

НАУКОВА БІБЛІОТЕКА



Др МИКОЛА ГАЛАГАН

МАТЕРІЯ

ЇЇ БУДОВА Й ПЕРЕТВОРЕННЯ



видавництва
ЮРІЯ ПИЩЕНКА

ПРАГА

Всесвітній

НАУКОВА БІБЛІОТЕКА „ЮТ.“

Ч. 25—26.

Др. МИКОЛА ГАЛАГАН

МАТЕРІЯ

ЇЇ БУДОВА Й ПЕРЕТВОРЕННЯ

ПРАГА 1944

ВИДАВНИЦТВО ЮРІЯ ТИЩЕНКА

Друкарня Політика, Прага

Присвячується Світлій Пам'яті

Проф. Д-ра мед. А. В. СТАРКОВА,

члена Української Академії Наук.



ПЕРЕДМОВА

Оцею мій короткий нарис торкається таких наукових проблем, що ними цікавляться не тільки фахові вчені, але й інтелектуальніші особи з ширших кругів громадянства. Ці останні, samozрозуміло, не читають періодичних видань чи монографічних публікацій чисто фахового характеру з ділянки фізико-хемічної науки, хоч і мають охоту бути в курсі найновіших її здобутків. Для них цілком вистачає, коли вони можуть прочитати виложені в приступній формі підсумки досягнень з цієї ділянки знання. Задоволенню такої власне потреби й служить популярно-наукова література, що існує в різних мовах. Узгаднюючи цю потребу й серед українського громадянства, рішився я написати оцею свій нарис.

Якраз перед 18 роками закінчив був я писати свою книжку, що рік пізніше вийшла під назвою „Атомістично-молекулярна теорія“. Видавництво УГВФ у Празі вважало за доцільне попередити той мій виклад передмовою тепер уже покійного академіка А. В. Старкова, який дуже прихильно оцінив ту мою скромну працю. То була для мене, як автора, потішаюча оцінка професора-біолога. Ще більшою для мене втіхою було, коли трохи пізніше міг я прочитати оцінку нашого корифея хемічної науки академіка Ів. Горбачевського, теж нині вже небіжчика, який уважав мою книжку за „цінний вклад в українську хемічну літературу“.

Названа моя книжка була першою того роду в українській мові. Можливо, що ця обставина в деякій мірі спричинилась до того, що як у краєвій, так і закордонній українській пресі появилися були прихильні рецензії на ту мою працю. Авторів оцінюваної чи рецензованої роботи не випадає, звичайно, твердити, що якраз прихильні оцінки й рецензії були правильні. Мушу одначе признатись, що власне оті колишні позитивні оцінки давнішої моєї праці (про негативні не довелося довідатись) надають мені відваги виступити й з оцією публікацією.

Тематика цього нарису є власне та сама, що й тематика названої книжки. Одначе він не є якимсь другим її виданням. Насамперед оцей нарис є значно коротший, а тим самим і спосіб викладу тут мусів бути інший, тобто його треба було зробити більш ляпідарним стилем. Далі я старався викладати по змозі якнайприступніше, щоб навіть і менше підготований читач міг всежтаки зрозуміти суть викладу, при чому він міг би просто опускати мало зрозумілі для нього деякі формули, читаючи тільки самий текст викладу. Зрештою й розподіл матеріялу в оцьому нарисі є дещо інший, ніж у давнішій моїй книжці.

Різні скорочення в порівнянні з обсягом тої книжки торкнулися головню подробиць, а не самого предмету викладу. Навпаки в оцьому нарисі є згадка й про деякі речі, що про них не писав я в тій книжці, не говорячи вже про те, що тут пишу я про досягнення фізико-хемічної науки зовсім недавньої дати. Само собою розуміється, що в оцій публікації подається значення різних величин згідно з останніми даними (за 1940. і 1941. роки).

Пишучи оцей свій нарис про будову матерії та її перетворення, хотів я прислужитись українському громадянству принаймні хоч тим, що зацікавлені з мого викладу зможуть хоч у загальних рисах довідатись про сучасний стан науки в цій ділянці знання. Разом із тим бажав я реалізувати й свою давнішу обіцянку написати популярно-наукову книжку на таку тему. Зробити це приобіцяв був я свого часу власникові видавництва „ЮТ“ п. Ю. Тищенко, який плянував видати низку популярно-наукових книжок із ділянки природознавства взагалі й фізико-хімічної науки зокрема. До здійснення такого корисного й для мене особисто дуже симпатичного пляну видавництва хотів і я спричинитись своєю працею.

В оцьому своєму короткому нарисі старався я представити самий предмет викладу в аспекті історичного розвитку фізико-хімічної науки. Нарис цей може бути тільки вступом до ґрунтовнішого ознайомлення з трактованим предметом. Для тих, що мали б бажання докладніше перестудіювати котресь питання, зачеплене в оцьому нарисі, подаю деяку літературу з великого числа публікацій, що відносяться до цього предмету.

Прага, 14. грудня 1942. року.

Автор.

ЛІТЕРАТУРА

- Ekecrantz Th.*: Geschichte der Chemie. Leipzig, 1913.
Bauer H.: Geschichte der Chemie I—II. S. Göschen. Berlin-Leipzig, 1914—15.
Delacre M.: Histoire de la chimie. Paris, 1920.
Меншуткин Б. Н.: Важнейшие этапы в развитии химии за последние полтораста лет. Л-град 1934.
Matula V. H.: Boj o tajemství hmoty. Cesta chemie. Praha 1938.
Bernath A.: Chemische Grundbegriffe. S. Göschen. Berlin-Leipzig 1926.
Gróh J.: Kurzes Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Berlin 1923.
Meyer Julius: Einführung in die Chemie. Leipzig 1939.
Remsen-Reihlen: Einleitung in das Studium der Chemie. Dresden-Leipzig 1940.
Holleman A. F.: Lehrbuch der Chemie. I—II. Berlin, 1935.
Křepelka J.: Anorganická chemie. Praha, 1932.
Сміт Ол.: Хемія. Скорочений курс для вищої школи. (Переклад з англійського.) Харків, 1929.
Вікул М.: Неорганічна хемія. (Курс лекцій). Подєбради, 1932—1933.
Комарецький С.: Неорганічна хемія. (Скорочений курс.) Подєбради, 1937.
Горбачевський Ів.: Органічна хемія. Прага, 1924.
Bouzat A.: Chimie générale. Paris, 1936.
Cattelain E.: Pour comprendre la chimie moderne. Paris, 1933.
Ulich H.: Kurzes Lehrbuch der physikalischen Chemie. Dresden-Leipzig, 1940.
Graetz L.: Die Atomtheorie in ihrer neuesten Entwicklung. Stuttgart, 1925.
Галаган М.: Атомістично-молекулярна теорія. Нарис еволюції наукових поглядів на тонку будову матерії. Прага, 1926.
Вальден П.: О химических элементах. Прага, 1926.
March A.: Einführung in die moderne Atomistik in allgemeinverständlicher Darstellung. Leipzig, 1933.

- Вальтер А. К.*: Атака атомового ядра. Харків, 1933.
- Вальтер А. К.*: Физика атомового ядра. Л-град—Москва, 1935.
- Кондратьев В. Н.*: Строение атома и молекулы. Л-град—Москва, 1934.
- Perrin Ж.*: Les atomes. Paris, 1936.
- Фаянс К.*: Радіоактивність и новѣйшее развитіе ученія о химическихъ элементахъ. Берлинъ, 1922.
- Curie M.-me P.*: Les rayons α , β , γ , des corps radioactifs en relation avec la structure nucléaire. Paris, 1933.
- Curie M.-me P.*: Radioactivité. T. I—II. Paris, 1935.
- Langevin P.*: La notion de corpuscules et d'atome. Paris, 1934.
- Meitner L.-Delbrück M.*: Aufbau der Atomkerne. Berlin, 1935.
- Darmois E.*: Un nouveau corps simple, Le deutérium ou l'hydrogène lourd. Paris, 1933.
- Mark H.*: Das schwere Wasser. Leipzig-Wien, 1934.
- Curie Ir.-Joliot F.*: L'électron positif. Paris, 1934.
- Joliot F.-Curie Ir.*: Radioactivité artificielle. Paris, 1935.
- Hanle W.*: Künstliche Radioaktivität und ihre Kernphysikalischen Grundlagen. Jena, 1939.
- Broglie L.*: Matière et lumière. Paris, 1937.
- Broglie L.*: Licht und Materie. (Übersetzung.) Hamburg, 1939.
- Schackert Fr.*: Nitro atomů. Praha, 1940.
- Matula V. H.*: Hmota a její proměny. Praha, 1941.

ВСТУП

Людина є частиною природи, серед якої вона живе й з якої відповідними своїми органами чуття дістає різnorodні вражіння. У цих власне вражіннях від предметів і явищ довкільної природи виявляється зв'язок людського духу із зовнішнім світом. Самозрозуміло, що це сприймання є вповні суб'єктивне та дотого ще й досить обмежене з огляду на загально відому недосконалість наших чуттєвих органів. Що правда, розвиток науки й техніки уможливив людині користання різними приладами, що в більшій чи меншій мірі компенсують недостачі наших органів сприймання зовнішнього світу, але ці штучно вироблені прилади далеко не є настільки досконалими, щоб їх можна було вважати за ідеальні. В кожному разі примінення навіть найдосконалішого приладдя та найдотепніших метод дослідження не може усунути моменту суб'єктивності сприймання людиною зовнішніх явищ. Як далеко може сягати наше розуміння ества речей і феноменів та чи це взагалі можливе, це питання є предметом філософії. Для нашого дальшого викладу вистачить тут тільки зазначити, що об'єктивне пізнання ества матеріальних тіл і наукове ствердження правди щодо будови матерії та її трансформації не є ніякою легкою проблемою й ми, очевидно, позбавлені можливості пізнати ці речі в їхній суті та мусимо задовольни-

тися зрозумінням їх так і до такої міри, як це є приступне нашій духовості й нашому людському в своїх спроможностях недосконалому розумові.

Мабуть уже від часу, коли людина в своїй еволюції досягла такого ступеня розвитку, що до неї по справедливості можна прикласти назву „*homo sapiens*“, уклала вона в певні системи свої знання й набутий досвід. Річ очевидна, що ці системи знання на початках людського інтелектуального життя мусіли бути цілком примітивного характеру й тільки пізніше, коли духовий розвиток людей досяг порівнюючи високого ступеня, придбали вони характер науки й філософії, як світоглядової синтези набутого знання.

Довгий час не було власне різниці між наукою й філософією, бо ж навіть ще в перших наукових школах стародавньої Греції існувала лише одна наука, що охоплювала все тодішнє знання, тобто як природознавство в ширшому розумінні цього слова (астрономія, фізика, метеорологія, хемія, біологія), так і науку про людину, її душу, зміст її життя і т. д. Тільки згодом наступило розділення одної загальної науки на низку поодиноких наукових дисциплін. Тоді, властиво, могла повстати вже й філософія, як окрема наука, що свої висновки ґрунтує на здобутках, досягнених людським інтелектом у різних ділянках наукового знання. Одже, вже грецький філософ Платон (427—347 до Р. Х.) поруч із наукою математики, геометрії й астрономії встановляє ще й окрему науку „діалектику“ чи „науку про ідеї“, що є тотожньою з філософією в нашому теперішньому розумінні.

За науку, у відрізнення від звичайного знання, вважаємо таке знання, якого набувається в про-

цесі шукання об'єктивної правди й що є логічно обґрунтоване та приведенне до певної системи. Шлях шукання цієї правди є трудний і далеко не просто-лінійний. Тут стають часом у великій пригоді гіпотези, як імовірні припущення чи правдоподібні здогади відносно існування певного зв'язку й закономірної залежності між спостереженими явищами чи ствердженими фактами. Далі виникають уже теорії, що певною своєю провідною думкою охоплюють відомі в даній ділянці науки факти й явища та освітлюють умови, за яких вони мають місце, й закони, згідно з якими вони відбуваються. Теорію вважаємо за правдиву, коли вона з одного боку дійсно охоплює всі дотичні стверджені факти та явища, а з другого боку коли дається її підтвердити експериментально. Оскільки новостверджені факти чи нововідкриті явища не вкладалися б до ідейних рямців даної теорії, або вона колідувала з вислідами відповідних експериментальних дослідів, то в такому разі для наукових дослідників не лишається іншого виходу, як цю теорію відкинути й шукати іншої теоретичної концепції, що задовольняла б щойно зазначеним вимогам та ознакам її правдивості. В цей спосіб ступнево, крок за кроком, наближається наука до своєї мети: представити з погляду об'єктивної правди найбільш вірний образ дотичного феномену чи взагалі об'єкту наукового дослідження.

Наш дальший виклад має своїм предметом явища природи певної категорії. В основі явищ природи лежить зміна стану матерії, що взагалі є, так би мовити, реальним підкладом усіх природних явищ. Матерія, що виповнює якусь частину простору, творить фізичне тіло, незалежно від того, чи це

тіло відноситься до т. зв. „мертвої“, чи „живої“ природи. Вивченням властивостей фізичних тіл та їх змін за різно-змінених умов, як також і законів, за якими ті зміни відбуваються, займається фізика й хемія. До царини студій науки фізики належать такого роду явища, що при них не відбуваються зміни самого складу даного фізичного тіла. Навпаки хемія досліджує ті явища природи, що зв'язані зо зміною складу тіл. Інакше кажучи, фізика має до діла зо змінами стану матерії характеру акцидентального, в той час коли хемія вивчає зміни субстанціональні. Що такий розподіл студій між двома названими науковими дисциплінами є доволі умовний, на це вказує обставина, що в останньому часі значно розвинулась наука фізикальної хемії, яка займає між ними посереднє становище й служить лучником між обома тими природничими науками.

В образі існуючих у довкільній природі фізичних тіл ми сприймаємо матерію своїми органами чуття в її найрізномородніших формах і виявах. Ще донедавна класична наука вважала, що вага є тою загальною властивістю матерії, яка нам дає змогу її пізнати та й зміряти її масу. Згідно з сучасними науковими поглядами на матерію ця її властивість не є для неї виключно характеристичною: матерія може перетворитися в певну форму енергії, для якої вага не є властивістю чи мірилом її кількості. Первісно філософською думкою була та, що цілий світ складається з одного чи кількох певних родів чи сортів матерії, що їх від самого початку створила незмінними якась найвища сила. З бігом часу такі погляди зазнали великих змін аж нарешті еволюціонували вони до сучасного стану наукових

поглядів на матерію, її будову та перетворення одного роду на другий. Треба зазначити, що коли погляди стародавніх натур-філософів на склад матеріальних тіл, їх внутрішню будову й перетворення матерії були продуктом головно спекулятивної філософії без підтвердження їх глибшими студіями явищ природи й експериментальними доказами, то навпаки модерна наука основує свої погляди на цей предмет не тільки на вивченні суті дотичних природніх явищ, що відбуваються в природі спонтанно й що на них не впливає воля людини, але й на вислідах тих експериментів, що їх переводить сам дослідник відповідно до поставленої собі мети. При тому сучасний науковий дослідник у своїх студіях природніх явищ, користуючись індуктивною методою, приходить до певних загальних висновків після переведення своїх дослідів із приміненням часом незвичайно складних способів дослідження, що про них ще навіть не так давно в науці не було ані мови. Сучасні досягнення фізико-хемічної науки в ділянці вивчення будови матеріальних тіл та перетворення матерії, що їх здобуто у висліді примінення отих, з погляду методологічного й конструкційно-технічного, надзвичайно комплікованих дослідницьких способів, хочемо в аспекті минулого подати у нашому дальшому короткому нарисі.

Повищі загальні міркування вважали ми за потрібне висловити перед тим, ніж перейти до властивого предмету нашого викладу.

I.

НАУКА ПРО ЕЛЕМЕНТИ Й АТОМІСТИКА ЗА ЧАСІВ ДАВНІШИХ І НОВІТНІХ.

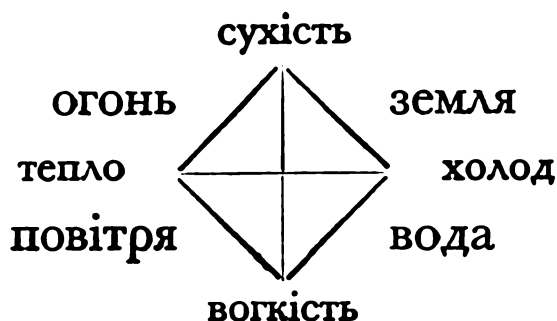
Природа оточила людину величезною кількістю різnorodних предметів, що їх вона наділила щедро й не скуплячись різними формами, виглядом і властивостями. Навпаки людський розум усе змагається знайти серед тої великої кількості й різnorodности щось спільне, якусь „праоснову“ чи „праматерію“, що з неї складаються реально існуючі в природі фізичні тіла. В стремлінні до упрощення цієї різnorodности виходиться з за-сади, що „de nihilo nihil“, тобто ніщо не може повстати з нічого й ніщо не пропадає та не ни-щиться, а все є сполученням чи переміщенням тільки того, що вже існувало раніше. З кількома провідними думками можна підходити до проблеми пізнання матерії та складу й будови фізичних тіл. Поперше, можна прийняти за аксіому, що всі пред-мети довкільної природи складаються з одної спільної для всіх них матерії, а різняться вони між собою тільки якостями, яких є взагалі об-межене число й які можна легко пізнати. В такому разі повстання різних тіл мало б бути вислідом різnorodних комбінацій різних якостей у сполу-ченні з неоднаковою інтенсивністю тої самої якості. Одже, наслідком зміни даної комбінації, що є характеристичною для певного тіла, пере-

твориться воно в якесь інше тіло. Подруге, можна прийняти, що та матерія, з якої творяться фізичні тіла, складається з багатьох первісних матерії чи елементів, при чому кожна така елементарна матерія має свої характеристичні для неї властивості й не може перетворитись на якусь іншу первісну матерію. В цьому разі фізичні тіла повставали б наслідком сполучення двох чи кількох таких матерії. Зрештою посередньою може бути така думка: ввесь матеріяльний світ створився з певної кількості елементарних тіл, що їх існування стверджується досвідом, але ці тіла своєю чергою є зложені з певних простіших часточок. Характер і кількість та спосіб злуки цих часточок визначають властивості тих елементарних тіл, що в своїх різних комбінаціях творять більш складні фізичні тіла. Так можна було б схематично назначити шлях, яким ішов людський інтелект у своєму стремлінні збагнути нелегку проблему будови матеріяльного світу.

Ще з передбіблійних часів збереглися деякі матеріяли, що з них можна довідатись про натур-філософію китайців. Відомо дещо й про старовинні погляди інших азійських народів. Але докладніше відомо про натур-філософію грецьких стародавніх мислителів із їхніх творів. Одже в цих останніх „прасуть“ матеріяльних тіл фігурувала під різними назвами, як „фізис“, „архе“, „пневма“. Талес (624—548 до Р. Х.) за таку прасуть уважав воду, Анаксимен (585—525) повітря. Геракліт, прозваний „Темним“ (535—475), дуже ясно розвинув думку про вічну зміну тіл („панта рей“ — все тече), при чому за універсальний принцип усього він уважав огонь: з нього все повстає і в ньому все

перетворюється. Так розв'язували проблему будови світу грецькі моністи. Натомість Емпедокл (490 рік народження й, точно невідомий, 430 чи 444 рік смерті) відкинув ідею про існування тільки одної якоїсь праматерії та вважав, що крім трьох праматерій, про які вчили його попередники, треба додати ще й четверту — землю. Таким чином Емпедокл став основоположником „тетрасомального“ вчення про склад матеріяльних тіл (чотири елементи: вода, повітря, огонь і земля). Варто на цьому місці підкреслити, що за Емпедоклом властивості всіх тіл залежать від пропорційної кількості достаточного елементу, чим він наближається до сучасного розуміння квантитативного складу тіл. На його думку кожен із цих чотирьох елементів є носієм певної якості (тепло, холод, вогкість і сухість). Всежтаки й Емпедокл був тої думки, що ці чотири елементи повстали з якоїсь первісної матерії, що її він називав „фізис“, а процес її перетворення носив у нього назву „метаболе“.

Вчення про чотири елементи ширше розгорнув Аристотель (384—322). На його думку первісна матерія, що її він називав „протил“, реально не існує: існування її є тільки потенціяльне, а тому вона, як така, не виявляється та лише служить якимсь субстратом для існування матеріяльного світу. Цей „протил“ є основою також і чотирьох елементів (земля, вода, огонь і повітря), що представляють собою чотири специфічні прості тіла, нерозкладні на дальші якісь складники. Ці чотири елементи є носіями чотирьох первісних якостей, а то двох активних (тепло й холод) та двох пасивних (сухість і вогкість), так що кожному елементові є властиві дві якості згідно з такою схемою:



Всі чотири елементи можуть взаємно перетворюватись, вимінюючи між собою первісні якості, як напр.:

$$\begin{array}{c}
 \text{ОГОНЬ} \qquad \qquad \text{ВОДА} \\
 \underbrace{\hspace{1.5cm}} + \underbrace{\hspace{1.5cm}} = \\
 \text{сухість і тепло} \quad \text{вогкість і холод} \\
 \\
 = \underbrace{\hspace{1.5cm}} + \underbrace{\hspace{1.5cm}} \\
 \text{повітря} \qquad \qquad \text{земля} \\
 \text{вогкість і тепло} \quad \text{сухість і холод}
 \end{array}$$

Із того виходить, що для перетворення взагалі одної форми матерії на другу треба лише знайти спосіб злучити докупи певну суму якостей, потрібних для утворення бажаної форми матерії й тим самим іншого фізичного тіла. Згодом Аристотель прийняв існування згаданого п'ятого елемента чи власне якогось надприроднього божеського етеру, що його він називав також „усія“ й що своїми властивостями різнився від усіх земних тіл та не підлягав ніякому перетворенню. Ця небесна субстанція мала бути тривалим моментом цілого всесвіту. Аристотелева наука про протил та чотири елементи й можливість перетворення фізичних тіл послужила метафізичною основою для пізніших алхіміків у їх змаганні за здобуття золота з менше цінного металу. При тому п'ятий елемент по-латині називано „quinta essentia“, або в скороченні „квінтессенція“, й їй приписувалася особлива роля при евентуальній трансмутації металів.

