння все «горюче повітря» (водень) і 1/5 частина звичайного повітря «зникли». Було видно, як у результаті хімічної реакції на склі ут-

ворилася роса. У низці інших демонстративних дослідів результат був той же самий: два об'єми «горючого повітря» завжди сполучаються з одним об'ємом кисню, утворюючи воду, маса якої дорівнювала масі вихідних газів. Він переконливо довів свою теорію і переконав вчених-членів Королівського товариства.

Стиль роботи Кавендіша, його експерименти на протязі багатьох років з кількома публікаціями стали підґрунтям для суперечок стосовно пріоритету щодо відкриття Гідрогену. Незабаром після засідання Королівського товариства у січні 1784 р., Джеймс Ватт, винахідник парової машини, стверджував, що він з'ясував склад води ще до Кавендіша. У Франції заявляли, що Лавуазьє провів подібні розрахунки у Паризькій академії наук в червні 1783 р., тобто за півроку до засідання Королівського товариства. Та ексцентричний Кавендіш, здавалося, не помічав цих суперечок. Він продовжував свої експерименти. Сьогодні науковий світ надає Кавендішу пріоритет у відкритті складу води та у відкритті первня Гідрогену [19].

**12. Під час згоряння водню** виділяється велика кількість енергії, і ця властивість водню дозволяє використовувати його як паливо. У 1783-1784 р.р. Лавуазьє та П'єр Лаплас виміряли енергію у формі тепла згоряння водню за допомогою крижаного калориметра (рис. 19) [18]. Експеримент тривав 11,5 год., а кількість енергії у формі тепла розтопленої криги була еквівалентна  $9,7 \cdot 10^7$  Дж/(кг водню). Це було значно вище за значення, що отримані для інших речовин, тому з цієї причини, чи можливо з іншої, ці результати не були опубліковані аж до 1793 р. Значення енергії у формі тепла, що отримали Лавуазьє та Лаплас, було не надто далеко від дійсного його значення –  $1,2 \cdot 10^8$  Дж/(кг водню) [22].

**13. У 1786-1787 р.р. Лавуазьє спільно із Луї Гітоном де Морво, Антуаном Фуркруа та Клодом Бертолле** розробили нову хімічну номенклатуру, відповідно до якої «горюче повітря» отримало латинську назву Hydrogenium (проста речовина – водень), яка походить від грецьких слів вода та народжувати, яка вказує на безпосереднє відношення Гідрогену до його найважливішої сполуки – води. Символ H був запропонований Йенсом Якобом Берцеліусом [18].

У «Таблиці простих тіл» А. Лавуазьє Гідроген згаданий у числі п'яти «простих тіл, які відносяться до всіх трьох царств природи і які слід розглядати як елементи тіл»: світло, тепло, Оксиген, Нітроген, Гідроген. В якості старих синонімів назви Hydrogenium Лавуазьє називає «горючий газ» (Gaz inflammable), основа «горючого газу» [18].

**14. У російській хімічній літературі** кінця XVIII і початку XIX ст. зустрічаються дві назви Гідрогену: флогістичні («горючий газ», «горючий воздух»), «воспламенительный воздух», «загораемый

воздух») і антифлогістичні («водотвор», «водотворное существо», «водотворный час», «водород»). Обидві групи слів є перекладами або кальками з французьких назв Гідрогену (водню). Сучасна російська назва «водород» була запропонована М.Ф. Соловйовим у 1824 р. [28].

**15. У промисловому масштабі водень** почали отримувати у кінці XVIII ст., коли виготовляли перші повітряні кулі (рис. 20). В цей час водень отримували взаємодією сульфатної кислоти із залізом [29].

Але у 1783 р. французький хімік Антуан Лавуазьє разом із французьким воєнним інженером Жаном Меньє розробили спосіб отримання водню дією водяної пари на розпечене залізо (рис. 21) [29].



Рис. 19. Перший у світі крижаний калориметр, використаний взимку 1782-1783 Антуаном Лавуазьє і П'єр-Симоном Лапласом, для визначення енергії у формі тепла, що виділяється у різних хімічних перетвореннях; розрахунки базувались на попередньому відкритті Джозефа Блека енергії у формі схованого тепла. Ці експерименти поклали початок термохімії [27].