Інакше розумів матерію Левкип (жив у V ст. до Р. Х.) та його учень Демокрит (460—370). Виходячи з науки свого вчителя, цей останній розвивав думку, що весь світ складається з дріб-несеньких невидних оком часточок, що їх число є безмежно велике й що різняться між собою розміром та формою. Ці часточки між собою просторо-ро розділені й перебувають у стані постійного руху. Вони вічні й незмінні, а через їх злучення чи розлучення повстають різні тіла й відбуваються різні явища природи. Демокритове вчення розвивав далі Епікур (342—270), що був автором назви тих часточок: „атоми“ (від грецького „атомос“ — неподільний). Атомістичну науку популяризував пізніше в Римі поет Лукрецій Кар (99—55 до Р. Х.). Значно пізніше ця ідея атомізму у зміненій формі відродилася в новітній хемії.

Час приблизно від IV до XVI ст. в історії хемії носить назву „добі алхемії“. Практичним своїм завданням тодішні алхеміки мали здобуття штучного золота. Як уже вище було згадано, теоретичною підставою для них була наука Аристотеля, що її реформували алхеміки в тому напрямі, що за основу всіх речей уважали сірку, ртуть і сіль. При тому вони тут розуміли не реальні матерії, а тільки абстрактні принципи, які символізують певні властивості матерії. Одже, досягти бажаної мети, тобто здобути золото, можна було на думку алхеміків шляхом злучення властивостей золота (як гарна жовта барва, блискучість, кувальність і т. д.) за допомогою „каменя мудреців“. Цей таємничий „камінь мудреців“ мав, на думку „майстрів чорної маїї“, здібність злучати оті бажані ознаки до-купи, відбираючи їх від їхніх попередніх носіїв,

тобто різних інших тіл. Назагал беручи, алхіміки не внесли по суті нічого нового до класично-грецької натур-філософії щодо будови матерії та її трансформацій з одного роду на другий.

Наступна доба „лікарської хемії“ чи інакше „іatroхемії“, що обіймає час приблизно XVI—XVII ст., також не визначилася якимись новими ідеями в ділянці проблеми будови матерії. Як сам основоположник іatroхемії Парацельз (1493—1541), так і його послідовники були заняті головно питаннями практичного вжитку відомих їм хемічних злук у цілях медичних. Вони слідом за алхіміками визнавали реформовану натур-філософію Аристотеля, а три основні елементи, називані „*Paracelsi tria prima*“, розуміли не як реально існуючі фізичні тіла, тільки як „принципи“, й називали їх „філософськими“. Між цими елементами Парацельза й елементами Аристотеля мав бути, по їхній думці, такий внутрішній зв'язок: сірка мала бути сполукою огню й повітря, ртуть — повітря й води, а сіль — води й землі. Однак серед іatroхеміків були й такі, що висловлювали інші погляди. Так, фламандський учений іatroхемік ван-Гельмонт (1577—1644) надавав другорядне значення трьом Парацельзовим елементам та вважав за основні елементи воду й повітря. Він твердив, що при хемічних реакціях „матерія не тратить своєї ваги“ та тільки змінює свою форму, тобто виходить, що він уважав основні елементи за реально існуючі тіла. Він не поділяв поглядів колишніх натур-філософів на огонь, як один із основних елементів, та заперечував його матеріальну природу. Німецький дослідник-іatroхемік О. Тахеніус своїми працями (1666) доказав, що сіль не в ніяким

елементом, а є складним тілом, що утворюється через сполучення кислоти й лугу. До цієї доби відноситься поширення відомостей про склад поодиноких тіл, зокрема відносно кислот та лугів. Щодо кислот, то один із визначних іятрохіміків Сильвіус (1614—1672) вважав, що їх гострота й здібність пекти є наслідком приявности в них особливої „огневої“ матерії. В добі іятрохімії жили два прихильники атомістичної науки, а то німецький професор Д. Зеннерт (1572—1637) та французький вчений П. Гассенді (1592—1655). Обидва вони приймали існування атомів у розумінні Левкіппа-Демокрита.

Дальший період розвитку хемічної науки зв'язують із іменем англійського вченого Роберта Бойля (1627—1691), або точніше сказавши, початок цієї „доби флогістону“ відносять до появи в світ у 1661 році його трактату під назвою „The sceptical Chymist“. Хоч сформульовані в цій його книзі думки не появилися зовсім раптово, бо деякі його близькі попередники (як француз Рей та німець Юнгіус) висловлювали дуже подібні думки, але ж Роб. Бойль висловив їх значно ясніше й виразніше. Торкається це насамперед самого поняття „хемічний елемент“, що йому він дав таку дефініцію: за хемічні елементи треба вважати такі матеріальні тіла, що їх неможна розкласти на ще простіші роди матерії. Він рішуче скритикував аристотелівську й алхімістично-парацельзівську концепцію відносно якихось абстрактних носіїв певних якостей і властивостей та заявив, що за елементи треба вважати реально існуючі роди матерії, які можна доказати експериментально. Роб. Бойль дав властиво дефініцію хемічного еле-

менту,*) яка зберегла в суті речі своє значення й донині, не зважаючи на всі досягнення в науці за останній час. Він цілком ясно відрізняв хемічні злуки від елементарних тіл. У нього першого вродилася ідея хемічної атомової теорії. Роб. Бойль уважав, що матерії складаються з дрібненьких часточок (за його термінологією „корпускул“), які взаємно притягаються та творять злуки. Разом із тим він припускав, що корпускули складаються з одної „праматерії“ та різняться між собою розміром і формою. Тому він припускав також і можливість перетворення одного тіла на друге та здобуття штучного золота. Р. Бойль спостеріг, що при згоранні метал на вазі прибуває, однак пояснював це не оксидацією його, а лише тим, що він забирає тепло, якому приписував властивість мати вагу. Р. Бойль був дуже близький до відкриття хемічного елементу кисню, ствердивши згасання свічки в закритому просторі, але це явище він знов таки помилково пояснював тим, що при горінні до повітря просякає якась „летюча матерія“. Саме повітря не вважав він за чистий етер, а був це, на його думку, складний „агрегат різних еманцій“, що повстав із випарів поверхні землі й води та „субстанціональних еманцій“ небесних тіл.

Автором „флойстонної теорії“ був молодший сучасник Роб. Бойля, німецький лікар-хемік Г. Е. Шталь (1660—1734). Теорія ця полягала в тому,

*) Ми вживали й далі будемо вживати термін „хемічний елемент“, а не „хемічний первень“, бо вважаємо цей в українській науковій літературі не надто давній витвір — „первень“ за цілком зайвий. Уважаємо краще вживати не цей „національний“, а міжнародньо-науковий термін, прийнятий у мовах переважної більшості культурних націй.

що припускалося існування особливої летючої матерії, яка знаходиться у злучі з усіма горючими тілами. Ця особлива матерія носила назву „флорістон“, а процес горіння, згл. оксидації, згідно з поглядами флорістоністів мав полягати в тому, що при згоранні і взагалі при оксидації якогось тіла мало б воно втрачувати флорістон (тобто його вага мала б зменшуватись!), і навпаки, при редукції дотичне тіло мало б знов його до себе прилучати (тобто його вага мала б збільшуватись!). Хоч теорія флорістону явно колідувала з відомими вже тоді фактами, зокрема зі спостереженнями Роб. Бойля, але вона всетаки досить довго вважалась за правдиву й мала своїх гарячих оборонців серед тодішніх визначних хеміків, як Кевендиш (1731—1810), Прістлей (1733—1804) та Шееле (1742—1786). Це може здаватися тим більше дивним, що якраз два останні дослідники відкрили (1771—1774) хемічний елемент кисень, який власне, сполучаючись із певним тілом, спричиняє його оксидацію чи горіння. Своім відкриттям названі вчені найбільше прислужились до повалення флорістонної теорії, що її прихильниками були вони самі, але це сталося не їхньою заслугою. Висловлені Роб. Бойлем ідеї, треба сказати, назагал не знайшли глибшого розуміння серед його сучасників. Однак творець теорії флорістону Шталь був прихильником Бойлевого розуміння елементів (за тодішньою термінологією „принципів“) та вважав, що хемічні елементи або принципи це є такі своєрідні тіла, що з їх сполучення між собою чи з флорістоном повстали всі роди матеріальних тіл. На цей час припадає відкриття Кевендишем (1766) водню та ствердження складного характеру води, що її

синтетично з двох обсягів водню й одного обсягу кисню добув той же Кевендиш (1781), а потім він же (1783) перевів аналізу повітря і ствердив його склад (28,8 % кисню й 79,2 % азоту). Все це було підготовкою до нової доби в історії хемічної науки, що її початок нав'язують звичайно до праць французького хеміка Лявуазьє (1743—1794), якого вважається за основоположника модерної хемії.

У працях з історії розвитку фізико-хемічних наук майже зовсім не згадується імені російського вченого М. В. Ломоносова (рік його народження точно невідомий: 1711 чи 1712; помер 1765 р.), хоч це був дуже визначний учений, який своїми дослідками й науковими концепціями часово значно випередив західньо-європейських учених. Не спиняючись на докладнішій характеристиці наукової чинности Ломоносова, зазначимо тут тільки, що в його працях знаходимо ясно висловлену думку про атомічну структуру матерії, як також і кінетику газових тіл. Він відкидав матеріальність тепла та пояснював його рухом невидимих часточок матерії. Він значно раніше за інших дослідників почав переводити квантитативну аналізу й при тому прийшов до зрозуміння закону збереження матерії. Ломоносов скритикував погляд Р. Бойля на суть процесу горіння й оксидації та ствердив, що це є наслідок сполучення дотичного тіла з „важкими частинами воздуха“. Таким чином Ломоносов на основі переведених дослідів значно раніше прийшов до тих висновків, до яких майже чверть століття пізніше прийшов загально признаний основоположник сучасної хемії. Одначе його праці лишалися дуже довгий час майже цілком невідомими не тільки західньо-європейським ученим, але й са-

мим росіянам, які свого великого вченого „відкрили“ приблизно 150 літ після його смерти.

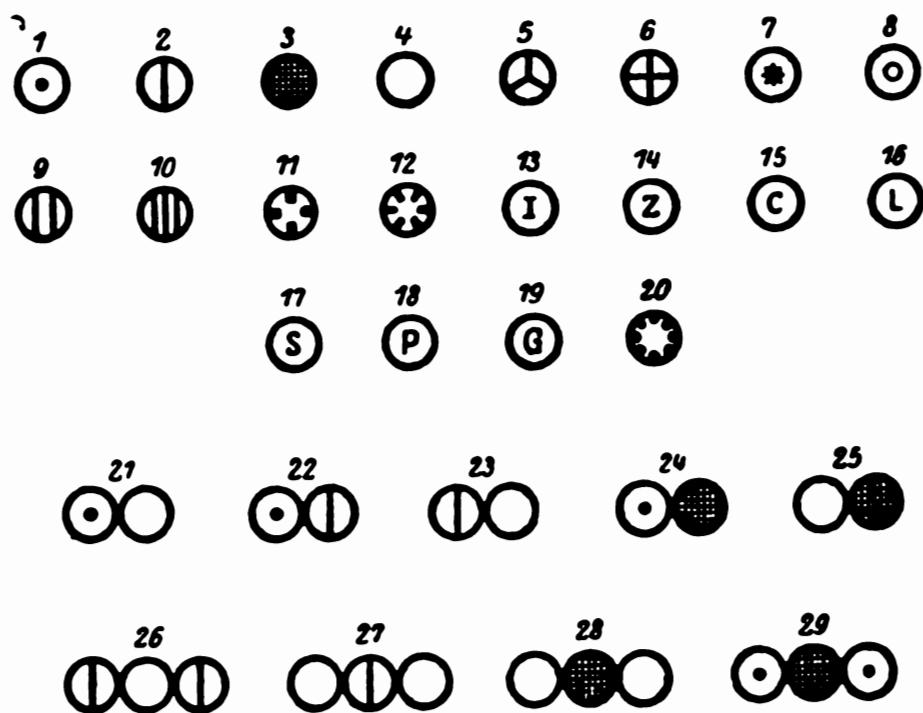
Лявуазьє спочатку поділяв погляди своєї доби, але пізніше виступив противником флогістонної теорії Штала, відкидаючи існування флогістону. У своїй антифлогістонічній системі він пояснював явище горіння як сполучення з киснем та цілковито розбив ідею про елемент „огню“. Також відповідними досвідами він доказав, що вода зовсім не перетворюється на землю. Лявуазьє розумів хемічні елементи так, як це визначив був давніше Роб. Бойль. У своєму класичному підручнику хемії п. н. „*Traité élémentaire de chimie*“, що появився в 1789 році, він перечеисляє 33 елементи, в тому також світло й тепло, три „радикили“ кислот (соляної, флюоридної й борової) та п'ять оксидів (вапно, магнезія, барит, глина, кремінь). Із цього ясно видно, що Лявуазьє стояв під впливом старих поглядів на світло й тепло, вважаючи їх за окремі реально існуючі „принципи“. А щодо „радикалів“ кислот та оксидів, які він також уважав за елементи, то тут треба взяти під увагу те, що він писав у своєму щойно названому творі: „Ми не можемо бути певні того, що те, що ми сьогодні вважаємо за просте тіло, є дійсно простим; все, що ми можемо сказати, це те, що дане тіло є останнім продуктом, до якого прийшла хемічна аналіза, і що за сучасного знання ми його далі розкласти не можемо“. Дуже можливо, що навіть і сам Лявуазьє дальшою своєю дослідницькою роботою ствердив би помилковість своїх поглядів щодо елементарного характеру оксидів п'ятьох хемічних елементів та змінив би й свої погляди на суть світла й тепла, коли б він трагічно не згинув передчасно за бурх-

ливих часів т. зв. великої французької революції. В кожному разі можна ствердити, що на самому початку доби модерної хемічної науки було ясно визначено поняття хемічного елементу, а тим самим визначено було різницю між хемічно-простим і хемічно-складним фізичним тілом. Цим зроблено було великий крок наперед по шляху пізнання таємниці тонкої структури матерії.

Поруч із працями, що торкалися висвітлення проблеми існування чи неіснування флюїстону та хемічних елементів, провадилось також дослідження складу різних тіл. Ще в другій половині XVIII ст. спочатку француз Морво (1737—1816), а потім німець Ріхтер (1762—1807) ствердили сталий склад дотичної солі при злучі кислоти й луку. Питання про сталість чи несталість хемічно-складних тіл остаточно вияснено було за дискусії між двома французькими визначними хеміками, що тяглась вісім років, почавшись у 1799 році. Перший із них славнозвісний Бертоле (1748—1822) довго обстоював думку, що один якийсь елемент може злучатись із різною в певних межах довільною кількістю другого елементу, тобто хемічно складне тіло не мусіло б мати сталий склад. Навпаки Пруст (1754—1826) доказував, що хемічно-складні тіла мають все однаковий склад, а коли якийсь елемент творить кілька злук із іншим елементом, то в такому разі кількість другого елементу в різних злучках збільшується не позвольна в неозначеній пропорції, тільки певним цілком означеним наскоком. Перемога була по стороні Пруста, що й признав лояльно сам Бертоле, тодішній великий науковий авторитет. Тим було стверджено закон постійних пропорцій у складі хемічно-складних фізичних тіл.

Того самого часу провадив свої досліді професор Менчестерського університету в Англії Джон Дальтон (1766—1844). При тому він, досліджуючи сполучення вуглю з воднем, ствердив, що вугіль дає з воднем дві злуки, а різні кількості водню, які сполучаються з тою самою кількістю вуглю, стоять між собою у відношенні 2 : 1. Такі самі прості відношення ствердив теж і в інших випадках, коли хемічно-прості тіла, сполучаючись між собою, утворюють два чи більше різних тіл. Таким чином був відкритий закон кратних відношень вагових кількостей у хемічно-складних тілах. Для з'ясування дотепер відомих фактів та й щойно згаданих законів постійности й кратности вагових відношень, Дальтон висунув атомічну теорію будови матерії. Хоч сама ідея атомізму, як ми вже бачили, не була цілком новою, але та інтерпретація, яку їй надав Дальтон, була оригінальна. Згідно з Дальтоновою атомічною теорією хемічно-просте тіло складається з атомів, що є найдрібнішими часточками цього тіла, які мають всі його властивості. Родів чи сортів атомів є стільки, скільки є хемічних елементів. Хемічні процеси полягають у тому, що атоми різних елементів злучаються між собою або навпаки розлучаються, при чому один атом якогось хемічного елементу може злучитись із одним чи двома або й більшим числом атомів другого елементу. Так повстають найдрібніші часточки хемічно-складного тіла, що їх пізніше названо було молекулами. Тим пояснюється з одного боку постійність складу тіл і з другого боку — кратність відношень їх складників, бо ж з одним атомом може злучитись якесь ціле число атомів інших, а не $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ чи взагалі неціле число

їх. Вагові кількості різних елементів, що злучаються з ваговою одиницею котрогось елементу (звичайно водню, як найлегшого) й евентуально також між собою, сам Дальтон називав атомовою вагою, але потім дано їм назву еквівалентів, що її автором був Волластон (1814). Всі атоми якогось хемічного елементу є між собою цілком подібними, як також і молекули хемічно-складних тіл. По думці Дальтона атоми мусять мати форму дрібненьких кульочок. Вони існують як реальні мате-



Атоми: 1 — водень, 2 — азот, 3 — вугіль, 4 — кисень, 5 — фосфор, 6 — сірка, 7 — магnezій, 8 — кальцій, 9 — натрій, 10 — калій, 11 — стронцій, 12 — барій, 13 — залізо, 14 — цинк, 15 — мідь, 16 — оливо, 17 — срібло, 18 — п'ятина, 19 — золото, 20 — ртуть.

Молекули: 21 — вода, 22 — амоніак, 23, 26 і 27 — злуки кисню з азотом, 24 і 29 — злуки водню з вуглем, 25 — оксид вугля, 28 — діоксид вугля.

різальні часточки й мають певну вагу. Для означення відомих тоді хемічних елементів Дальтон уживав певні графічні знаки, а хемічно-складні тіла означав відповідними комбінаціями тих знаків, як це бачимо на наведеній (ст. 29) таблиці.

Тому, що визначити абсолютну вагу атомів не представлялося можливим, Дальтон визначав їх релятивну вагу, взявши за одиницю атомову вагу водню. При умові, що 1 атом водню злучається з 1 атомом іншого елементу, відношення між ваговими кількостями цих елементів при злучі буде теж відношенням між вагою їхніх атомів. Подібні міркування відносяться також і до випадків, коли злуча відбувається між 1 атомом якогось елементу та двома чи кількома атомами іншого елементу. Дальтон, як це видно з вищенаведених формул, уявляв собі склад деяких тіл (напр. води, амоніяку чи ін.) інакше, ніж ми його знаємо тепер, тому подані ним атомові ваги різних хемічних елементів є власне їх еквівалентами, а не атомовими вагами. Взагалі ж через недосконалість способів дослідження визначення їх було дуже неточне. Для порівняння нижче наведемо деякі визначені Дальтоном атомові ваги й теперішні, при чому ці останні подаємо лише з точністю до 0,01 й віднесені до ат. в. кисню 16.*)

*) Коли прийняти атом. вагу водню за 1, то в такому раз атом. вага кисню визначалася б числом 15,96. Але з огляду на те, що кисень сполучається з переважною більшістю хемічних елементів і таким чином всякі обчислення зручніше робити відносно нього, то рішено було вважати атом. вагу кисню за рівних 16 одиниць. Тоді атом. вага водню визначається числом 1,00778.

Назва елементу:	Ат. в. за Дальтоном:	Ат. в. прийн. тепер:
водень	1	1,01
кисень	7	16,00
вугіль	6	12,01
азот	5	14,01
фосфор	9	31,02
сірка	13	32,06
залізо	38	55,84
мідь	56	63,57
оливо	95	207,21
срібло	100	107,88
золото	140	197,20

Із наведених значень атомової ваги кількох більше знаних хемічних елементів видно, як далеко був Дальтон від правильного визначення їх. Не зважаючи на це, його теорія атомічної будови матерії послужила підвалиною для дальших студій хемічної науки, що увінчалися незабаром великими успіхами. Тому його по заслугі вважається основоположником модернього атомізму. Теорію Дальтона вперше систематично виловив у своїй книжці його приятель Т. Томсон (1807), а потім і сам Дальтон розгорнув її в своєму творі „New System of Chemical Philosophie“, що появилася в світ у 1808—1827 р.р.

Як бачимо, Дальтонові атомові ваги визначені всі цілими числами. Було це не тільки наслідком недосконалости приладів, але головню тому, що числа просто заокруглювалося. В кожному разі подані Дальтоном значення атомових ваг уважалося за правильні, й це дало підставу англійському вченому лікареві Праутові (1785—1850) виступити

зо своєю гіпотезою (1815), згідно з якою водень мав бути „праматерією“, що з неї складаються всі інші хемічно-прості тіла. Ця гіпотеза знайшла була чимало прихильників і гарячих оборонців, у тому також її обстоював і вищезгаданий Дальтонів приятель Томсон. Одначе дуже скептично поставився до неї тодішній визначний учений хемік швед Берцеліус (1779—1848). Він надзвичайно старанно визначив атомові ваги знаних тоді хемічних елементів та безсумнівно ствердив, що більшість їх визначається числами з дробом. Тим самим, отже, було стверджено, що водень не може бути „праматерією“ всіх інших елементів, бож атом водню, вага якого є 1, мав би в такому разі входити до складу іншого атому хіба тільки своєю частиною, а це суперечило самій засаді атомічної теорії. Одначе ідея Праута ще продовжувала жити аж поки її не збили своїми працями Маріняк (1817—1897) та його сучасник Стас (1813—1891), при чому цей останній своїми працями в шістдесятих роках ХІХ. ст. досяг незвичайної точности у визначенні атомових ваг. Так була похована Праутова гіпотеза відносно водню, як тої основної матерії, з якої складаються всі інші хемічні елементи, а тим самим і цілий матеріальний світ. Але вона, подібно до стародавньої атомічної гіпотези про будову матерії, також воскресла згодом у відновленому вигляді. Про це мова буде далі.

На цьому місці зауважимо, що довгий час не існувало якогось одного способу означення хемічних елементів. За часів алхемії їх означали символічно образами різних предметів. Потім були це різні графічні фігури. Але все це було надто незадовольняюче, так що треба було завести систему

більш раціональну. Одже Берцеліус запропонував (1814) означати хемічні елементи першими літерами назви їх у латинській, згл. грецькій, мові з тим, що це означення треба було розуміти як символ, що в ньому характеризуються властивості дотичного елементу, в тому також і його атомова вага. Молекула хемічно-складного тіла означається символами тих елементів, що входять до її складу, а індекс коло символу означає число атомів дотичного елементу в даній молекулі. Хемічні реакції означаються відповідними рівняннями, що дають образ взаємовідношення між реагуючими складниками. Ця система вживається й тепер.

II.

МОЛЕКУЛИ І ЇХ СКЛАД. РЕЛЯТИВНА ВАГА МОЛЕКУЛ І АТОМІВ. СТРУКТУРНІ ФОРМИ МОЛЕКУЛ.

Для визначення релятивної атомової ваги треба насамперед знати пропорційне відношення складників якогось хемічно-складного тіла, а потім треба знати число атомів кожного елементу, що складають молекулу того тіла. Якщо аналізою порівнюючи легко можна ствердити пропорцію складників, то не дасться безпосередньою аналізою ствердити кількість атомів поодиноких хемічних елементів у молекулі. А це є власне рішальним при визначенні атомової ваги. Якщо, напр., вагове відношення між складниками води киснем і воднем є $8 : 1$, а при тому молекула води складається з 1 ато-

ма кисню й 1 атома водню, як то думав Дальтон, то в такому разі атомова вага кисню є 8 (за неточним визначенням Дальтона 7). Але ж, коли припустити, що молекула води складається з 2 водневих атомів і 1 кисневого або навпаки з 1 водневого й 2 кисневих, тоді в першому випадку атом. вага кисню мала б бути 16, а в другому випадку всього тільки 4. Така сама проблема виникає і в багатьох інших випадках. Знаючи атомові ваги хоч кількох головніших хемічних елементів, можна вже визначити й атомові ваги дальших, досліджуючи склад різних хемічно-складних тіл та складаючи цілу низку пропорційних відношень між злуками елементів із відомою атом. вагою й тими, яких атом. вагу треба визначити. Але зрештою все приходить питання про склад молекули. Не можемо ми зупинятися над докладнішим висвітленням різних метод, якими користується наука для розв'язання цього питання, а лише скажемо, що тут на поміч хемії приходять інші сусідні науки. Нижче в коротких словах пригадаєм деякі твердження й виводи тих наук, що в значній мірі улегшили хемікам розв'язання цієї складної проблеми.

Ще в 1662 році згадуваний вже вище англійський дослідник Бойль і незалежно від нього п'ятнадцять років пізніше французький фізик Е. Маріотт (1620—1684) ствердили, що, при збільшенні тиску, обсяг газів за незмінної температури зменшується й при тому зменшення обсягу стоїть у зворотній пропорційності до зовнішнього тиску. Це є відомий у фізиці закон, що його математично формулюють так:

$$V : V_0 = P_0 : P \quad \text{або} \quad VP = V_0 P_0$$

де P і P_0 є різні тиски, а V і V_0 відповідні до них обсяги газу.

Пізніше (1810) французький дослідник Гей-Люссак (1778—1850) ствердив, що за незмінного тиску обсяг газу збільшується просто пропорційно до підвищення температури, при чому кожному підвищенню температури на 1°C відповідає збільшення обсягу газу на $\frac{1}{273}$ дотеперішнього обсягу. Це є коефіцієнт розширення, що його означають α . Коли означити початковий обсяг газу V_0 , збільшений V і температуру t , то маємо:

$$V = V_0 (1 + \alpha t) \quad \text{або} \quad V_0 = \frac{V}{(1 + \alpha t)}$$

Якщо T означити абсолютну температуру, числячи її від абсолютного 0° , тобто від -273°C , то $T = 273 + t$. Із обох попередніх законів виводять тоді загальний газовий закон:

$$V \cdot P = V_0 P_0 \cdot \frac{T}{273} \quad \text{або, коли} \quad \frac{V_0 P_0}{273} \quad \text{означити} \quad R,$$

$$VP = RT$$

де R є константа, якої значення є 82,06 кб. цм. Закон цей неможна вважати за абсолютний, але він у кожному разі добре відповідає явищам збільшення чи зменшення обсягу газу в залежності від зміни тиску й температури в межах прийнятних до 10 атмосфер тиску. Дальші студії привели Гей-Люссака до наступних висновків:

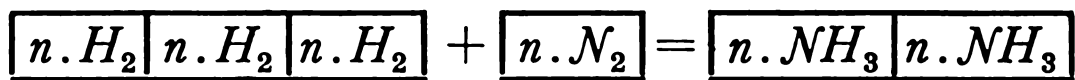
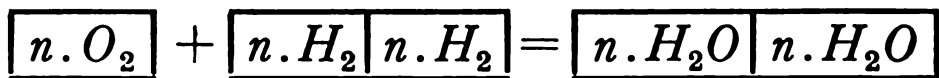
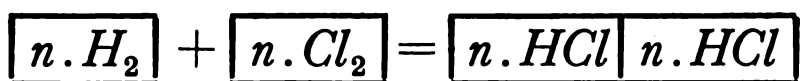
1. Коли фізичні тіла реагують між собою, утворюючи шляхом злуки інше тіло, то кількості реагуючих тіл у газовому стані за однакових умов

тиску й температури мають обсяги або рівні або такі, що знаходяться між собою в простих відношеннях, тобто ці обсяги відносяться між собою як $1 : 1$, $1 : 2$, $1 : 3$, $2 : 3$ і т. д.

2. Обсяг тіла, що повстає наслідком злуки, знаходиться у простому відношенні до обсягів реагуючих тіл за однакових умов температурних і тиску, одже це відношення може бути, напр., $2 : 1 : 1$, $2 : 1 : 2$, $2 : 1 : 3$ і т. д.

Аналізуючи ці закони, італійський фізик Авогадро (1776—1856) прийшов до висновку, що це явище треба пояснити тим, що за однакових умов температури й тиску в однакових обсягах газів знаходиться однакова кількість молекул. У своєму творі, що появився в 1811 році, він отже писав, що „ціла молекула води складається очевидно з півмолекули кисню й цілої молекули водню“. Авогадрова гіпотеза знайшла була підтримку з боку французького фізика Ампера (1775—1836), а остаточно ця думка закріпилася в науці завдяки працям також французького вченого Жерара (1816—1856). Дальші дослідження показали, що в природі переважаюча більшість хемічних елементів складається не з окремих атомів, а з молекул, які складаються з двох чи навіть значно більшого числа атомів. Беручи все це під увагу, можемо сказати, що при утворенні соляної кислоти з водню (H) й хлору (Cl) кожна молекула обох цих хемічних елементів (H_2) і (Cl_2) розщеплюється на два атоми, які потім між собою злучаються й утворюють молекулу соляної кислоти (HCl). Таксамо при утворенні води (H_2O) розщеплюється молекула кисню (O_2) на два атоми, з яких кожен злучається з двома атомами водню, а при утворенні з водню й азоту

(N) злуки, що називається амоняком (NH_3), кожна молекула водню (H_2) й азоту (N_2) розщеплюється на два атоми, а потім один атом азоту злучається з трьома атомами водню. При утворенні соляної кислоти два однакові обсяги водневого й хлорового газу дають два обсяги соляної кислоти. Як ми вже згадували вище, з двох обсягів водню й одного обсягу кисню утворюються два обсяги води. Один обсяг азоту і три обсяги водню дають два обсяги амоняку. Графічно це можна представити так:



Фізичні тіла, що по своєму складу є хемічно-простими, але коли їх молекули складаються з різного числа атомів, виступають як алотропічні тіла, як напр., звичайний кисень (O_2) та озон (O_3), або вугіль, графіт і діамант, які є тільки різними відмінками того самого хемічного елементу (C). Атоми деяких елементів не злучаються до пари і не творять дво- чи більшеатомових молекул. До таких належать, напр., метали (як золото, срібло й ін.) та т. зв. інертні гази (гелій, неон, аргон, криптон, ксенон). В цьому разі в певному обсязі знаходиться стільки атомів таких елементів, скільки молекул іншого газу буде в такому самому обсязі за однакових умов температури й тиску. Фізико-хемічна наука знає способи визначення числа

атомів у молекулі. Кількість грамів якогось фізичного тіла, що є рівною його молекулярній вазі, носить назву молекулярної кількості або грам-молекули; кількість його в грамах, що відповідає його атомовій вазі, називається грам-атомом. У стані газу при 0°C й нормальному тиску (760 мм. ртутного стовпчика) молекулярна кількість (згл. атомова) фізичних тіл займає обсяг 22,4 літри. Число, що показує, наскільки даний обсяг одного тіла важчий за такий самий обсяг другого, є його специфічною вагою. Одже, це число показує також, наскільки молекула першого важча за молекулу другого. Якщо визначену відносно водню специфічну вагу якогось газу означимо D , його молекулярну вагу M і молекулярну вагу водню M_{H} , то можемо написати таке рівняння: $M = M_{\text{H}} D$. А тому, що молекула водню важить 2 водневих одиниці то це значить, що молекулярну вагу кожного тіла в цих одиницях знаходимо на основі формули:

$$M = 2 D.$$

Автором цієї формули є італійський вчений Канніццаро (1826—1910), що в 1860 році на з'їзді хеміків у Німеччині доказав право пріоритету свого земляка Авогадро щодо вгорі згаданої гіпотези, яку відтоді вважається за думку, згідну з об'єктивною правдою.

Повищі міркування відносяться до фізичних тіл у газовому стані. Одначе є такі тіла, що їх трудно перевести в стан газу. В такому разі їх досліджується в стані розчину. Розчини бувають такі, що переводять електричність, і такі, що її не

переводять. Тіла, що їх розчин електричність переводить (напр., кухонна сіль чи сода), є електроліти, а інші — неелектроліти (напр., цукор чи алькоголь). Концентрацією розчину називаємо кількість дотичного тіла, розчиненого в даному обсязі розчинника. Якщо в даному обсязі розчинника за однакових умов розчиняється вагова кількість тіл пропорційно до їх молекулярної ваги, то це будуть розчини еквімолекулярні, а розчином молекулярним є такий, коли в 1 літрі розчинено кількість грамів якогось тіла, рівну тому числу, яке означає його молекулярну вагу, тобто грам-молекула.

Ще співробітник згадуваного вище Кевендиша Блейден (1748—1820) заважив, що розчини взагалі замерзають при температурі нижчій, ніж чиста вода. Славнозвісний англійський фізик Фарадей (1791—1867), а за ним також і інші, спостеріг, що пружність пари розчинів солей є менша за пружність пари води, тобто розчин кипить при температурі вищій, ніж вода. Французький хемік Рауль (1830—1901) перевів багато дослідів та ствердив (1884), що ступінь зниження точки замерзання й звищення точки кипіння, що їх зпричинюють різні розпущені в тому самому розчиннику тіла, є поперше просто пропорційний до концентрації дотичного тіла, а подруге просто пропорційний до молекулярної ваги різних тіл. Це значить, що еквімолекулярні розчини виказують однакові ступені зниження точки замерзання (зглядно підвищення точки кипіння) і навпаки, коли стверджується однакові ступені зниження (згл. підвищення), то тим самим стверджується еквімолекулярність розчинів. Таким чином, порівнюючи

зниження чи підвищення розчину тіла наперед відомого молекулярного складу зі зниженням; чи підвищенням розчину тіла, якого молекулярну вагу бажано знайти, можна величину цієї ваги ствердити.

З другого боку переводилося вивчення т. зв. осмотичного тиску, що його відкрив (1748) французький дослідник Нолле.*) Дослідження осмотичного тиску докладно переводив також і німецький відомий ботанік Пфеффер, який замість дотепер уживаної перетинки тваринної став примінювати винайдену ним штучну перетинку (із залізо-ціянової міді). У висліді своїх студій він ствердив (1887), що осмотичний тиск зростає просто пропорційно до концентрації розчинів. Слідом за тим славний голандський фізико-хімік ван'т-Гоф (1852—1911), нав'язуючи на досліди свого земляка теж славного ботаніка де-Вріса, зробив (1885) дуже важливе відкриття, а саме таке, що розчини слабої концентрації виявляють повну аналогію з газами та підлягають законам Бойля-Маріотта й Гей-Люссака. Встановлений ван'т-Гофом закон говорить, що розчинені хімічні злуки у формі осмотичного тиску виявляють такий самий тиск, який вони виявили б у газовому стані при стисненні їх за такої самої температури до обсягу рівного обсягові розчину.

*) Явище осмосу полягає в тому, що через певну перетинку може просочуватись вода, але не проходить через таку перетинку розчинене тіло (напр., цукор). Тому, коли маємо дві посудини, розділені такою перетинкою, при чому в одній із них буде вода, а в другій розчин того тіла, то вода буде просочуватись до посудини з розчином, де буде зростати тиск, який дасться зміряти манометром.

Основуючись на вищезгаданих дослідах, німецький вчений Бекман (1853—1923), випрацював кріоскопічну й ембуліоскопічну методи визначення молекулярної ваги хемічних злук. Для цього служить така загальна формула:

$$M = K \cdot \frac{g \cdot 100}{e \cdot G}$$

де M означає молекулярну вагу, K — молекулярне підвищення (чи пониження) дотичного розчинника, g — взяту вагу досліджуваного тіла, G — вагу даного обсягу розчинника та e — різницю температур кипіння (чи замерзання) самого розчинника й даного розчину. Величину K знаходиться емпірично для кожного окремого розчинника. При тому зауважимо, що ці методи визначення молекулярної ваги стали у великій пригоді при дослідах у ділянці органічної хемії, що до неї відноситься величезна кількість злук хемічного елементу вуглю (C), бо ці злуки є неелектроліти. Щождо електролітів, то вони виказують значні відхилення від нормалі наслідком явища електролітичної дисоціації. Про це мова буде у нас далі, а тепер тільки зауважимо, що ці відхилення пояснюються тим, що в розчинах, напр. солей, їх складники розлучаються (дисоціюють), наслідком чого в даному обсязі може появись навіть два рази більше число окремих часточок, які збільшують тиск і тим самим впливають на підвищення точки кипіння чи пониження точки замерзання.

Зупинимось тут ще коротко над одним помічним способом визначення атомової ваги хемічних злук, які є в стані твердому. Одже, в 1819 році два

французькі дослідники Дюлонг (1785—1838) і Пті (1791—1820), досліджуючи специфічне тепло деяких елементів, зокрема металів, ствердили, що це тепло стоїть у зворотній пропорції до атомової ваги, так що здобуток із чисел, які означають атомову вагу дотичного елементу і його специфічне тепло, є однакове число. Це в т. зв. атомове тепло. Коли означити атомову вагу A , специфічне тепло Q , то $A \times Q = K$, при чому це K є 6,4. Таким чином атомова вага знаходиться з формули:

$$A = \frac{6,4}{Q}$$

Докладніші досліди показали, що це правило Дюлонга і Пті не охоплює всіх явищ цього порядку та має чимало виїмків. Однак назагал воно може служити, і дійсно послужило, добрим помічним засобом до встановлення атомової ваги елементів, даючи дослідникові бодай орієнтаційного характеру вказівки щодо величини досліджуваної атомової ваги. Ще в 1831 році німецький фізик Нойман висловив таке правило: здобуток із специфічного тепла та молекулярної ваги, у подібних між собою щодо хемічного складу тіл, є величина приблизно однакова. Потім (1844) англієць Джауль ствердив, що молекулярне тепло певних злук є приблизно рівне сумі атомового тепла їх складників. Зрештою німецький фізик Копп спрецизував (1865) це так: кожен елемент задержує у злучі те саме атомове тепло, яке він має у вільному стані. В деяких випадках це правило виявляється дуже точно, в інших же знов спостерігаються ухилки від нього. Як наприклад, що це правило може справді бути

дуже придатним, вкажемо на йодид калію, якого молекула складається з одного атома йоду (ат. в. 126,92) й одного атома калію (ат. в. 39,10), Його спец. тепло є 0,0819, а значить його молекулярне тепло є $0,0819 \times (127 + 39)$, тобто 13,6. Атом. тепло йоду є 6,8 й атом. тепло калію є 6,5, тобто разом 13,3. Одже теоретично обчислена й експериментально знайдена величини молек. тепла в цьому випадку зовсім добре згоджується. У деяких випадках атом. тепло відхиляється від пересічного значення 6,4 але при вищій температурі до нього наближується.

Зрештою згадаємо ще одно фізичне явище, що також може служити орієнтаційно для ствердження молекулярного складу хемічно-складного тіла й визначення атомової ваги певного елементу. Це явище, що його в 1819 році об'явив німецький дослідник Мітчерліх (1794—1863), носить назву ізо-морфізм, а полягає воно в тому, що тіла аналогічного хемічного складу утворюють кристали однакової форми. Спочатку явище це Мітчерліх ствердив щодо фосфатової (H_3PO_4) й арсенатової (H_3AsO_4) кислот, але потім воно було potwierджено й на інших прикладах. Тут також неможна говорити про якийсь закон, бо з одного боку не всі аналогічного складу тіла творять однакової форми кристали, а з другого боку зовсім різного складу тіла кристалізуються в однакових формах (як напр., кухонна сіль і оливо творять кристали кубічної форми). Зрештою елемент (як сірка) може являтись у різній крист. формі: явище поліморфізму. Одначе аналогічного складу тіла, коли вони творять однакової форми кристали, можуть творити й мішані кристали, заступаючи одне одного, між тим

Таблиця хемічних елементів

із зазначенням їх назви (за абеткою), чергового числа в натуральній системі елементів, уживаного символу та атомової ваги.

Назва елементів	Чер. чис.	Сим- вол	Атомова вага	Назва елементів	Чер. чис.	Сим- вол	Атомова вага
Азот	7	<i>N</i>	14,008	Йод	53	<i>I</i>	126,92
Актиній	89	<i>Ac</i>	227	Кадмій	48	<i>Cd</i>	112,41
Алабамій	85	<i>Ab</i>	?	Калій	19	<i>K</i>	39,096
Алюміній	13	<i>Al</i>	26,97	Кальцій	20	<i>Ca</i>	40,08
Антимон	51	<i>Sb</i>	121,76	Кисень	8	<i>O</i>	16,000
Аргон	18	<i>Ar</i>	39,944	Кобальт	27	<i>Co</i>	58,94
Арсен	33	<i>As</i>	74,91	Криптон	36	<i>Kr</i>	83,7
Барій	56	<i>Ba</i>	137,36	Ксенон	54	<i>X</i>	131,3
Берилій	4	<i>Be</i>	9,02	Лантан	57	<i>La</i>	138,92
Бісмут	83	<i>Bi</i>	209,00	Літій	3	<i>Li</i>	6,940
Бор	5	<i>B</i>	10,82	Лютецій	71	<i>Lu</i>	175,0
Бром	35	<i>Br</i>	79,916	Магnezій	12	<i>Mg</i>	24,32
Ванадій	23	<i>V</i>	50,95	Мазурій	43	<i>Ma</i>	?
Віргіній	87	<i>Vg</i>	?	Манган	25	<i>Mn</i>	54,93
Водень	1	<i>H</i>	1,008	Мідь	29	<i>Cu</i>	63,57
Вольфрам	74	<i>W</i>	183,92	Молібден	42	<i>Mo</i>	95,95
Гафній	72	<i>Hf</i>	178,6	Натрій	11	<i>Na</i>	22,997
Гелій	2	<i>He</i>	4,003	Неодим	60	<i>Nd</i>	144,27
Гольмій	67	<i>Ho</i>	163,5	Неон	10	<i>Ne</i>	20,183
Гадоліній	64	<i>Gd</i>	156,9	Нікель	28	<i>Ni</i>	58,69
Галій	31	<i>Ga</i>	69,72	Ніобій	41	<i>Nb</i>	92,91
Германій	32	<i>Ge</i>	72,60	Оливо	82	<i>Pb</i>	207,21
Диспрозій	66	<i>Dy</i>	162,46	Осмій	76	<i>Os</i>	190,2
Европій	63	<i>Eu</i>	152,0	Паладій	46	<i>Pd</i>	106,7
Ербій	68	<i>Er</i>	167,2	Плутинна	78	<i>Pt</i>	195,23
Залізо	26	<i>Fe</i>	55,84	Полоній	84	<i>Po</i>	210
Золото	79	<i>Au</i>	197,2	Празеодимій	59	<i>Pr</i>	140,92
Ілліній	61	<i>Il</i>	?	Протоактиній	91	<i>Pa</i>	210
Індій	49	<i>In</i>	114,76	Радій	88	<i>Ra</i>	226,05
Іридій	77	<i>Ir</i>	193,1	Радон	86	<i>Rd</i>	222
Ітербій	70	<i>Yb</i>	173,04	Реній	75	<i>Re</i>	186,31
Ітрій	39	<i>Y</i>	88,92	Родій	45	<i>Rh</i>	102,91

Назва елементів	Чер. чис.	Сим- вол	Атомова вага	Назва елементів	Чер. чис.	Сим- вол	Атомова вага
Ртуть	80	<i>Hg</i>	200,61	Титан	22	<i>Ti</i>	47,90
Рубідій	37	<i>Rb</i>	85,48	Торій	90	<i>Th</i>	232,12
Рутеній	44	<i>Ru</i>	101,7	Тулій	69	<i>Tu</i>	169,4
Самарій	62	<i>Sm</i>	150,43	Угіль	6	<i>C</i>	12,010
Селен	34	<i>Se</i>	78,96	Уран	92	<i>U</i>	238,07
Силіцій	14	<i>Si</i>	28,06	Флюор	9	<i>F</i>	19,000
Сірка	16	<i>S</i>	32,06	Фосфор	15	<i>P</i>	31,02
Скандій	21	<i>Sc</i>	45,10	Хлор	17	<i>Cl</i>	35,457
Срібло	47	<i>Ag</i>	107,880	Хром	24	<i>Cr</i>	52,01
Стронцій	38	<i>Sr</i>	87,63	Цезій	55	<i>Cs</i>	132,91
Талій	81	<i>Tl</i>	204,39	Церій	58	<i>Ce</i>	140,13
Тантал	73	<i>Ta</i>	180,88	Цина	50	<i>Sn</i>	118,70
Телур	52	<i>Te</i>	127,61	Цинк	30	<i>Zn</i>	65,38
Тербій	65	<i>Tb</i>	159,2	Цирконій	40	<i>Zr</i>	91,22

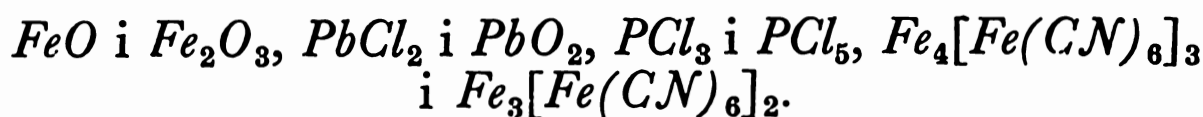
як тіла неаналогічного хемічного складу таких мішаних кристалів ніколи не творять, хоч би й кристалізувались у тій самій формі. Це треба, очевидно, пояснити тим, що внутрішня структура молекул тіл аналогічного хемічного складу є подібна й назовні це виявляється подібною ж формою кристалів. Значення відкритого Мітчерліхом явища для визначення молекулярного складу тіл та атомової ваги елементів відразу зрозумів Берцеліус, що був ініціатором назви цього цікавого явища. У своїх працях по визначенню атомової ваги різних елементів він не раз звертався до ізоморфії, як помішного способу, та наслідком того корегував свої раніше зроблені висновки.