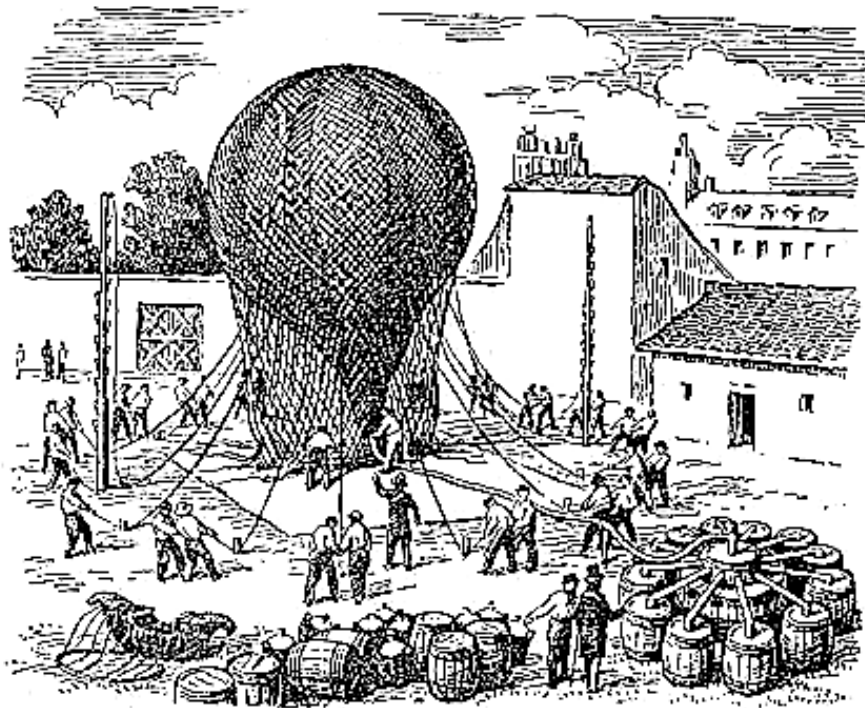


Рис. 20. Наповнення повітряної кулі воднем (кінець XVIII ст.).

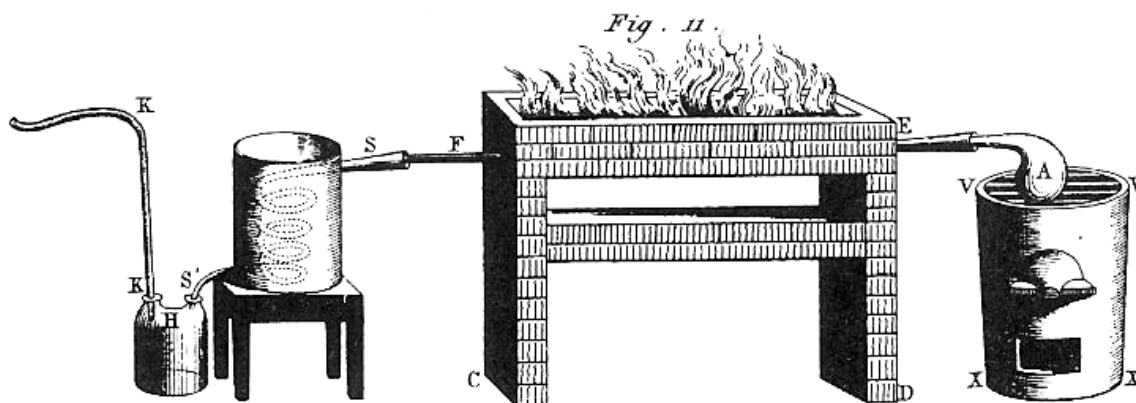


Рис. 21. Пристрій, за допомогою якого Лавуазьє та Жан Меньє шляхом термолізу отримали водень із води.