У висліді примінення різних метод ступнево визначено було атомові ваги всіх хемічних елементів за виїмком кількох, що їх було відкрито в останньому часі. Атомові ваги постійно перевіряються та поправки періодично публікуються.

У таблиці хемічних елементів (ст. 44—45) ми навели значення атомової ваги з точністю найбільше до 0,001, але треба сказати, що модерні способи їх визначення досягли такої досконалости, що ці значення визначаються тепер далеко точніше (аж до 0,00001). Атомову вагу деяких недавно відкритих елементів у таблиці не означено, бо тим часом її ще з певністю не стверджено. За невеликим виїмком усі хемічні елементи мають атомову вагу, яка визначається числом із дробом. Пояснення цього явища відкладаємо на дальше, а тут лише зазначимо, що в дійсності маси атомів хемічних елементів відповідають цілим числам без дробу.

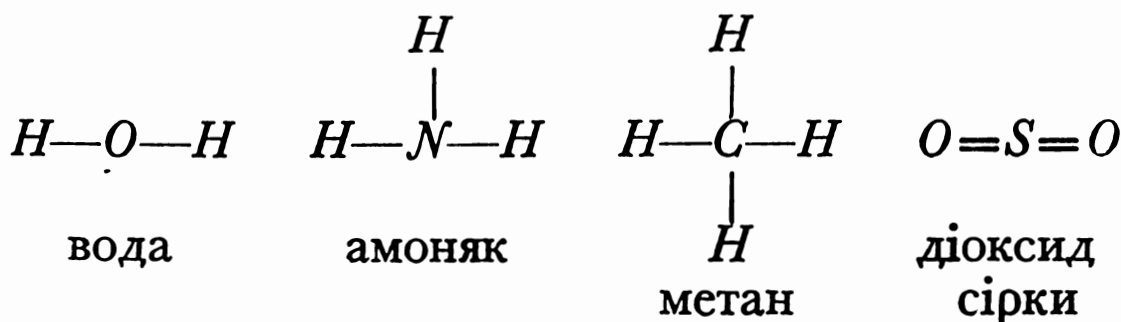
Кожен атом хемічного елементу своєю субстанцією, рівною атомовій вазі, входить до складу молекули хемічно-складного тіла, сполучаючись із атомами різних інших елементів наслідком взаємного притягання, що його ще один із визначних алхеміків Альбертус Магнус (1193—1280) у своїх творах назвав „affinitas“, тобто спорідненість. Виявляється вона так, що один атом якогось елементу може злучитись із одним чи кількома атомами другого елементу. Одиницею міри цієї споріднености служить атом водню, а число водневих атомів, яке злучається з одним атомом іншого елементу, показує валентність дотичного елементу. Одже, напр., хлор і інші т. зв. галоїени є одновалентні елементи, кисень — двовалентний, азот — тривалентний, вугіль — чотиривалентний. Посередньо визначається також валентність інших елементів, що з воднем або зовсім не злучаються або дуже трудно. З цього ясно, що коли ми атомову вагу якогось елементу розділимо на його валентність, то матимемо і число, яке показує еквівалент, зга-

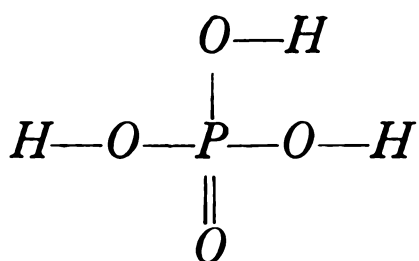
дуваний уже раніше. Наприклад, еквівалент кисню $\frac{16}{2} = 8$, азоту $\frac{14,01}{3} = 4,67$, вуглю $\frac{12,01}{4} = 3$ і т. д. На підставі усіх повищх міркувань складаються зрештою хемічні формули, як напр., HCl — соляна кислота, $NaCl$ — кухонна сіль, Na_2CO_3 — сода і т. д. Деякі елементи виявляють різний ступінь валентности, як, напр., залізо буває дво- і тривалентне, оливо дво- і чотиривалентне, фосфор три- і п'ятивалентний і т. д. Наприклад:



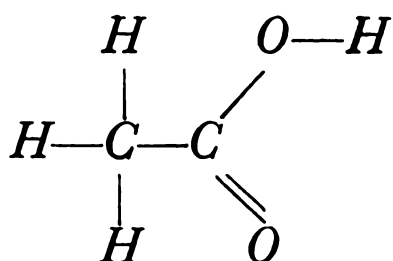
Останні дві формули складніші, й належать вони до т. зв. „комплексних злук“, але бувають ще значно складніші хемічні формули, як у злуках вуглю, де формули досягають часом надзвичайної скомплікованости, і встановлення їх вимагало від дослідників великої аналітично-підготовчої роботи.

Ствердження складу молекул ще не дає відповіді на питання, як же поодинокі атоми пов'язані між собою, тобто як побудована зложена з них молекула. Для представлення цього служать структурні формули, в яких пов'язаність атомів означається рисками, при чому число таких рисок відповідає валентності дотичного елементу. Кілька прикладів таких структурних формул:





фосфат. кислота



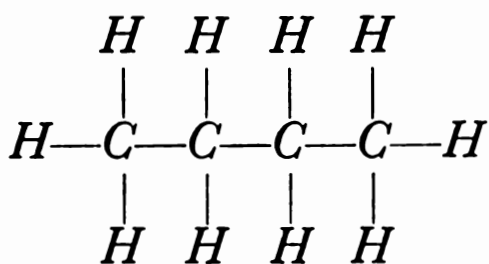
оцтова кислота

Структурні формули особливо докладно випрацьовано в органічній хемії, тобто тій частині хемії, яка займається студіюванням злук вуглю. Поняття валентности в хемічну науку впровадив англійський хемік Френкленд (1825—1899). Він же та німецький хемік Кольбе (1818—1884) були піонерами щодо дослідження молекул органічних злук по стороні структуральній. Найбільші заслуги на цьому полі мають три визначні хеміки минулого століття: німецько-австрійський Кекуле (1829—1896), шотландський Купер (1831—1892) та російський Бутлеров (1828—1886). Із них перший і другий зовсім незалежно один від одного проголосили (1857), що вугіль є чотиривалентний елемент, якого атоми мають здібність в'язатись між собою навіть і в довші ланцюги, при чому своїми вільними валенціями вони можуть в'язатись ще й з іншими атомами. До них приєднався зразу Бутлеров, якому належить, між іншим, авторство самого терміну „структура злук“. Також і німецький дослідник Ерленмайер (1825—1909) своїми працями напочатку дуже багато сприяв закріпленню цього нового погляду на молекулярну будову органічних злук. Не можемо входити тут у подробиці та характеризувати різні типи органічних злук. Зазначимо тільки, що у висліді вивчення властивостей багатьох органічних злук у хе-

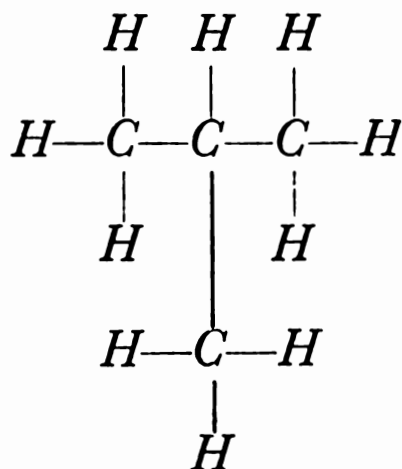
мічній науці закріпилася думка, що чотири валенції вуглевого атома лежать не в одній площі, а рівномірно розділені в просторі. Одже, це представляєм собі так, що вуглевий атом знаходиться в центрі правильного тетраедра, до чотирьох кутів якого йдуть валенційні зв'язки.*) Відповідно до цього уявляєм і структуру молекули вуглевих злук, при чому з кожною валенцією може бути пов'язаний або атом іншого елементу, або навіть атомове скупчення. Два атоми вуглю можуть в'язатись одною або двома чи трьома валенціями, тобто взаємно дотикатись рогами тетраедра чи прилягати гранями або цілими площами. До цього всього ще додамо, що структурна формула якогось тіла мусить бути зложена так, щоб могла вона пояснити його фізико-хімічні властивості характеристичним способом в'язання між собою різних атомів у молекулі дотичного тіла. Нижче подаєм до цього кілька ілюстрацій.

Після ствердження відсоткового складу й молекулярної ваги досліджуваного тіла складається його емпірична формула. Однак бувають випадки, що тіла мають однакову молекулярну вагу й однаковий відсотковий склад тих самих хімічних елементів, але виявляють різні фізико-хімічні властивості. Такі злуки називаються ізомерними, а їх різні властивості пояснюються тим, що вони мають різну молекулярну структуру. Візьмим для прикладу дві пари ізомерів, що з них одна пара має емпіричну формулу C_4H_{10} , а друга C_2H_6O . Структурні формули першої пари є:

*) Тетраедр — це геометричне тіло, ограничене чотирма трикутними площами.

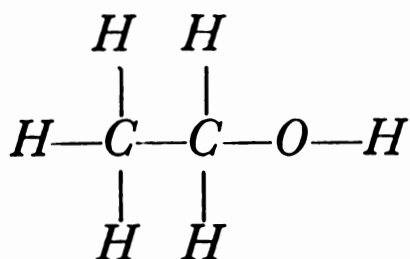


нормальний бутан

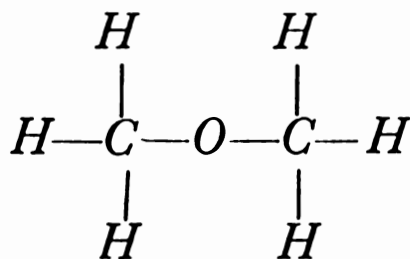


ізобутан (триметилметан)

Як бачимо, молекули цих двох злук різняться між собою тим, що в них неоднаково пов'язані між собою вуглеві атоми. А тепер наведемо другу пару, де маємо приклад неоднакового пов'язання вуглю з киснем:



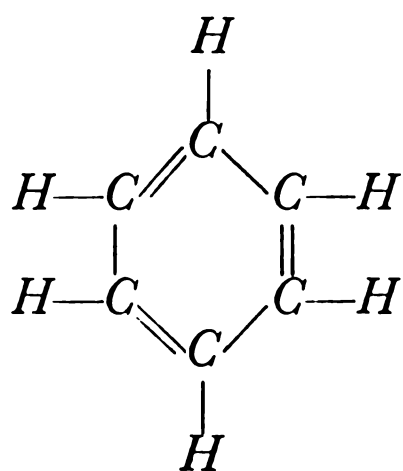
етилалькоголь



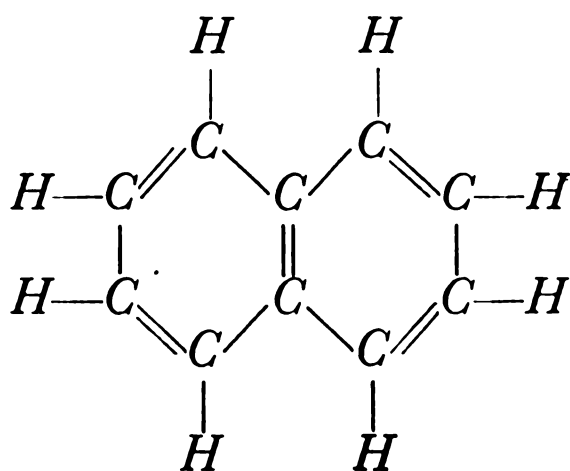
метилетер

Як серед органічних, так і серед неорганічних злук є такі, що мають однаковий відсотковий склад тих самих елементів, але їх молекулярна вага є різна. Вони можуть за певних температурних умов перемінюватись одна на другу, при чому в цьому разі молекулярна вага добутого тіла буде в два чи кілька разів більшою за молекулярну вагу вихідного тіла. Напр., діоксид азоту (NO_2) при охолодженні перетворюється на тетраоксид

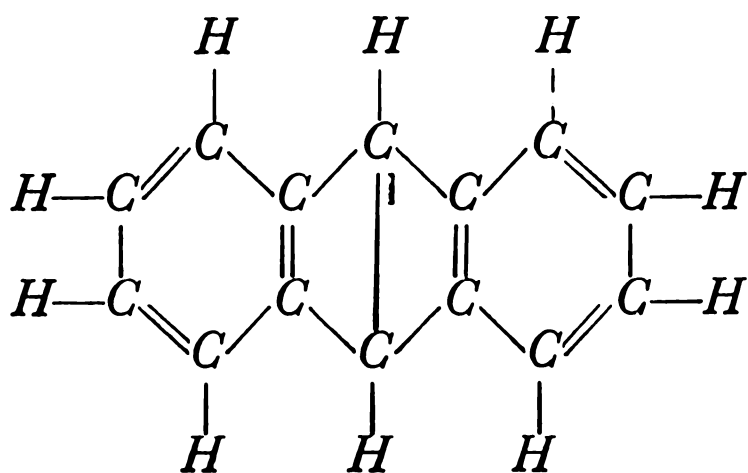
(N_2O_4), а знов, ацетилен (C_2H_2) при високій температурі перетворюється на бензол (C_6H_6). Такі злуки називаються полімерними. Вищенаведені структурні формули відносяться до т. зв. ряду аліфатичного або масного, де вуглеві атоми творять ланцюги прості чи розгалужені, при чому в'язання вуглевих атомів може бути просте (>C—C<), або подвійне (>C=C<), чи потрійне ($\text{—C}\equiv\text{C—}$). Але при сконденсуванні ацетилену ($\text{H—C}\equiv\text{C—H}$) повстає бензол, що належить уже до т. зв. ряду ароматичного або бензолевого, де вуглеві атоми пов'язані між собою до кругу й творять таким чином замкнені ядра. Ці ядра знов можуть в'язатись одно з другим. Якщо в такому ядрі пов'язані самі вуглеві атоми, то це будуть ізоциклічні ядра, а коли в ядрі пов'язаний атом ще й іншого якогось елементу, то це будуть гетероциклічні ядра. Автором циклічних структурних формул був згаданий Кекуле (1865). Приклади циклічних злук подамо такі:



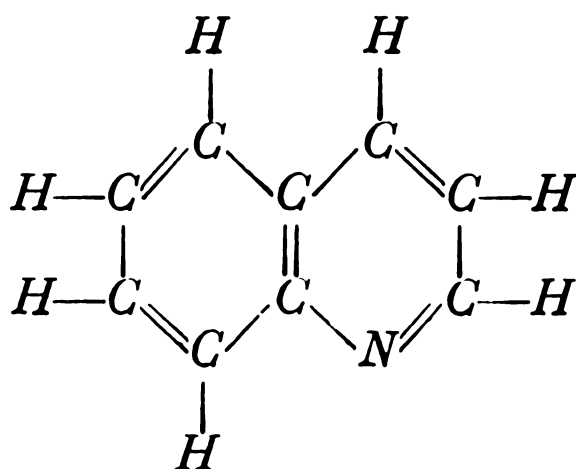
бензол



нафталін



антрацен



хинолін

Згадаємо тут ще про т. зв. явище оптичної ізомерії, яке полягає в тому, що два органічні тіла можуть мати однакову емпіричну формулу, однакову молекулярну вагу й навіть однакову структурну формулу, але одно з них повертає площу поляризованого світла вправо, а друге навпаки вліво. Така різниця фізичних властивостей двох т. зв. стереоізомерів знаходить своє пояснення в тому, що структури молекул цих двох фізичних тіл подібні до себе, але подібні так, як образ якогось предмету у дзеркалі подібний до самого

того предмету. Графічно це можна представити, коли уявити, що з вуглевим атомом, який знаходиться в центрі правильного тетраедра, чотири його валенціями, спрямованими до кутів тетраедра, в'яжуться чи то окремі атоми, чи якісь атомові скупчення. Якщо при тому однакові атоми чи атомові скупчення в'яжуться так, що одна структура є ніби дзеркальним образом другої, то це будуть т. зв. енантіоморфні структури. Означивши однакові атоми чи скупчення літерами a , b , c і d , можемо уявити собі це в такий спосіб:

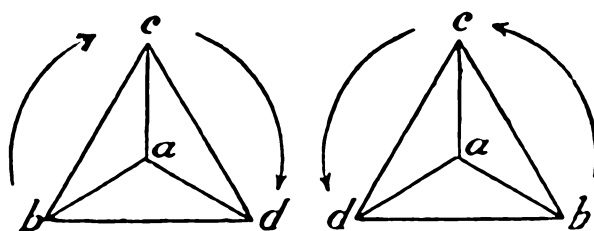
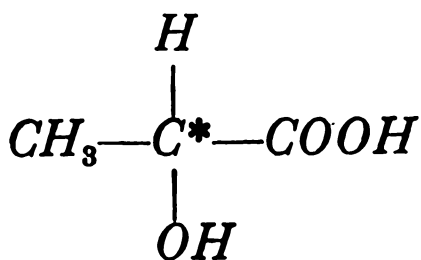
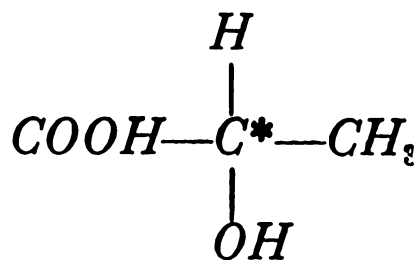


Схема оптичних ізомерів.



право-активна
молочна кислота

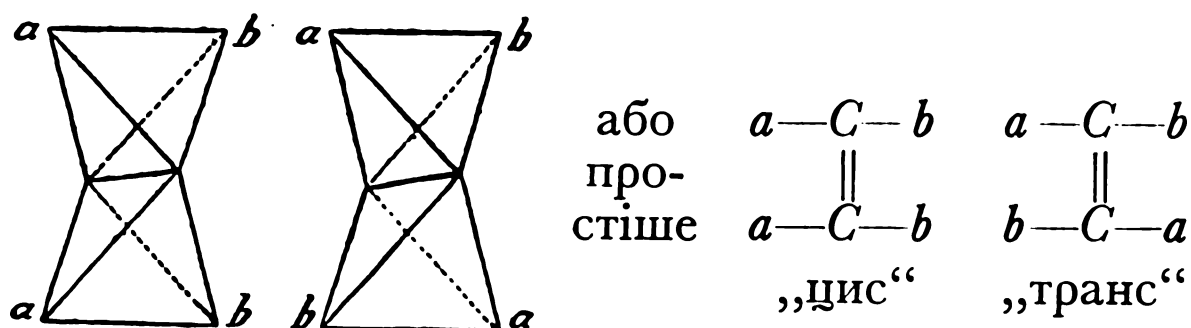


ліво-активна
молочна кислота

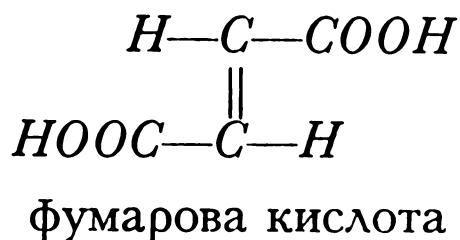
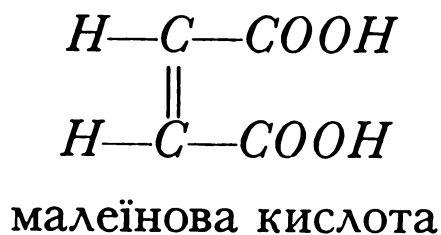
Якщо два вуглеві атоми в'яжуться між собою подвійно ($\text{>C}=\text{C}<$), то пов'язані двома вільними валенціями кожного такого атома далші атоми чи

*) Зіркою означено асиметричний атом вуглю в оптичних ізомерів.

атомові скупчення можуть зайняти різні положення в рогах злучених тетраедрів. У висліді такого неоднакового їх положення повстають т. зв. геометричні ізомери, що з них один являє собою „цис“-форму, а другий „транс“-форму. Хоч ці форми мають однакову структуру й оптично вони є неактивні, але різняться між собою фізичними й хемічними властивостями. Вперше подібне явище геометричної ізомерії спостережено було в двох органічних кислот: малеїнової й фумарової. Означивши пов'язані з вуглем інші атоми чи атомові скупчення літерами *a* і *b*, маємо такі образи:



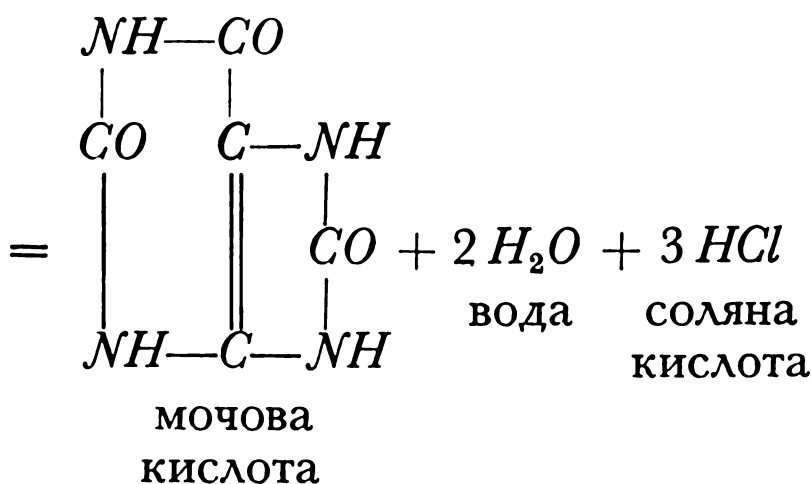
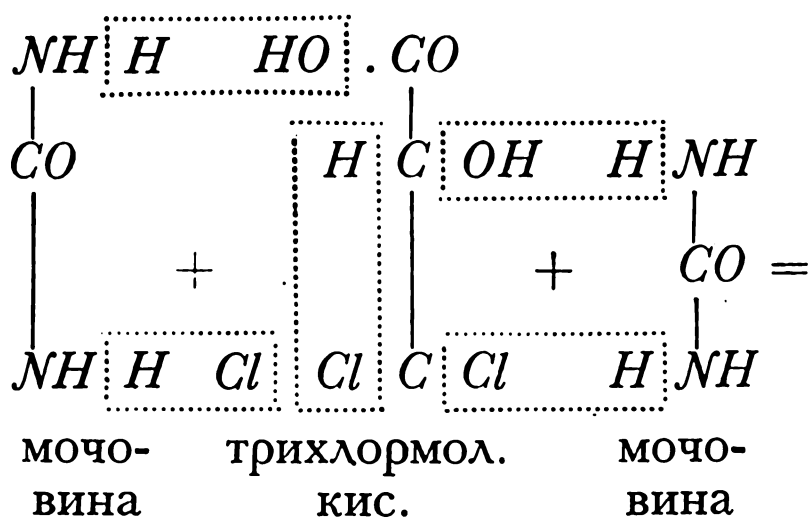
Примінюючи ці міркування до згаданих вище двох однакового складу органічних кислот, маємо такі структури цих ізомерів:



Явище геометричної ізомерії має місце також і в ароматичних сполук, як теж відоме воно й у таких сполук, де вуглевий атом в'яжеться подвійно

з азотовим ($>C=N-$) або два азотові атоми вяжуться між собою двома валенціями ($-N=N-$), як то має місце в діазосполуках. Тут формам „цис“ і „транс“ відповідають ізомерні „син“-форма й „анти“-форма.

Тут не можемо зупинятись над докладнішим з'ясуванням усіх бодай би типових структуральних форм органічних сполук, бо це є надто обширний предмет. Підкреслимо, що правильні структурні формули у великій мірі полегшують синтетичне здобування деяких злук цього роду. Ще на початку ХІХ. ст. в науці панував погляд, що органічні злуки можуть творитись тільки в живих організмах за допомогою таємничої „vis vitalis“, тобто якоїсь особливої „життєвої сили“, а штучно приготувати їх неможливо. Такої думки був і славний Берцеліус, але його ж учень Веллер (1800—1882) вже в 1828 році синтетично приготував мочову кислоту. Оскільки ця перша синтеза сталася принагідно за переведення Веллером досвідів, які мали іншу ціль, то пізніше вже наукові працівники кермувались у своїх роботах структурними формулами дотичної сполуки при спробах здобути її синтетично. Наш визначиний учений Ів. Горбачевський (1854—1942) так прийшов до синтетичного одержання (1882) мочної кислоти, що її структурну формулу перед тим (1875) подав Медикус (1847—1915). Синтеза відбувається при стопленні мочовини з трихлормолочною кислотою, при чому з двох молекул мочовини й одної молекули цієї кислоти утворюється одна молекула мочної кислоти, дві молекули води й три молекули соляної кислоти. Реакція йде так:



У другій половині ХІХ. ст. розвивалась головню наука про структурні форми органічних злук. Одначе тим часом і в галузі анорганічної хемії на- збиралося чимало фактичного матеріалу відносно властивостей деяких елементів, які треба було тео- ретично висвітлити. Зокрема це торкалося спостере- женої ізомерії деяких неорганічних злук та ствер- дженого факту, що поодинокі їх атоми можуть злучатись не тільки з окремими атомами іншого елементу, але й з групами їх, власне окремими мо- лекулами. Коли атом якогось елементу є пов'язаний з іншими атомами всіми своїми валенціями, то це є стан насичености його. Одначе вже давніше

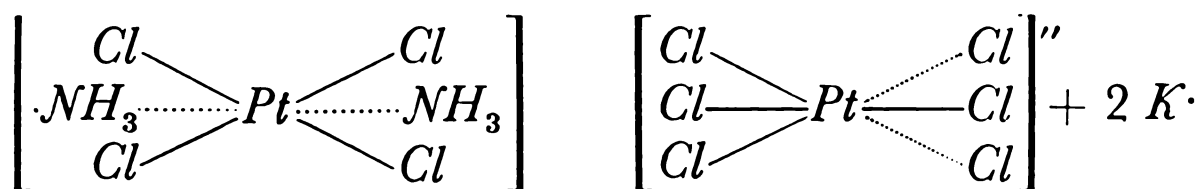
було стверджено, що й при такому стані насиченості, повставша злука може в'язати ще цілі молекули, як напр., т. зв. конституційна вода при солях. Потім стверджено було, що солі деяких металів (як плятина, кобальт, хром) в'яжуться з молекулами амоняку, як наприклад: $CoCl_3 + 6NH_3$, де тривалентний кобальт, цілком насичений трьома атомами хлору, в'яже ще й шість молекул амоняку. Це явно колідує з наукою про валентність. Всі спроби висвітлити це явище способом в'язання атомів подібно органічним злукам не дали задовольняючих вислідів. Аж зрештою швайцарський хемік Вернер (1866—1919) знайшов розв'язку цієї проблеми (1893) своєю координаційною теорією, суть якої полягає в тому, що вона виходить із уяви просторового розположення атомів і їх груп у комплексних злуках. Отже, згідно з цією теорією довкола „центрального“ атома групуються чи то поодинокі атоми, чи цілі молекули так, що цей атом знаходиться в центрі правильного октаедра, а пов'язані з ним атоми й молекули займають місця на рогах того октаедра, утворюючи таким чином дуже симетричну конфігурацію.*) Вернер припускає, що в атомів існують окрім головних валенцій ще й інші, що їх він назвав бічні валенції, й що їх, звичайно, означається в структурних формулах не рисками, а точками. Число атомових груп, що їх в'яже до себе центральний атом бічними валенціями, утворюючи звичайний, або інакше нормальний комплекс, є його координаційне число. Як показують досвіди, воно буває

*) Правильний октаедр — це геометричне тіло, ограничене восьми рівнобічними трикутниками; воно має шість рогів, які знаходяться на однаковій віддаленні від центру.

різне навіть і в того самого атома. Одже, кобальт має координаційне число 6, але мідь — 2,3 й 4, як про це мали б свідчити її комплексні з ціяном аніони. Автор цих рядків наслідком своїх дослідів уважав за можливе висловити думку, що за певних умов мідь утворює комплексний аніон із винною кислотою, де її координаційним числом є 3, а за інших умов з тою самою кислотою мідь творить відомий уже давніше аніон, де вона фігурує, очевидно, з координаційним числом 2. Найчастіше буває координаційне число 6 і 4; рідше 3 і 2. Це залежить від бічних валенцій, що діють поруч головних, часто противної електрохімічної природи (валенції й контр-валенції). Вернер відрізняє два типи комплексних злук, а то „зложені“ і „вложені“. Молекула перших твориться так, що центральний атом в'яже своїми бічними валенціями певні групи атомів, тобто цілі молекули, шляхом аддиції. Тому цього типу злуки називаються також молекулярними комплексами. Молекули їх не дисоціюють у розчинах і не творять іонів. Навпаки комплексні сполуки другого типу у розчинах поводять себе так, як солі, тобто дисоціюють та дають комплексні іони аналогічно до аніонів при дисоціації солей.*) Тому злуки типу „вложених“ називають теж іоновими комплексами. Дисоціація тут відбувається коштом головних валенцій. Для прикладу візьмемо комплексні злуки п'ятини. Хлорид її $PtCl_4$ є злукою, в якій атом п'ятини в головних своїх валенціях насичений чотирма атомами хлору. Але він може своїми бічними валенціями зв'язати ще дві молекули амоняку, при

*) Про електrolітичну дисоціацію мова буде далі.

чому витвориться електроневтральна комплексна молекула. Натомість хлороплатинат калію K_2PtCl_6 є злукою, де насичений чотирма атомами хлору платиновий атом бічними валенціями в'яже ще два атоми хлору, наслідком чого утворюється комплексний аніон з двома негативними набоями, який (через головні валенції хлору) може в'язати два атоми калію (два катіони). Структурні формули цих комплексних злук за Вернером є такі:



На цьому ми закінчуємо свій побіжний перегляд різних структурних формул, що мають наглядно представити спосіб пов'язаності поодиноких атомів при утворенні молекулярних менше або й більше складних злук. Розуміється, що ми могли подати вище тільки дуже загальний перегляд тих структурних формул, бо на докладніший виклад тут нема місця. Як ми бачили, молекула може складатись всього тільки з двох атомів того самого хемічного елементу чи різних двох елементів (H_2 , O_2 , HCl). Але вже молекула соди складається з шести атомів (Na_2CO_3), молекула молочної кислоти з 12, а молекула антрацену з 24 атомів. Одначе багато є тіл, що їх молекули складаються з далеко більшого числа атомів: хинін — 48, парафінові злуки аж 182, а целюльоза понад 700 атомів у молекулі. Та не зважаючи на таке велике скупчення атомів у молекулі цих злук, розмір її лишається остільки незначним, що зміряти його прямо не представляєть-

ся можливим. Молекула є тою найменшою часточкою даного матеріального тіла, яка має ще його фізичні властивості. Атом є носієм хемічних властивостей дотичного тіла. Якщо б і він складався з якихось ще менших часточок та на ці часточки можна б було його розкласти, то в такому разі перестав би існувати цей хемічний елемент, а коли б потім ті часточки злучилися, але в якийсь інший спосіб, то це означало б, що повстав інший елемент. Далі ми побачимо що такі процеси дійсно відбуваються в природі й що в останньому часі далось їх репродукувати також і штучно в лабораторних умовах.

III.

РОЗМІРИ МОЛЕКУЛ І АТОМІВ ТА ЇХ АБСОЛЮТНА ВАГА. МОЛЕКУЛИ, АТОМИ Й ЕЛЕКТРИЧНІСТЬ.

Відповідно до того, на яким віддаленні знаходяться одна від одної поодинокі молекули, утворюється такий чи інший агрегатний стан фізичного тіла. Молекули тіла в твердому стані більше-менше міцно зв'язані між собою силою взаємного притягання, наслідком чого це тіло зберігає свою зовнішню форму. В стані рідини цей зв'язок між молекулами даного тіла є вже менший, так що вони можуть рухатись і таким чином рідина легко змінює свою форму. Зрештою молекули тіла в газовому стані настільки віддалені від себе, що між ними вже не діє сила взаємного притягання, й вони зовсім вільно рухаються в певному просторі.

Думка про те, що молекули фізичних тіл (навіть до певної міри й твердих) не є в стані спокою, а навпаки знаходяться в стані постійного руху, не є новою. Її висловив був ще в 1738 році французький дослідник Бернуїллі, але тільки в половині ХІХ ст. (1857) дав їй наукове обґрунтування й оформлення німець Клавзіус, який є автором кінетичної теорії газів. Згідно з цією теорією молекули газів відділені одна від одної релятивно настільки великими віддалями, що власний їх обсяг у порівнянні з цими віддалями є абсолютно незначний, а тому й не виявляється між ними сила взаємного притягання чи відштовхування. Молекули газу постійно переміщуються з місця на місце з великою швидкістю в усіх напрямках, зустрічаються між собою й відскакують, як еластичні тіла. Їх рух не є простолінійний, але наслідком взаємних ударів молекули рухаються зигзагами з коротшими чи довгими колінами. Взагалі утворюється безладний рух молекул різних напрямків і різної швидкості. Число ударів молекул водню за 1 секунду при 0° С обчислюється на 9.500 мільйонів, кисню — на 4.200 міль., вуглекислоти — на 5.500 міль. і т. д. При тому молекули долітають і до стінок посудини, в якій знаходиться газ, та наносять їм удари. Сума цих ударів і є причиною того явища, що його ми називаємо тисненням газів. З підвищенням температури швидкість руху молекул збільшується, а наслідком того збільшується й сума ударів на певну площу стінки посудини, тобто тим самим збільшується тиск газу, як це ми знаємо вже з попереднього. При всій безладності рухів газових молекул всежтаки в певному обсязі є їх якесь пересічне число, як також рухаються вони

з якоюсь пересічною скорістю, а їх простолінійний рух до удару має теж певну пересічну довжину. Виходячи з таких міркувань на основі законів механіки обчислюється тиск газу. Якщо тиск газу на 1 кв. см. означити p , число молекул в 1 куб. см. — N , масу молекули — m і пересічну їх скорість — c , то тиск газу за даних температурних умов визначається так:

$$p = \frac{1}{3} N m c^2.$$

Аналізою цього рівняння приходиться до висновку, що за однакової температури й тиску в однаковому обсязі число N є однакове для всіх газів, тобто цим potwierджується правдивість гіпотези Авогадро, про яку мова була в нас раніше. Дальшою аналізою прийшли до висновку, що пересічна скорість різних газів стоїть у зворотній пропорції до квадратного корня із значення ваги молекули газу. Як велика ця скорість, показують такі дані: водень—1839 метрів на секунду, кисень—461 м./сек., азот—492 м./сек. і т. д. Докладніші досліді показали, що формули виведені на підставі кінетичної теорії Клавзіуса, не вповні відповідали експериментальним даним відносно властивостей газів за певних умов (напр., за високого тиску). Теорія Клавзіуса виходить із уяви, так би мовити, ідеального стану газів, припускаючи цілковиту відсутність тертя і взаємного притягання чи відштовхування молекул, їх зникаючо малі розміри у порівнянні з віддальми між ними і т. д., коли в дійсності всежтаки такого ідеального стану не існує. Взявши це все під увагу, ван-дер-Ваальс дав (1873) свою дещо складнішу формулу, яка й зростається зовсім добре з вислідами експериментів.

Можна собі уявити, що в певний момент усі молекули газу даного обсягу рівномірно розділені по всьому просторі, тобто знаходяться вони одна від одної на однаковій віддалі. Ця віддаль у такому разі є пересічною довжиною шляху, що його перелітає молекула простолінійно аж до зударення з іншою молекулою чи стінкою посудини. Якщо уявити собі молекулу у формі кульки, то виходить, що пересічний шлях цей буде рівний віддалі між поверхнями двох сусідніх кульок-молекул. При збільшенні зовнішнього тиску ця віддаль зменшується. Коли ж уявити собі, що при стисненні газу він переходить до іншого агрегатного стану (рідини чи навіть твердого тіла), то це означає, що молекули газу більше-менше щільно прилягають одна до одної, тобто віддаль між поверхнями кульок зменшується якраз о величину пересічного шляху, а центри кульок знаходяться в такому разі на віддалі двох лучів кульки або одного її поперечника. Таким чином відбувається згущення газу відповідно до зменшення віддалі між молекулами, що дається ствердити відповідними міряннями обсягів. Якщо означити густоту газу d , а густоту рідини його D , то $\frac{d}{D} = K$. Величина K визначається емпірично для кожного тіла і носить назву коефіцієнта згущення. Напр., 1 літр кисню важить 1,4292 гр., значить 1 кб. цм. важить 0,0014292; специфічна вага кисню, згущеного до стану рідини, є 1,124, значить стільки ж важить 1 кб. цм. рідинного кисню; одже з того коефіцієнт згущення кисню визначається: $K = \frac{d}{D} \equiv \frac{0,0014292}{1,124} = 0,0012$. Для азоту значення K є 0,0014 і т. д.

Пересічна довжина шляху молекул визначає характеристичну для даного газу теплопровідність. Змірюючи теплопровідність різних тіл, вичислюють пересічну довжину шляхів їх молекул. Напр., для водню $0,0000178$ цм., кисню — $0,0000102$ цм., амоніаку — $0,0000074$ цм., метану — $0,0000085$ цм. і т. д. На основі всіх цих даних вираховується значення для поперечника молекули дотичного газу. Одже обчислене цією методою значення для поперечників молекул є величини порядку $0,00000001$ або $1\text{—}9$ разів 10^{-8} . Величину поперечників молекул різних тіл визначено було (в центиметрах) так: водень — $2,3 \cdot 10^{-8}$, кисень — $2,9 \cdot 10^{-8}$, вуглекислота — $3,2 \cdot 10^{-8}$ і т. д. Для тих тіл, що їх молекули складаються тільки з одного атома, значення поперечника молекули буде теж значенням для поперечника атома.

Так посередньо можна було визначити розмір молекул поодиноких фізичних тіл. Це в розміри такого порядку, що їх просто неможна собі реально представити. При тому треба заважити, що коли мова йде про поперечник молекули, тобто найменшу віддаль, на яку можуть приблизитись центри двох молекул, то це треба розуміти не буквально, а тільки так, що на такій віддалі знаходяться центри тих двох сфер, які належать до складної системи атомових угруповань. Ці молекулярні сфери можуть взаємно наближуватись лише до певної міри через те, що окрім сили взаємного притягання діє між ними також і сила взаємного відштовхування, яка не дозволяє одній молекулярній сфері втиснутись на місце другої. Тому-то, розглядаючи молекулу, як кульку, користуються „геометричною фікцією, що відповідає певній динамічній реаль-

ності“, як висловився один автор книжки про будову матерії. Знаючи луч молекули, можна вичислити її розмір (за формулою $v = \frac{4}{3}\pi r^3$). Тим самим можна обчислити також і число молекул газу в 1 кб. цм. на основі таких міркувань: кожна молекула, рухаючись, займає певний простір розміром циліндру, якого луч є рівний лучу молекули, а висота рівна довжині пересічного її шляху; скільки таких циліндрів уміститься в 1 кб. цм., стільки буде там і молекул. Обчислення показують, що це буде колосальне число, яке згідно з законом Авоґадро є однакове для всіх газів, а то (округло) 27.000.000.000.000.000.000 або інакше писане $2,7 \cdot 10^{19}$. Це є число Лошмідта. Одже, коли грам-молекула займає за нормальних умов температури й тиску обсяг 22,4 літра, то значить одна грам-молекула газу має $6,05 \cdot 10^{23}$ молекул. Це є т. зв. число Авоґадро, що його точніше тепер визначено рівним $6,022 \cdot 10^{23}$. Якщо грам-молекула водню важить 2,01556 гр., то це значить, що одна його молекула важить $\frac{2,01559}{6,022 \cdot 10^{23}}$ або $3,347 \cdot 10^{-24}$ гр., а один атом водню важить $1,673 \cdot 10^{-24}$ гр.. Обчислення іншими методами дають приблизно такий самий вислід. З того виходить, що молекула (згідно атом) азоту важить у 14 разів більше за молекулу (згідно атом) водню, кисню — 16, сірки — 32 і т. д. аж до найважчого урану, якого молекула (згл. атом) важить 238 разів більше, ніж молекула (згл. атом) водню. Все це такі величини, що їх можна собі уявити хіба здалека певним порівнянням. Одже, вага атома водню у порівнянні до 1 граму буде така, як 1 кгр. у порівнянні з вагою цілої земної кулі, а розмір його у порівнянні до кульки

з лучем 1 мм. є приблизно такий, як розмір балончику з лучем $1\frac{1}{2}$ метра у порівнянні до земної кулі.