### Література

1. Л.П. Чуракова, Латинський словник: латинсько-український, українсько-латинський (ВД «Чумацький шлях», Київ, 2009).
2. Н.М. Яковенко, В.М. Миронова, Латинська мова: Підручник (Знання, Київ, 2005).
3. М.М. Закалюжний, Г.Б. Паласюк, Латинська мова і основи медичної термінології: Підручник (Укрмедкнига, Тернопіль, 2004).
4. Є.І. Світлична, І.О. Толок, Латинська мова: Підручник (Центр учбової літератури, Київ, 2011).
5. Л.Л. Звонська-Денисюк, Давньогрецька мова: Підручник (Томіріс, Київ, 1997).
6. С.Э. Вайсберг, БСЭ: Водород (Сов. энциклопедия, Москва, 1971).
7. М.П. Саврук, Українсько-англійський науково-технічний словник (Наукова думка, Київ, 2008).
8. Іван Ковальський, Англо-німецько-французько-український хемічний словник (Наукове товариство ім. Шевченка, Львів-Торонто, 1999).
9. В. Козирський, В. Шендеровський, Словник фізичної лексики: українсько-англійсько-німецько-російський (Рада, Київ, 1996).
10. Ю.Д. Третьяков, Неорганическая химия. Химия элементов: Учебник для вузов: В 2 книгах. Кн. 1 (Химия, Москва, 2001).

11. А.А. Дроздов, В.П. Зломанов, Г.Н. Мазо, Ф.М. Спиридонов, Неорганическая химия: В 3 т. Т. 2. (Академия, Москва, 2004).
12. Н.Н. Гринвуд, А. Эрншо, Химия элементов. В 2-х томах. Т. 1 (БИНОМ, Москва, 2008).
13. О.М. Степаненко, Л.Г. Рейгер, В.М. Ледовських, С.В. Иванов, Загальна та неорганічна хімія у двох частинах: Підручник. Частина II (Пед.преса, Київ, 2000).
14. Я.А. Угай, Общая и неорганическая химия (Высшая школа, Москва, 1997).
15. Н.С. Ахметов, Общая и неорганическая химия (Высшая школа, Москва, 2002).
16. Д. Шрайвер, П. Эткинс, Неорганическая химия. В 2-х т. Т.1 (Мир, Москва, 2004).
17. W.K. Purves, D. Savada, G.H. Orians, H.C. Heller, Life: The Science of Biology Sinauer Associates (Inc. Publishers, Sunderland, USA, 2003).
18. Г.Г. Диогенов, История открытия химических элементов (краткие очерки) (Госуд.учеб.-педагог.изд-во Мин. просвещения РСФСР, Москва, 1960).
19. P. Enghag, Encyclopedia of the Elements (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2004).
20. Ю.И. Соловьев, История химии: Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. (Просвещение, Москва, 1983).
21. J.R. Pertington, A History of Chemistry, v.2 (London, 1961).
22. A. Züttel, A. Borgschulte, L. Schlapbach, Hydrogen as a Future Energy Carrier (WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008).
23. В.А. Волков, Е.В. Вонский, Г.И. Кузнецова, Выдающиеся химики мира (Высшая школа, Москва, 1991).
24. M.E. Weeks, Discovery of the Elements. 6th ed. (Mack Printing Company, Easton, Pa., USA, 1960).
25. Д.Н. Трифонов, В.Д. Трифонов, Как были открыты химические элементы (Просвещение, Москва, 1980).
26. H. Cavendish, Philosophical Transactions, 56, 141 (1766).
27. К. Манолов, Великие химики. В 2-х томах. Т. 1 (Мир, Москва, 1985).
28. Н.А. Фигуровский, Открытие элементов и происхождение их названий (Наука, Москва, 1970).
29. А.М. Голуб, Загальна та неорганічна хімія. У 2-х томах. Т. 1 (Вид-во Київського ун-ту, Київ, 1968).
30. Оскар Перлин, Самоучитель испанского языка (с упражнениями и ключами) (Методика, Киев, 1998).

**Татарчук Тетяна Романівна** – кандидат хімічних наук, доцент, член-кореспондент Академії технологічних наук України, доцент кафедри неорганічної та фізичної хімії.

**Сіренко Геннадій Олександрович** – доктор технічних наук, професор, академік Академії технологічних наук України, завідувач кафедри неорганічної та фізичної хімії.

**Старко Ірина Юрївна** – студентка 3 курсу кафедри неорганічної та фізичної хімії.