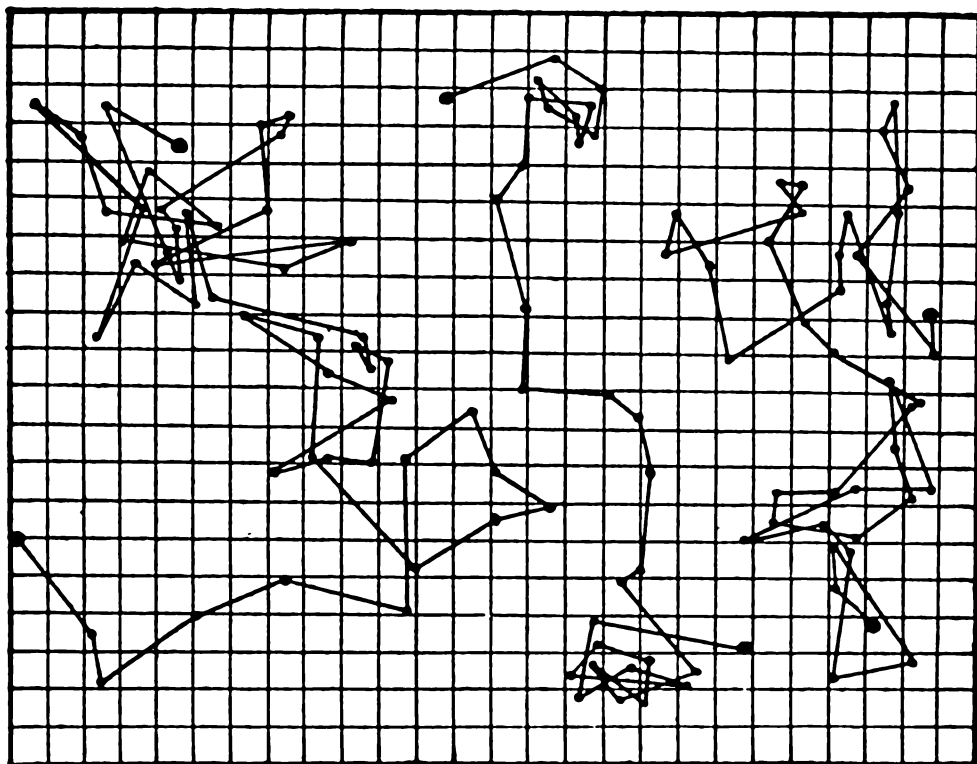
З повищого видно, що хоч і як безмірно малими є розмір і вага молекул і атомів, але посередніми шляхами далось всежтаки їх „зміряти“ і „зважити“. Подібно до цього зрештою наука досягла й того, що посередньо можна також „побачити“ рух молекул. Власне можна побачити ніби відзеркалення образу безладного руху молекул у вигляді руху інших часточок, спричиненого рухом молекул. Це є разом із тим наочним доказом реального існування молекул фізичних тіл. Про це й хочемо далі зробити короткий виклад.

Англійський ботанік Браун ще на початку ХІХ ст. (1827) заважив, що рідина не є в стані спокою, але навпаки перебуває в стані постійного руху. Це виявляється в тому, що суспендовані в рідині часточки постійно рухаються в найрізноманітніших напрямках, при чому цей рух не залежить ані від різниці температури в різних місцях даного обсягу рідини, ані від тиску чи інших зовнішніх причин, як також не залежить він від роду рідини чи її густоти. Такий рух спостережено навіть у рідинах, замкнених у кристалах, при чому він ніколи не припиняється, й спостерігати його можна довгими місяцями й роками. Цей рух по імені згаданого вченого називається Брауновим рухом. Довший час він не притягав до себе уваги дослідників, але зрештою Вінер зайнявся студіями цього руху суспендованих у рідині часточок та висловив (1863) твердження, що це явище треба пояснити молекулярним рухом самої рідини, при чому ствердив, що

суспендовані часточки рухаються тим більше, чим вони є меншими. Ця обставина є зрозумілою на основі таких міркувань: найменша шротова кулька є впрост гігантом у порівнанні до молекули, тому серед величезної кількості молекул вона діставала б зо всіх боків колосальне число ударів. Хоч число цих ударів не було б однакове з різних сторін, але відповідно до закону великих чисел різниця між числом ударів з різних боків не могла б мати значення, й така навіть невеличка шротова кулька під впливом одержаних ударів не мусіла б рухатись. Навпаки мікроскопічна суспендована в рідині часточка є остільки маленькою, що для неї таке неоднакове число ударів з різних боків має вже значення, так що вона мусить рухатись і при тому рухатись так само безладно й зигзагами, як рухаються самі молекули. Явище Браунового руху студіювали потім різні дослідники, а між ними французький фізик Перрен перевів надзвичайно точні й дуже важливі досліді. Він рішив перевести „*experimentum crucis*“, тобто експеримент рішального значення, який або доказав би правдивість кінетичної теорії або навпаки її рішучо знищив би. Завдання полягало в тому, щоб перевірити, чи часточки найменших розмірів, але які ще можна бачити за допомогою оптичних приладів, виявляють подібність до молекул, тобто чи підлягають вони газовим законам, і чи є важна й для них кінетична теорія. З незвичайною дотепністю і дбайливістю перевів Перрен разом із своїми співробітниками досліді над емульсіями й безсумнівно доказав, що в емульсіях суспендавані часточки (з лучем $0,53 \mu$) уповні підлягають газовим законам, так що мікроскопічні частки, які ще можна бачити, є ніби

величезними молекулами, що їх рух фотографува-
лося. Образ цього руху є такий:

6



На підставі своїх дослідів Перрен ствердив, що Браунів рух є точною копією молекулярного руху чи власне він сам є молекулярним рухом, бо нема принципової різниці між рухом молекул азоту, розчиненого у воді й рухом суспендованих у рідині часточок, як нема принципової різниці між інфрачервоним промінням та промінням видимої частини спектру. Різниця є лише у величині часточок так, напр., коли припустимо, що грам-молекула хімічних злук важила б яких кілька-десят. грамів, то „грам-молекула“ видимих суспендованих часточок досягала б ваги понад 100.000 тон. Але, приймаючи ці часточки за своєрідні молекули, Перрен зробив відповідні обчислення для визначення цією своєю

методом певних величин. Так він вирахував значення Авогадрового числа й дістав такі висліди, що пересічне значення було $6,4 \cdot 10^{23}$, одже значення дуже близьке до наведеного вище значення, виведеного на підставі кінетичної теорії. Так само й вирахована Перреном вага водневого атома є зовсім близька до вищенаведеної. Таким чином досліди над Брауновим рухом дали нам докази реального існування молекулярних часточок, а тим самим і складових частин молекул-атомів, хоч ще в половині ХІХ ст. один із визначніших хеміків у Франції Лоран писав, що термінові „атом“ він надає тільки такий зміст, який міститься у виразі „пропорційне число“, тобто ідея про реальність існування атомів була ще йому чужою.

Під впливом зовнішніх чинників (напр., тепла) молекула може розділитись на часті. Так ще в 1857 році французький хемік Сен-Клер-Девіаль (1811—1881), нагріваючи воду до високої температури, досяг розкладу її на складові частини водень і кисень. Це явище носить назву дисоціації. В тому часі другий французький дослідник Каур, визначаючи молекулярну вагу пентахлориду фосфору (PCl_5), знайшов величину (за формулою $M = 2D$) рівно два рази меншу, ніж вона є в дійсності. А причиною цього була та обставина, що за високої температури PCl_5 дисоціює на PCl_3 і Cl_2 й таким чином появляється в даному обсязі два рази більше молекул, ніж було спочатку. Тим самим подвійно збільшується й тиск газу, бо ж згідно з законом Авогадро тиск визначається не характером молекул (тобто їх складом), а тільки їх числом. Зменшуючи подвійний тиск до нормального, Каур тим самим зменшив наполовину число молекулярних часток

у даному обсязі, а тому й дістав половинне значення для молекулярної ваги пентахлориду фосфору. Розкластись чи дисоціювати може також і молекула хемічно-простого тіла. Напр., коли ще при температурі 700° у певному обсязі знаходиться X молекул йоду, то вже при температурі коло 1500° число часточок буде $1\frac{1}{2}$ рази більше, а при температурі 2100° число їх буде подвійне, тобто за цієї температури всі молекули йоду розкладаються на атоми, а тому при дальшому нагріванні вже не може відбуватись дисоціація, й тиск далі не збільшується. Ступінь дисоціації, як бачимо, може бути різний. Існує ще й інший рід дисоціації, що носить назву електролітичної дисоціації. Про це явище побіжно згадувалось раніше, а тепер приглянемося до нього трохи ближче.

Ми вже згадували про існування електролітів, тобто таких тіл, що в розчині проводять електричність. По своїй природі електроліти є солі, кислоти або луги. Якщо через розчин таких тіл переходить електричний струм, то на електродах починають відкладатись продукти їх розкладу. Цей процес називають електролізою, при чому відбувається він так, що на катоді (негативному електроді) відкладається метал або водень, а на аноді (позитивному електроді) — рештка даного електроліту. Дослідження цього явища показали, що кількість продуктів розкладу збільшується відповідно до збільшення сили електричного струму.*) Пере-

*) На міжнародньому конгресі в Парижі в 1881 році встановлено було такі одиниці: ампер — сила електричного струму, що за 1 сек. розкладає 1,118 міліграмів срібла; вольт — напруження одного елементу Данієля; ом — опір колонки ртуті довжиною 106,3 см. та поперечною площею

водячи квантитативну аналізу, Фарадей ствердив (1833) дуже прості закони, за якими відбувається відкладання продуктів розкладу електролітів на електродах. Перший закон є такий: Коли через електроліт переходить електричний струм, то кількість відкладеної на електроді речовини (q) є пропорційна до сили струму (i) і часу (t), тобто $q = Kit$, де K є коефіцієнт пропорційності і називається електрохімічним еквівалентом даної речовини, що показує, яку кількість цієї речовини виділить струм силою 1 ампера. Другий закон є такий: За проходження однакового струму кількість виділеної речовини є пропорційна до хімічного еквіваленту відповідної речовини, тобто пропорційна до атомової ваги, поділеної на валентність. Отже, коли електрохімічний еквівалент (K) поділимо на атомову вагу (A), то дістанемо якесь число (B), що буде однакове для всіх одновалентних елементів, а для дво-, три- чи X -валентних елементів буде воно два, три чи X -разів менше. Експериментальні дані, що їх ми наведемо тут для деяких елементів, показують наступне (значення K подається в грамах; римські числа коло назви елемента показують його валентність, при чому мідь виступає як одно- і дво-валентна):

1 кв. мм.; кулон — кількість електричності, що за 1 сек. переходить перекроєм провідника при силі 1 ампера; фарад — місткість провідника, що є рівна кулону, поділеному на вольт. Все це є т. зв. практичні одиниці, бо в науці примінюється інші — електростатичні (es) і електромагнетні (em) — одиниці, так що, напр., кулон є рівний $3,10^9$ одиниць електростатичних.

Назва хем. елементу		Атомова вага (A)	Електрохем. еквівал. (K)	$\frac{K}{A} = B$
Водень	(I)	1,0008	$0,1044 \cdot 10^{-4}$	$1,036 \cdot 10^{-5}$
Хлор	(I)	35,457	$3,675 \cdot 10^{-4}$	$1,036 \cdot 10^{-5}$
Йод	(I)	126,92	$13,154 \cdot 10^{-4}$	$1,036 \cdot 10^{-5}$
Кисень	(II)	16,000	$0,8289 \cdot 10^{-4}$	$0,518 \cdot 10^{-5}$
Натрій	(I)	22,997	$2,383 \cdot 10^{-4}$	$1,036 \cdot 10^{-5}$
Мідь	(I)	63,57	$6,588 \cdot 10^{-4}$	$1,036 \cdot 10^{-5}$
Мідь	(II)	63,57	$3,294 \cdot 10^{-4}$	$0,518 \cdot 10^{-5}$
Срібло	(I)	107,88	$11,181 \cdot 10^{-4}$	$1,036 \cdot 10^{-5}$
Алюміній	(III)	26,97	$0,931 \cdot 10^{-4}$	$0,345 \cdot 10^{-5}$

Таким чином бачимо, що для одновалентних елементів значення $B \in 1,036 \cdot 10^{-5}$, для двовалентних половина цього числа, для тривалентних третина і т. д. Одже, коли $K = B \cdot A$, то вищенаведену формулу для відложеної кількості речовини можемо написати так:

для одновалентних елементів	для двовалентних елементів	для X -валентних елементів
$q = \frac{B \cdot A \cdot it}{1}$	$q = \frac{B \cdot A \cdot it}{2}$	$q = \frac{B \cdot A \cdot it}{X}$

Ця остання формула є загальною формуловкою законів Фарадея. Якщо сила струму (i) є кількість електричності, що перейшла за 1 секунду, то загальна її кількість (Q), що перейде за якийсь час (t), буде: $Q = it$, звідки:

$$q = \frac{B \cdot A}{X} \cdot Q$$

Коли хочемо знати кількість електричності, перенесеної 1 грам-атомом якоїсь речовини, то мусимо

замість q поставити A , тобто число, яке означає атомову вагу дотичного елементу. Одже в такому разі маємо:

$$A = \frac{B \cdot A}{X} \cdot Q \text{ або } Q = \frac{A \cdot X}{B \cdot A} = \frac{1}{B} \cdot X, \text{ де}$$

$$\frac{1}{B} = 96500 \text{ кул.}$$

Таким чином виходить, що значення $\frac{1}{B} = 96500$ кул. показує кількість електричності, зв'язаної з 1 грам-атомом одновалентного хемічного елементу. Означають її літерою F . Якщо грам-молекула водню має $6,022 \cdot 10^{23}$ молекул (Авогадрове число), то значить грам-атом має таке саме число атомів (N). Одже з цього можна обрахувати ту кількість електричності, яка зв'язана з одним атомом. Англійський хемік Стоней запропонував (1891) назвати цю кількість електроном (e). Вона визначається на основі попередніх даних так:

$$e = \frac{F}{N} = \frac{96500 \text{ кул.}}{6,022 \cdot 10^{23}} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ кул.}$$

$$\text{або } 4,806 \cdot 10^{-10} \text{ es.}$$

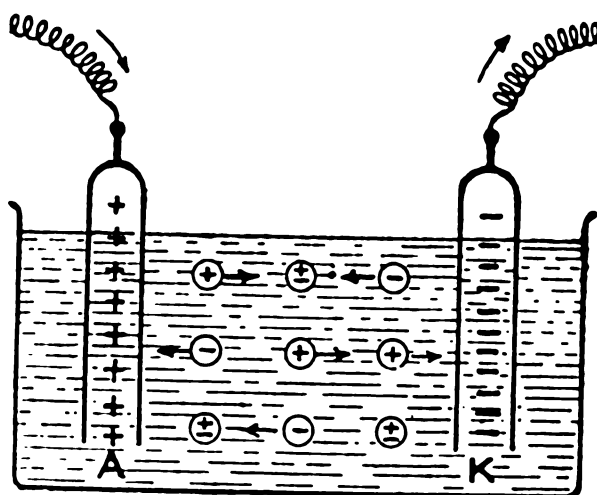
На підставі вивчення явища електролізу вчені фізики прийшли до висновку, що електричність має також характер атомічної будови, так що існують два роди атомів електричності: позитивні й негативні. Зокрема німецький фізик Гельмгольц висловив (1881) погляд, що афінітет хемічних елементів пояснюється тим, що на поверхні атомів знаходяться певні місця, де в по одному елементарному набою, що його значення подано

вище. Цю кількість електричності називають теж електричним квантом.

Наведені закони Фарадея знаходять пояснення в теорії іонів. Саме поняття іону створив ще Фарадей, але опрацював це питання головню німецький фізико-хімік Гітторф (1824—1914), який власне ствердив факт, що здібність творити іони мають тільки солі, кислоти й основи (луги). Однак велике значення для хімії поняття про іони виявилось після того, як шведський фізик Арреніус (1859—1927) своїми дослідженнями показав (1887) що, іони це є частини розщеплених молекул, які несуть на собі позитивні чи негативні набої. Позитивно чи негативно наладовані частки в розчині електролітів знаходяться поруч себе вільно і не зв'язані між собою. Це є стан електролітичної дисоціації, при якому в розчинах рівночасно існують катіони (позитивно наладовані іони) й аніони (негативно наладовані іони). Напр., у розчині кухонної солі атоми натрію позитивно наладовані є катіони, а атоми хлору негативно наладовані — аніони. Взагалі метали й водень є катіонами, навпаки остатки кислот (ангідриди) й остатки лугів (гідроксили) є аніонами. Аніони можуть бути нескладні, напр., Cl^- , але бувають і дуже складні, як згадувані вже комплексні. Завдяки теорії іонів електролізу легко пояснюється елементарними законами науки про електричність.

Як катіони, так і аніони несуть набої відповідно до своєї валентії. Одже, водень і одновалентні метали мають по 1 позитивному набою, двовалентні — 2, тривалентні — 3 і т. д. Кількість негативних набоїв кислотних остатків визначається атомністю відповідної кислоти (тобто здібністю її в'язати

- певне число одновалентних металів при творенні солей), як, напр., оцтова кислота є одноатомна, сульфатова двоатомна і т. д. Гідроксил несе один негативний набій. Якщо до розчину електроліту понурити два електроди й перепускати електричний струм, то між ними повстає електричне поле, наслідком чого однойменні набої починають відштовхуватись, а різнойменні притягатись. Одже, негативно наладовані аніони будуть посуватись



у напрямку до позитивного електроду — аноду, а позитивно наладовані катіони посуватимуться до негативного електроду — катода, як це схематично можемо представити на рисунку, де *A* є анод, *K* є катод, нерозщеплені молекули означені кружками із $\pm$, а іони означені кружками із знаком $+$ чи $-$ та стрілками, які вказують напрям їх руху. (Саму назву такої електрично наладованої частки „іон“ взято з грецького для означення її рухливого характеру.)

Пересуваючись у тому чи іншому напрямку, іони несуть із собою електричні набої, що їх вони віддають відповідному електродові й стають після

цього неналадованими атомами дотичного елемента. Таким чином явище переходу електричного струму через розчин електроліту й явище електролізу є цілком ідентичне. З погляду теорії іонів зовсім зрозумілим стає й те явище, що кількість відложеної на електроді речовини збільшується відповідно до збільшення електричного струму з одного боку, та є вона при однаковому струмі пропорційною до хемічних еквівалентів з другого боку. Віддавши свої набої електродові й перетворившись на звичайні атоми хемічного елемента, дотеперішні іони можуть злучитись між собою й утворити молекули відповідного тіла. Якщо це тіло буде газове, то такий газ може виходити до повітря. В інших випадках такі атоми можуть осідати на електроді. Одначе тут можуть відбуватись і складніші процеси, як, напр., сполучення з самим електродом (роз'їдання його) або сполучення з водою, в якій розчиняється електроліт. В деталі цих побічних процесів ми тут не будемо входити. Нам йде тільки про те, щоб вияснити суть теорії іонів та ілюструвати її кількома загальними прикладами. Завважимо ще тільки, що так само, як дисоціація газів при нагріванні досягає різного ступеня в залежності від температури, може бути теж різний ступінь електролітичної дисоціації. Електроліт є в стані тим більшої дисоціації, чим слабший є його розчин. При слабкій концентрації він досягає повної дисоціації, але при більшій концентрації тільки якась певна частина його молекул дисоціює, а решта залишається нерозщепленими. Коли взяти, скамежо, якусь кількість звичайної кухонної соли й приготувати з неї слабкий розчин, то при повній дисоціації в даному

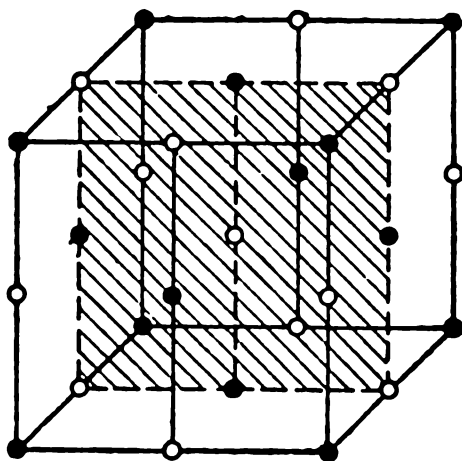
обсязі розчину утвориться іонів натрію стільки, скільки було раніше молекул соли, і таке ж число буде іонів хлору, тобто разом усіх іонів буде два рази більше, ніж було молекул. При неповній дисоціації, samozрозуміло, буде число іонів менше, так що загальне число часточок (нерозщеплених молекул та катіонів і аніонів) може бути $1\frac{1}{4}$ чи $1\frac{1}{2}$ рази більше, ніж було спочатку молекул соли. Подібно до того, як у кінетиці газів грає роль число часточок, а не їх характер (молекули чи атоми), так і в розчинах число часточок, а не їх характер визначає пружність пари розчину, тобто впливає на підвищення точки кипіння чи пониження точки замерзання розчину. Тому то, як ми раніше згадували, для визначення молекулярної ваги ембуліоскопічною чи кріоскопічною методою вживається неелектролітів, бо ж електроліти все бувають у стані більшої чи меншої дисоціації. Дослідженням розчинів різних солей за різної концентрації стверджено, що ступінь дисоціації, обчислений на основі закону Рауля, завжди відповідає тому ступневі дисоціації, що його обчислюється на підставі досліджень електропровідності розчину даного тіла. В тому полягає закон Арреніуса. Цей закон, пов'язуючи явища нібито зовсім різного порядку, як електропровідність і точка замерзання чи точка кипіння, є не тільки поважним аргументом на користь теорії іонів, але разом із тим він приносить ще один аргумент на користь теорії атомічно-молекулярної будови матерії. Ствердження внутрішнього зв'язку між такими, здавалося б, різними феноменами, як щойно згадані, поруч із іншими раніше згадуваними науковими твердженнями, доказує, що наша уява

про таку будову матеріальних тіл не є ніякою фікцією, та що матерія реально існує у формі атомів і молекул.

Додамо ще кілька слів про тіла в твердому агрегатному стані, коли поодинокі молекули тіла щільно прилягають одна до другої. Тверді фізичні тіла бувають аморфні й кристалічні. Їх властивості залежать від способу внутрімолекулярного утворення атомів. Молекули аморфних тіл досягають часом колосальних розмірів. Звичайно, що ця „колосальність“ є релятивна, тобто як на ту найменшу часточку фізичного тіла. В такій молекулі атоми можуть бути пов'язані між собою лінійно або в площині чи просторово. У першому випадку вони творять ланцюг одного виміру, в другому — розгалуження в двох вимірах і, зрештою, в третьому випадку атоми в молекулі розложені просторово в трьох вимірах. Досліди показують, що, напр., молекула-гігант кавчуку належить до першого типу та має форму довгого зігнатованого ланцюга. При вчинку зовнішньої сили атоми її виходять із рівноваги, але потім вертаються на своє попереднє місце. Цим і пояснюється з одного боку еластичність, а з другого певність кавчука. У молекулах графіту, каоліну чи слюди атоми положені вже в двох вимірах. Таким характером їх положення пояснюється властива цим тілам здібність лупитись на тоненькі пласточки. Зрештою просторове положення атомів у молекулах кварцу, полевого шпату чи діаманту є причиною того, що ці тіла визначаються великою твердістю.

1912 року німецький фізик Лауе ствердив, що при перепусканні через кристали Рентгенового проміння спостерігається явище дифракції, бо молекули

кристалів творять натуральну дифракційну решітку значно дрібнішу, ніж її далось б приготувати штучно. Це ствердження послужило основою для дослідження внутрішньої будови кристалів. Досліди показали, що в металів атоми положені симетрично в просторі, займаючи місця на рогах кубіка та в його центрі, або в центрі шести його площ, так що й тут утворюється певного роду решітка, а віддадь по грані кубіка між поодинокими атомами для даного металу є константною. Міряння показали, що ця константа, напр., для натрію є рівна $4,3 \cdot 10^{-8}$ см., а залізо, в залежності від стану, має константи $2,9 \cdot 10^{-8}$ та $3,65 \cdot 10^{-8}$. Положення атомів у молекулах солей є вже інакше. Напр., в моле-



кулах кухонної соли натрієві атоми займають місця на рогах кубіка та в центрі його площ, а хлорові атоми знаходяться на середині кожної грані кубіка. Таким чином положення поодиноких атомів обох елементів графічно представляється так, як це показано на наведеному образі, де точками означено атоми натрію й кружками атоми хлору.

Одже, й тут наслідком правильного положення атомів утворюється також натуральна решітка.

Довжину грані кубіка обчислено для кристалів кухонної соли на $5,628 \cdot 10^{-8}$ см., тобто така є її константа. Як вище вже було згадано, існують т. зв. мішані кристали. Досліди показали, що такі мішані кристали створюються в тому разі, коли константи дотичних солей мають приблизно однакове значення. Так, константа хлориду калію є $3,14 \cdot 10^{-8}$ см., а хлориду рубідію є $3,27 \cdot 10^{-8}$. Одже різниця невелика й вони утворюють мішані кристали. Хлорид натрію (кухонна сіль) має константу, яка далеко більше різниться від вищеподаних, бо є вона $2,814 \cdot 10^{-8}$. Одже, кухонна сіль не створює мішаних кристалів навіть і з хлоридом калію, хоч вони взагалі створюють кристали однакової форми. Питання про одночасне існування всіх трьох чи двох агрегатних станів тіл ми тут не торкаємось.

Впродовж яких шести десятків років від часу, коли Дальтон виступив із своєю модерньою інтерпретацією стародавньої атомістики, назбиралося багато науково-доказового матеріалу на користь правдивості його ідеї. Навіть неуспіх надто передчасних висновків із Дальтонової теорії, що їх зробив був свого часу Праут, не міг захитати її в основі, бо з часом усе прибувало доказів її правдивості. Але вповні можна згодитись із поглядом деяких авторів, що мабуть чи не найбільшим тріумфом атомової теорії було появлення натуральної системи хемічних елементів, побудованої на основі їх атомової ваги, бо в цій власне системі знайшла вираз думка про залежність властивостей даного хемічного елементу від його атомової ваги.

IV.

КЛАСИФІКАЦІЯ ХЕМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ. ПЕРІОДИЧНА ЇХ СИСТЕМА НА ОСНОВІ АТОМОВОЇ ВАГИ.

Переходимо тепер до викладу про класифікацію хемічних елементів із коротенькою згадкою про різні спроби їх класифікувати в минулому.

Коли в даній галузі знання стверджено певну кількість явищ і фактів, то стараються їх так чи інакше усистематизувати не тільки для більш зручної переглядності, але й з метою показати між ними певний внутрішній зв'язок або причинову залежність. Так було, звичайно, і в галузі хемічної науки. Одже й тут уже віддавна почалися спроби уложити здобуті відомості до певної системи, а зокрема класифікувати хемічні елементи. Не заходячи надто далеко до минувшини, згадаємо, що Парацельз свої основні три елементи (ртуть — Mercurius, сірка — Sulphur і сіль — Sal) уважав за якесь ніби відображення у матеріальному світі чи якусь матеріалізацію певних феноменів у світі людського духу, філософському й теософському. Згідно з цим система Парацельза виглядала так:

Світ людини	Душа	Дух	Тіло
Світ філософії	Повітря	Огонь	Земля
Світ матерії	Ртуть	Сірка	Сіль
Світ теософії	Бог-Отець	Бог-Син	Бог-Дух Св.

В добі алхемії й іятрохемії вважалося, що не тільки людина є залежна від небесних світил, але

й хемічні елементи чи, точніше кажучи, метали, які знаходяться на землі, свої властивості завдячують відповідним планетам. Наочно ця залежність мала бути показана тим, що для означення металів уживалося астрологічних знаків відповідних планет-патронес. *) Уявлювані таємничі зв'язки між земними хемічними елементами й явищами духового життя людини або й найвищою силою чи небесними світилами зовсім не характеризують якусь пов'язаність між собою тих елементів. Одже, то були цілком спекулятивного характеру міркування, що не можуть служити за підставу для класифікації, бо не мають під собою об'єктивно-реальної бази.

Згодом за основу класифікації хемічних елементів взято було певні їх властивості. Найскорше увагу дослідників звернула на себе легко помітна властивість, що одні елементи мають характер металів, а другі неметалів чи металоїдів. Такий поділ хемічних елементів зберігся власне й донині, але

*) А що та уявлювана залежність хемічних елементів від небесних світил глибоко була закорінилася в свідомості наукових дослідників, про це свідчить факт, що ще і досі існують рудименти колишньої термінології як у фармації, так і в загальній хемії. Зв'язок між елементами й планетами за тодішніми поглядами мав бути такий:

Золото — Сонце (Sol)	Залізо — Марс
Срібло — Місяць (Luna)	Цина — Юпитер
Ртуть — Меркурій	Оливо — Сатурн
Мідь — Венера	

Одже ще й тепер уживаються такі вирази, як *Luna cornua* — хлорид срібла, „рогове срібло“ [*AgCl*], *Saturnus flammans* — нітрат олива [*Pb(NO₃)₂*], *Crocus Martis* — оксид заліза [*Fe₂O₃*], *Mercurius jodatus ruber* — йодид ртуті [*HgJ₂*] і т. д. У хемії ще й досі збереглися назви „меркуро“ і „меркурі“.

тепер він ніяк не грає важнішої ролі в систематиці елементів, а то тим більше, що деякі елементи виявляють утраквістичний характер. Однак навіть ще й для Лявуазьє ця класифікація була головною: відомі тоді елементи поділяли на ці дві основні групи, де вже далі вони класифікувалися за певними ніби другорядними ознаками. Берцеліус систематизував (1818) елементи на основі електрохемічної їх природи, при чому він уважав за найбільш позитивний елемент калій, а за найбільш негативний — кисень, оцінюючи флюор як менше негативний, ніж кисень, що з погляду модерньої науки є очевидною хибою. Спроба Праута впорядкувати хемічні елементи згідно з його гіпотезою про повстання їх із водню не прийнялася в науці власне з тої причини, що й саму його гіпотезу, як ми вище згадували, відкинено було, бо на тодішній стан хемічної науки вона була ще передчасною. Не дала позитивних вислідів також і спроба класифікувати хемічні елементи за їх валентністю, бо виявилось, що в такому разі деякі елементи мали би фігурувати на кількох різних місцях. Далеко успішніші були спроби систематизувати хемічні елементи на основі їх атомової ваги. Тут напочатку були труднощі, бо з одного боку атомові ваги не були точно визначені, а з другого боку часом замість атомової ваги уживалося значення еквіваленту. Одначе згодом ці хиби було усунено, і справа уложення натуральної системи хемічних елементів значно посунулася наперед.

Ще в 1817 році німецький хемік Деберайнер (1780—1849) помітив, що атомова вага стронцію є середнім арифметичним числом між атомовою вагою кальцію й барію. Пізніше він ствердив, що

таких трійок серед хемічних елементів є більше. Після опублікування (1829) Деберайнером вислідів його студій над цими трійками, що їх він назвав тріядами, довгий час наукові дослідники не звертали уваги на стверджений ним факт, що середні члени тріяд виявляють не тільки середню атомову вагу, але й середні між двома крайніми членами фізико-хемічні властивості. Одначе на самому початку другої половини ХІХ ст. ця обставина звернула на себе увагу багатьох учених. Зокрема французькі дослідники Дюма (1800—1884) та вже раніше згадуваний Стас ствердили, що аж 22 елементи творять подібні до Деберайнерових тріяди, при чому вони вивели навіть певну закономірність при збільшенні атомової ваги, як, напр.: літій = 7, натрій = $7 + (1.16) = 23$, калій = $7 + (2.16) = 39$; або: кисень = 16, сірка = $16 + (1.16) = 32$, селен = $16 + (4.16) = 80$, телур = $16 + (7.16) = 128$, чи ще: магnezій = 24, кальцій = $24 + (1.16) = 40$, стронцій = $24 + (4.16) = 88$, барій = $24 + (7.16) = 136$. Питанням існування тріяд серед хемічних елементів займалося багато дослідників, яких тут перечисляти не будемо. Одначе згадаємо, що англійський дослідник Одлінг (1829—1921), нав'язуючи на праці інших учених, уложив (1857) хемічні елементи до 13 груп по 3 чи 6 членів кожна, при чому деякі з цих груп дуже подібні до натуральних груп прийнятої тепер системи хемічних елементів. Але знов німець Петтенкофер (1818—1901) уважав, що явище тріяд серед хемічних елементів є цілком випадкове, та сам замість того висловив (1850) думку, що еквіваленти подібних до себе хемічних елементів виявляють сталі числові різниці й творять аритме-

тичні ряди, які нагадують собою ряди т. зв. радикалів органічних злук. Незалежно від Петтенкофера англієць Кук (1827—1894) висловив був (1854) також подібні думки. Теж англієць Гледстон (1827—1902) упорядкував був (1853) хемічні елементи відповідно до того, як збільшуються їх атомові ваги. У цьому відношенні він був якимсь предтечею майбутніх авторів періодичної системи елементів. Зважаючи на те, що Гледстон користувався далеко неточними визначеннями атомової ваги, не міг він ствердити явища періодичности властивостей хемічних елементів у зв'язку зі збільшенням атомової ваги. Одже він усистематизував їх так, що поділив цілком штучно на три групи, а то саме: групу елементів із майже рівною атомовою вагою; групу елементів, що їх атомові ваги творять арифметичний ряд, і, зрештою, групу елементів, яких атомові ваги творять ряд геометричний. Треба тут згадати ще німця Штреккера (1822—1871), що підсумував був дотеперішні спроби впорядкувати хемічні елементи на основі числових відносин між їх атомовими вагами чи еквівалентами та висловив (1859) думку, що стверджені раніше відношення числового характеру не є тільки випадком та що за тим криється, очевидно, певна закономірність у природі самих хемічних елементів.

Від 1860 року, коли за ініціативою вище згаданого італійського вченого Каніццаро стали вже загально користуватись атомовими вагами замість досі часто вживаних еквівалентів, наука прискореним кроком ішла в напрямі виявлення тої закономірности, про яку думав щойно згаданий Штреккер. Одже, французький інженер де-Шанкуртуа (1819—1886) уже в 1862 році впорядкував хемічні

елементи так, що на циліндрі зазначав атомові ваги по спіралі під кутом 45° відповідно до збільшення їх. При тому він ствердив, що аналогічні хемічні елементи містяться на тій самій прямовісній лінії. Тут цілком ясно зарисовуються вже основи натуральної системи хемічних елементів, яка незабаром уродилася. Ще ясніше вони виступають у роботах англійця Ньюлендса (1838—1898), що їх він опублікував у 1864—6 р. р. Цей дослідник упорядкував хемічні елементи також відповідно до збільшення їх атомової ваги, означуючи їх за чергою порядковими числами. При тому він ствердив, що кожний восьмий з черги елемент виявляє дуже подібні фізико-хемічні властивості, через що він і назвав це законом октав, якому підлягають також і стверджені раніше тріади.

Сучасники Ньюлендса поставилися до його закону дуже скептично чи принаймні байдуже. Але сама ідея періодичності вже „висіла в повітрі“, бо вже в тому самому часі німецький хемік Лот. Майер (1830—1895) також систематизував хемічні елементи за їх атомовими вагами і ствердив закономірну зміну валентности у зв'язку зі збільшенням атомової ваги, як також і певну закономірність різниці атомової ваги подібних до себе хемічних елементів. Ще в 1864 році він склав табличку хемічних елементів, в якій уже виступали наяво певні натуральні групи, що їх бачимо на тепер прийнятій таблиці. Одначе тої своєї таблички Л. Майер не опублікував, не надаючи їй, очевидно, великого значення, хоч пізніше й покликувався на цей свій еляборат, обстоюючи своє право пріоритету, коли зовсім незалежно від нього російський хемік Д. І. Менделєєв (1834—1907) на початку

1869 року опублікував у російському й німецькому журналах перший нарис своєї періодичної системи хемічних елементів, як натуральної їх класифікації. *) Укладаючи свою систему елементів, Д. Менделєєв мав таку провідну думку: властивості хемічних елементів детермінує маса матерії, її виявленням є вага, а тому найприроднішим є шукати залежності між властивостями й подібностями елементів з одного боку та їх атомовими вагами з другого боку. Докладно виклав і обірунтував Менделєєв свою періодичну систему у статті, надрукованій у 1871 році в „Liebig's Annalen“, а ще докладніше у своєму капітальному творі, над яким працював три роки й який появився першим виданням у 1871 році. Цей твір носив назву „Основы химии“. Він був потім перекладений на мови мабуть усіх культурних народів, бо об'єктивно треба визнати, що то був твір високої вартости. Тим часом і Л. Майер у кінці 1869 року опублікував статтю в тих самих Лібіхових Анналах, наво-

*) Ми тут не торкаємось питання пріоритету, бо це не має безпосереднього відношення до нашої теми. Зазначимо хіба тільки, що свого часу з боку французів заявлялося претенсії на пріоритетне право для їхнього земляка де-Шанкуртуа, а англійці знов мали такі ж претенсії для свого земляка Ньюлендса. Німецькі автори (правда не всі) ще й тепер ставлять ім'я Л. Майера перед іменем Д. Менделєєва. Цей же останній виявив гідну великої людини скромність, заявляючи, що дійсними основоположниками періодичної системи були ті наукові дослідники, які своїми працями доказали правдивість знайденого закону періодичности. Зрештою Менделєєв при нагоді дебати відносно права пріоритету висловився, що при досягненні певного ступня розвитку науки певні ідеї „висять у воздуху“, а взагалі ж вони ніколи не виникають якось раптово, тільки появляються у висліді довгої низки праць попередніх дослідників.

дячи свою систему елементів з року 1868 у формі таблиці, подібної до таблиці Менделєєва, причому він її підпирав розвідкою над відношенням між атомовими вагами хемічних елементів і їх атомовими обсягами. Появилася й низка публікацій різних інших авторів, що вислідами своїх дослідів показували правдивість явища періодичности властивостей хемічних елементів у зв'язку зі збільшенням їх атомової ваги.

Як ми вже вище завважили, навіть сам Л. Майер спочатку не надавав великого значення ствердженню ним факту періодичности. Так само й перша публікація Д. Менделєєва не зробила серед ученого світу надто великого враження. Одначе сам Менделєєв підходив до питання систематизації елементів із ширшим розглядом і глибшим розумінням. Він уважав, що явище періодичности властивостей елементів є функціонально залежне від маси атомів, тобто від їх ваги. Це явище, по думці Менделєєва, не було лише якимсь „правилом на подобу правил граматичних“, як то думали його попередники, тільки був це закон природи, подібний до інших, раніше відкритих законів природи, як от газові закони чи закони постійних і кратних відношень при сполученні елементів. Із такої оцінки явища періодичности Менделєєв зробив належні висновки, виходячи з засади, що закони природи ніяких виїмків не знають. Отже, коли він укладав свою таблицю, то в той час ще багато було невідкритих елементів, бо вже у 1869 році відомо було всього 58 хемічних елементів, а в таблиці з 1871 року він наводить тільки 63 елементи із числа тепер уже відомих 92. Таким чином у складеній Менделєєвим таблиці було чимало незаповнених місць. Пере-

свідчений у тому, що відкритий ним закон періодичності дійсно є законом природи, він проголосив, що на ті незаповнені місця мають прийти тим часом ще невідкриті елементи, при чому на основі цього закону він наперед визначив атомові ваги й фізико-хімічні властивості деяких тоді ще невідомих елементів. Правдивою сатисфакцією було для Менделєєва, коли за порівнюючи недовгий час француз Лекок де-Буабодран відкрив елемент галій (1875), швед Нільсон відкрив скандій (1879) і потім німець Вінклер відкрив германій (1886), при чому всі вони своїми властивостями й атомовими вагами вповні відповідали тим трьом елементам, що їх передбачував Менделєєв та що їх він схарактеризував під назвами „екабор“, „екаалюміній“ та „екасиліцій“, вказавши їм місця в таблиці під бором, алюмінієм і силіцієм.*) Однак Менделєєв пішов у своїх висновках ще й далі, а саме заявляючи, що коли за характером своїх хімічних властивостей якийсь елемент мав би зайняти в таблиці певне місце, але за своєю атомовою вагою йому не належалося б бути на тому місці, то в такому разі виходило б, що або його атомову вагу неправильно визначено й її треба відповідно виправити, або відкритий закон періодичності не є законом природи, якщо атомова вага є правильна. Сам він стояв на становищі, що явище періодичності є природним законом, а тому запропонував подвоїти атомову вагу урану й виправити атом. вагу це-

*) Звідси й назва тих „ека“-елементів, бо „ека“ по-санскритському значить „перший“. Отже: перший за бором, алюмінієм чи силіцієм. Про відкриття „екамангану“ й „двімангану“ див. у моїй книжці „Хімічні елементи мазурій і реній“. Прага, 1929.

рію.*) Незабаром праці різних дослідників показали, що названі елементи мають дійсно таку атомову вагу, як її вказав Менделєєв. Після цього й наслідком праць багатьох дослідників класифікація хемічних елементів у формі періодичної системи остаточно закріпилась у хемічній науці. Зважаючи на те, що в її основі лежить не якась чисто спекулятивного характеру ідея чи штучна комбінація, тільки в природі існуюча вага атомів, ця класифікація називається природною чи натуральною системою хемічних елементів, а сама таблиця носить ім'я Д. І. Менделєєва, хоч у німецькій літературі її здебільшого називають таблицею Майєра-Менделєєва.

Із наведеної далі (стор. 91) періодичної системи хемічних елементів видно, як уложена сама таблиця із поділом елементів на групи по прямовісних лініях і на ряди по лініях поземних. Вигляд самої таблиці з бігом часу підлягав деяким невеликим змінам. Так групи від I до VIII вказують на валентність дотичних елементів. Але коли в 1895—98 р. р. відкрито було т. зв. „шляхетні“ елементи, які не сполучаються з іншими елементами, тобто не виявляють ніякої валентности, то з огляду на таку їх властивість заведено було для них окрему групу під числом 0, що її писалося до недавна перед I групою, але потім пересунено було

*) Інакше оцінював закон періодичности Лот. Майєр, що в 1870 році писав про це так: „Було б нерозважним змінити дотепер прийняті атомові ваги, маючи таку непевну підставу“, як періодичність. Із цього виходить, що він не вважав це явище за закон природи, тільки хіба за певну „правильність“. Отже тут зовсім ясно виступав різниця поглядів Д. Менделєєва й Л. Майєра.

Періодична система хемічних елементів.

П е р і о д и
малі
великі

Ряди	Г р у п п и								
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	0.
1.	1. <i>H</i> 1,008								2. <i>He</i> 4,003
2.	3. <i>Li</i> 6,940	4. <i>Be</i> 9,02	5. <i>B</i> 10,82	6. <i>C</i> 12,01	7. <i>N</i> 14,008	8. <i>O</i> 16,000	9. <i>F</i> 19,000		10. <i>Ne</i> 20,183
3.	11. <i>Na</i> 22,997	12. <i>Mg</i> 24,32	13. <i>Al</i> 26,97	14. <i>Si</i> 28,06	15. <i>P</i> 31,02	16. <i>S</i> 32,06	17. <i>Cl</i> 35,457		18. <i>A</i> 39,944
4.	19. <i>K</i> 39,096	20. <i>Ca</i> 40,08	21. <i>Sc</i> 45,10	22. <i>Ti</i> 47,90	23. <i>V</i> 50,95	24. <i>Cr</i> 52,01	25. <i>Mn</i> 54,93	26. <i>Fe</i> 27. <i>Co</i> 28. <i>Ni</i> 55,84 58,94 58,69	
5.	29. <i>Cu</i> 63,57	30. <i>Zn</i> 65,38	31. <i>Ga</i> 69,72	32. <i>Ge</i> 72,60	33. <i>As</i> 74,91	34. <i>Se</i> 78,96	35. <i>Br</i> 79,916		36. <i>Kr</i> 83,7
6.	37. <i>Rb</i> 85,48	38. <i>Sr</i> 87,63	39. <i>Y</i> 88,92	40. <i>Zr</i> 91,22	41. <i>Nb</i> 92,91	42. <i>Mo</i> 95,95	43. <i>Ma</i> —	44. <i>Ru</i> 45. <i>Rh</i> 46. <i>Pd</i> 101,7 102,91 106,7	
7.	47. <i>Ag</i> 107,88	48. <i>Cd</i> 112,41	49. <i>In</i> 114,76	50. <i>Sn</i> 118,70	51. <i>Sb</i> 121,76	52. <i>Te</i> 127,61	53. <i>J</i> 126,92		54. <i>X</i> 131,3
8.	55. <i>Cs</i> 132,91	56. <i>Ba</i> 137,36	57—71 рід. зем.	72. <i>Hf</i> 178,6	73. <i>Ta</i> 180,88	74. <i>W</i> 183,92	75. <i>Re</i> 186,31	76. <i>Os</i> 77. <i>Ir</i> 78. <i>Pt</i> 190,2 193,1 195,23	
9.	79. <i>Au</i> 197,2	80. <i>Hg</i> 200,61	81. <i>Tl</i> 204,39	82. <i>Pb</i> 207,21	83. <i>Bi</i> 209,00	84. <i>Po</i> 210	85. <i>Ab</i> —		86. <i>Rn</i> 222
10.	87. <i>Vg</i> —	88. <i>Ra</i> 226,05	89. <i>Ac</i> 227	90. <i>Th</i> 232,12	91. <i>Pa</i> 231	92. <i>U</i> 238,07			

аж за VIII групу з міркувань, які випливають, із найновіших досягнень фізико-хімічної науки й про які мова буде далі. Знов же згодом відкрито було т. зв. рідкі землі, тобто хімічні елементи, які знаходяться в мінералах, що їх уважалося раніше за рідкі. Ці елементи не вміщуються нормально до таблиці, а тому їх тепер здебільшого подається окремо без втиснення до якихось певних клітин таблиці. Згідно з цими змінами і подаємо ми що натуральну систему хімічних елементів, при чому в таблиці зазначаємо чергове число дотичного елементу, його символ і під ним атомову вагу, але розділення на підгрупи не означаємо.

Елементи групи рідких земель.

57. <i>La</i> 138,92	58. <i>Ce</i> 140,13	59. <i>Pr</i> 140,92	60. <i>Nd</i> 144,27	61. <i>Il</i> —	62. <i>Sm</i> 150,43	63. <i>Eu</i> 152,0	64. <i>Gd</i> 156,9
65. <i>Tb</i> 159,2	66. <i>Dy</i> 162,46	67. <i>Ho</i> 164,94	68. <i>Er</i> 167,2	69. <i>Tm</i> 169,4	70. <i>Yb</i> 173,04	71. <i>Lu</i> 175,0	

Із наведеної таблиці бачимо, що всі хімічні елементи поділяються на вісім, а з 0-ою групою на дев'ять груп, при чому вони упорядковані в десятих рядках. Перший ряд має всього тільки два елементи — водень і гелій, що в загальній системі займають особливе положення. Далі вже йдуть періоди, а то два малі й три великі, де останній 10-ий ряд являє собою тільки початок четвертого великого періоду. Малі періоди складаються з восьми членів кожний; перші два великі періоди складаються кожний із вісімнадцяти членів; наступний великий період має тридцять два члени, числячи тут і п'ятнадцять елементів групи рідких земель, а дальший

великий період заступлений всього тільки шістьома членами, хоч і він, правдоподібно, мусів мати також тридцять два члени. Отже, коли числити за окремий період теж і перший дво-членний ряд, то в такому разі число членів поодиноких періодів 2, 8, 8, 18, 18, 32 і мабуть за давніх часів ще 32 можна представити таким рядом: $2 \times 1^2 = 2$, $2 \times 2^2 = 8$, $2 \times 3^2 = 18$ і $2 \times 4^2 = 32$. Цей характеристичний ряд має свій глибший зміст, як то виходить із будови атома.

Кожний період, чи малий чи великий, починається хемічним елементом, що стоїть у I групі й своєю природою є металом із сильно-електропозитивним алкалічним (луговим) характером. Ступнево, числячи від ліва до права, в тому самому ряді елементи втрачають металевий характер, так що в VII групі хемічні елементи мають виразно електронегативний характер. Одначе у великих періодах цей перехід від сильно-лугових металів до кислотних металоїдів, репрезентованих групою галогенів, відбувається дещо складніше, ніж у малих періодах, бо ж у великих періодах ціла низка їх членів переходить два рази шлях від I до VII групи, при чому належна до великих періодів VIII група становить ніби якийсь місток між першою й другою половиною цілого періоду і тому елементи цієї групи виявляють теж властивості переходового характеру. Друга половина великого періоду назагал є подібна до першої щодо властивостей поодиноких елементів, належних до однакових груп, але ці властивості все ж таки не є цілковито подібні, а тому й виникають підгрупи. Зрештою, кожний період закінчується інертним „шляхетним“ елементом. Валентність хемічних елементів у кожному ряді відносно

кисню зростає від I до VII групи правильно від 1 до 7, але відносно водню найвищою вона є в IV групі, де є рівна 4, а в напрямі до I й VII групи знижується до 1 (оскільки елементи I—III груп взагалі творять із воднем злуки). Щодо властивостей поодиноких елементів у самих групах, тобто по прямовісній згори надолину, то кожна підгрупа охоплює гомологи, в яких збільшення електропозитивності, згідно зменшення електронегативності, йде відповідно до збільшення їх атомової ваги, так що долішні члени підгрупи виявляють властивості більш лугові чи менше кислотні, ніж горішні. Відносно фізичних властивостей можна загально сказати, що й вони також змінюються з певною закономірністю в залежності від збільшення атомової ваги хемічних елементів. Зрештою, на цьому місці зазначимо ще й те, що чергове число якогось елементу не тільки визначає його місце в періодичній системі, але воно характеризує також, як це ми побачимо далі, його цілу природу, бо означає число елементарних електричних набойів його атомового ядра, яке власне й детермінує властивості атома дотичного елементу, а тим самим і даного елементарного тіла.

Періодичність властивостей хемічних елементів у зв'язку зі збільшенням їх атомової ваги цілком ясно видно з наведеної таблиці. Але треба зазначити, що в трьох випадках бачимо в таблиці неправильності, а то власне: на основі хемічної природи в таблиці поставлено аргон перед калієм, кобальт перед ніклем і телур перед йодом, хоч за своїми атомовими вагами в кожній парі цих елементів перші мали б стояти другими і навпаки. Коли свого часу Менделєєв запропонував змінити атомові ваги

деяких елементів з уваги на їх хемічну природу й така зміна вповні була оправдана пізнішими дослідками, то в названих трьох випадках зовсім не може приходити в увагу питання про зміну атомової ваги дотичних елементів, бо її визначено для всіх шести елементів з найбільшою точністю і безсумнівно. Для самого автора періодичної системи Д. Менделєєва ця проблема спочатку зовсім не виникала, бо в його таблиці з 1871 року арґон взагалі ще не фігурує, атомові ваги кобальта й ніклю показано однакові (рівних 59), а атомові ваги телура й йоду йдуть за собою правильно, бо визначено було їх неправильно ($Te = 125$ і $J = 127$).*) Згодом одначе проблема та стала перед науковими дослідниками кардинально, вимагаючи її розв'язання. Як сам Менделєєв, так і його послідовники виходили з такого розуміння хемічного елементу, що це є певна індивідуальність, якої властивості, нарешті, залежать від атомової ваги, характеристичної й незмінної для даного елементу. Висвітлити очевидну неправильність у періодичній системі, виходячи з такого становища, представлялося справою зовсім безнадійною. Своє вияснення ця нібито незакономірність у періодичності знайшла пізніше, коли було відкрито явище ізотопії, про що також будемо говорити дещо пізніше.

Очевидний виїмок у періодичній системі хемічних елементів представляє також і група рідких

*) Треба сказати, що подані того року в таблиці Менделєєва атомові ваги далеко не визначаються точністю, причому з загального числа 63 зазначених у ній хемічних елементів атомову вагу тільки трьох елементів подано з точністю до 0,1, а то Re — 9,4, алюміній — 27,3 й зрештою Cl — 35,5. Всі інші атомові ваги подано в цілих числах.

земель. Ці елементи мають досить близькі атомові ваги й дуже подібні хемічні властивості, так що їх навіть трудно відділити один від одного. Одначе це є все хемічні індивідуальності, й кожний із елементів має своє чергове число, тобто кожний із тих елементів мав би зайняти в таблиці певне місце. Але так воно не є, бо ж попередник цієї групи барій (чер. чис. 56) і наступний за нею гафній (чер. чис. 72) за своїми атомовими вагами й хемічними властивостями займають нормально належні їм місця, а елементи групи рідких земель (чер. чис. 57—71) ніяк неможна нормально вмістити до таблиці. Одначе всі вони, як тепер уже є точно стверджено науковими дослідями, зовсім правильно мають відповідні чергові числа, а тим самим і свої відповідні набой атомового ядра, тобто з іншого погляду не являють собою ніякого виїмку серед усіх інших хемічних елементів. Одже з усього того, що вище було дуже коротко сказано про періодичну систему хемічних елементів, можна було б зробити такий висновок: явище періодичности властивостей хемічних елементів у зв'язку зі збільшенням їх атомової ваги доказується науково ствердженими фактами й тому його треба вважати за об'єктивну правду. Одначе це об'єктивно стверджене явище не є цілою правдою, а тільки частиною її. Якщо може й не ціла, то в кожному разі ширша правда полягає в тому, що всі хемічні елементи внутрішньо пов'язані між собою однаковістю природи тих складових часточок, що з них повстали атоми поодиноких елементів, а певна закономірність щодо комбінацій цих часточок у складі атомів виявляється почасти також і в явищі періодичности властивостей у зв'язку зі зміною атомової ваги. Таким чином натуральна

система хемічних елементів, основана на величині атомової ваги, не тратить свого значення не тільки як науково обірунтована класифікаційна система, але також і в інших відношеннях. Зокрема велику послугу вона зробила науковим дослідникам, що працювали над відкриттям ще невідомих хемічних елементів і визначенням їх атомової ваги й властивостей.

Тут тільки між іншим зазначимо, що кору нашої Землі на 99,9 % творять хемічні елементи з черговими числами від 1 до 29, а з того майже половина припадає на долю кисню й понад четвертину творить силіцій, коло 7,5 % алюміній, коло 5 % залізо, 3,4 % кальцій, 2,6 % натрій, 2,4 % калій, коло 2 % магnezій, а на деякі інші з цих головніших складників земної кори припадає тільки може 1 % або навіть лише 0,01 %. Значить 63 хемічні елементи (чергові числа 30—92) складають всього на всього 0,1 % земної кори. Американський дослідник Гаркінс ствердив (1917) таке явище: хемічні елементи з паристими черговими числами зустрічаються в природі значно (10—20 разів) частіше, ніж елементи з непаристими черговими числами. З цього ясно, як порівнюючи мало є на нашій Землі тих чотирьох елементів, що мають чергові числа 43, 61, 85 і 87. Тому-то їх і досі не здобуто в такій кількості, щоб з нею далось робити досвіди й визначити їх атомову вагу. З другого ж боку припускається, що вони не є стабільні й перетворюються на інші елементи.

Виходячи з тої самої засадничої думки, що й творці таблиці натуральної системи елементів, інші дослідники придумували різні інші способи укладання хемічних елементів до класифікаційної

системи. Не будемо тут над усіма цими спробами зупинятись, бо в них не виявляється якась нова ідея щодо систематизації хемічних елементів. Згадаймо тут тільки за одну з усіх тих спроб, а саме за систему данського вченого Юл. Томсена, який уложив її (1898) таким способом, що періоди Менделєєвої системи він писав не поземно, а прямо-вісно, при чому рисками сполучав елементи, приналежні до тої самої групи. Згадуємо про цю систему Томсена тому, що його земляк Бор нав'язав був на цю систему свою теорію будови атомів. Про це будемо говорити в дальшому розділі цього нашого нарису, а тепер переходимо до короткого обговорення деяких явищ оптичних, електричних та інших, що так чи інакше зв'язані з природою хемічних елементів та існуванням їх атомів.

V.

АТОМИ Й СВІТЛО. РАДІОАКТИВНІСТЬ.

Із фізики нам відомо, що соняшний спектр переривається певним числом темних ліній. Явище це завважив ще на початку минулого століття (1802) англійський дослідник Болластон, але докладніше перестудіював його німецький оптик Фраунгофер, що його іменем і називають ті темні лінії сонячного спектру. Дальші дослідни, а спеціально німця Кірхгофа, висвітлили причину цього явища. Цей останній доказав (1859), що темні Фраунгоферові лінії цілком відповідають характеристичним для кожного хемічного елементу баревним лініям у дотичній частині спектру та що вони є наслідком

абсорбції світла з певною довжиною хвиль хемічними елементами в газовому стані за високої температури. Все це дало підставу для впровадження в науку нової методи дослідження, тобто спектральної аналізи, що її творцями були той же Кірхгоф та німецький дослідник Бунзен. Завдяки цій новій методи стало можливим відкривати присутність навіть незначної кількості певного елемента на основі спектральної аналізи якогось тіла, бо дотичний елемент свою присутність завжди заманіфестує тим, що появляються або відповідні баревні лінії (чи від молекул смуги) в перерваному (лінійному) спектрі або на тих самих місцях темні лінії в абсорбційному спектрі. Такою методою відкрито було (1868—69) на Сонці присутність елемента гелію (звідти й походить його назва: сонце по-грецьки „геліос“) задовго перед тим, ніж його відкрито було на Землі (1895). Теж і інші елементи спочатку відкривались спектроскопічно, а вже потім їх було ізольовано та досліджувано їх властивості іншими фізико-хемічними методами.

Таким чином індивідуальність хемічного елемента виявляється також і в певних характеристичних для нього оптичних явищах. Близьчі досліді показали, що поодинокі елементи дають не одну лінію з певною довжиною хвиль, а кілька таких ліній або навіть велике їх число у різних частинах спектру, одже ліній різної барви та з різною довжиною хвиль. Водень дає чотири лінії, а при значному розрідженні й п'ять ліній, означуваних першими літерами грецької абетки, що творять серію й за чергою містяться в червоній, зеленій, синій і фіялковій частині спектру. Гелій виказує вже 7 видних ліній, літій — 20, натрій — 35. Деякі елементи

виказують навіть значно більшу кількість характеристичних для них ліній, що складають певні серіальні угруповання. Приглянемося тут до найпростішого випадку п'яток водневих ліній. Отже, довжину їх хвиль уже давніше визначено було з великою точністю. Аналізуючи добуті дані щодо довжини хвиль цих ліній, швейцарський дослідник Бальмер у 1885 р. емпірично прийшов до висновку, що в значеннях довжини хвиль водневих ліній криється певна закономірність, а то така, що коли ввести константу 3646,13, то цифрові величини довжин хвиль укладаються до певної формули, що її подаємо в наступній таблиці, де показується дотичну лінію, її барву, спостережену довжину хвилі, формулу Бальмера й обчислену за цією формулою довжину хвилі.*)

Лінія водню	Барва лінії	Довжина хвилі спостережена	Формула Бальмера	Довжина хвилі обчислена
<i>Ha</i>	Червона	6562,79	$3646,13 \cdot \frac{9}{9-4}$	6563,03
<i>Hβ</i>	Зелена	4861,33	$3646,13 \cdot \frac{16}{16-4}$	4861,50
<i>Hγ</i>	Синя	4340,47	$3646,13 \cdot \frac{25}{25-4}$	4340,63
<i>Hδ</i>	Фіялкова	4101,74	$3646,13 \cdot \frac{36}{36-4}$	4101,90
<i>Hε</i>	Фіялкова	3970,07	$3646,13 \cdot \frac{49}{49-4}$	3970,25

*) Довжину хвиль показується в т. зв. Ангстремових одиницях; така одиниця є рівна 0,00000001 цм. або 10^{-8} цм.

Одже з наведеної таблиці бачимо, що для обчислення довжини хвилі за Бальмеровою формулою треба знайдену ним константу 3646,13 за чергою помножити на такі величини:

$$\frac{3^2}{3^2-2^2}, \quad \frac{4^2}{4^2-2^2}, \quad \frac{5^2}{5^2-2^2}, \quad \frac{6^2}{6^2-2^2}, \quad \frac{7^2}{7^2-2^2}$$

Докладнішими дослідженнями було потім стверджено, що окрім видних ліній різної барви водень дає ще й в ультра-фіолковій (невидній) частині спектру кілька ліній, яких довжину хвиль дається обчислити також за Бальмеровою формулою, коли вгорі наведений ряд будемо продовжувати, ставлячи в чисельнику $8^2, 9^2, 10^2$ і т. д. аж до 31^2 включно, а в знаменнику відповідно до того $8^2-2^2, 9^2-2^2, 10^2-2^2$ і т. д. до 31^2-2^2 . Таким чином для всіх цих водневих діній можна написати загальну формулу:

$$\lambda = K \cdot \frac{m^2}{m^2-2^2} \quad \bullet$$

де λ означає довжину хвилі, K — константу 3646,13, і $m = 3, 4, 5, \dots, 31$.

Якщо замість значення довжини хвилі поставити до цієї формули значення числа коливань, то вона буде мати такий вигляд:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right]$$

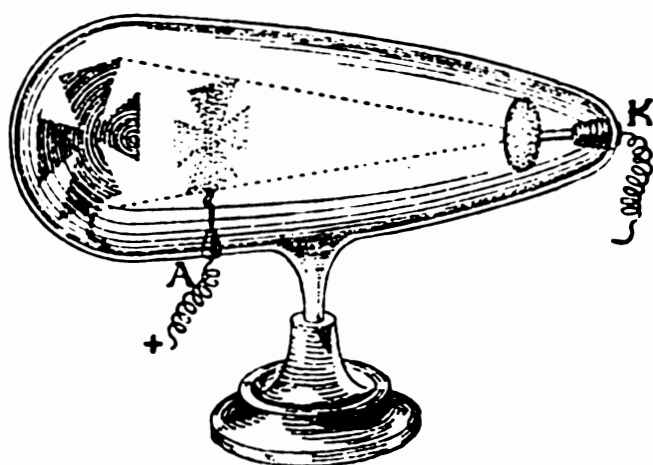
де ν означає число коливань на 1 секунду, c — швидкість поширення сонячного світла $3 \cdot 10^{10}$ см. й R — константу Ридберга, що її значення є $3,290 \cdot 10^{15}$. Зрештою, можна також до тої формули ввести значення числа хвиль в 1 см. й тоді визначити Ридбергову константу R_1 , якої значення в такому разі буде 109677,69, тобто $R = c \cdot R_1$.

У вищенаведеній формулі бачимо в дужках два члени, що з них перший $\frac{1}{2^2}$ є незмінний, а другий змінюється в залежності від того, яке значення будемо мати m . Всі ті лінії, що їх довжина хвиль укладається до цієї формули при такому значенні першого члена-детермінатора, належать до одної серії Бальмера. Але можна було теоретично припустити, що й той перший член не мусить бути незмінним. У такому разі наведеній формулі можна надати ще більш загальний вигляд такий:

$$\nu = R \left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right]$$

Отже, для Бальмерової серії n має значення 2, а m — значення 3 аж 31. Однак в 1908 році Пашен відкрив уже в інфра-червоній (невидній) частині спектру дві лінії, що їх довжина хвиль була 18751,1 і 12818,1. Це значить, що їх числа кохихань вкладались до наведеної формули, коли надати n значення 3, а m — значення 4 й 5. Дещо пізніше (1916) Ліман ствердив існування в ультра-фіяльковій частині спектру серії водневих ліній спочатку чотирьох, а потім і дальшої одної, що їх довжина хвиль була 1215,68, 1025,83, 972,54, 949,76 і 937,82, тобто числа кохихань укладались до формули, коли надати n значення 1, а m — значення 2, 3, 4, 5 і 6. Ці дві серії водневих ліній по іменах їх об'явників носять назви серія Лімана й серія Пашена. Ця остання серія доповнена була відкритими пізніше дальшими трьома лініями, що їх довжина хвиль в Å-одиницях послідовно є така: 10938, далі 10049,8 й 9546,2, тобто це відповідає значенню $n = 3$ й $m = 6, 7$ і 8. Зрештою, в ультра-червоній

частині спектру відкрито було ще й дальші дві серії, а то серію Бреккетта, де n має значення 4, а $m = 5$ і 6 (довжина хвиль $4,05 \mu$ і $2,63 \mu$) й серію Пфунда, де n має значення 5, а $m = 6$ і далі (довжина хвиль у цій серії дуже велика а то від $7,40 \mu$ нагору). Подібно до водневих стверджено було також існування серій ліній і в спектрах інших хемічних елементів. Як буде видно з дальшого, причина виникнення самих ліній та явище їх серіальности лежать у природі атомів хемічних елементів, власне у внутрішній їх будові.



Тим часом наукові досліди виявили дуже інтересні явища в іншій ділянці фізико-хемічного знання. Ще в 1869 році згадуваний уже фізико-хемік Гітторф відкрив т. зв. катодове проміння. Це є проміння, що при перепусканні електричної струї через рурку з розрідженим газом іде в напрямі від катода й поширюється простолінійно перед ним, незалежно від того, де буде знаходитись анод. Поставлений на шляху поширення цього проміння якийсь предмет перешкоджає дальшому його поширенню, так що на стінці рурки появляється тінь відповідної до того ж предмету конфігурації, як це видно з наведеного вище образу.

Досліди показали, що катодове проміння не залежить від природи газу, яким наповнена рурка, та що це „проміння“ не є власне ніяким світлом, а являє собою цілий сніп найдрібніших негативно наладованих часточок. Ці часточки є ніщо інше, як атоми негативної електричності або вже вищезгадувані електрони. Електрон не має власне матеріальної маси, бо є це електромагнетична чи уявна маса. Маса електрону становить всього лише $\frac{1}{1840}$ маси атома найлегшого хемічного елементу — водню, тобто вага електрону визначається такою майже безмежно малою величиною: $9,108 \cdot 10^{-28}$ гр. або в кисневих одиницях 0,000545. Ми вже зазначили вище, що набій електрону є рівний $4,806 \cdot 10^{-10}$ електростатичним одиницям. Якщо уявити собі електрон у формі кульки, то така кулька має луч, що є рівний $2,8 \cdot 10^{-13}$ цм., тобто навіть і впрост неуявно-малих розмірів водневий атом, якого луч є $2,56 \cdot 10^{-8}$ цм., у порівнянні з електроном представляється гігантом.

Ближче студіювання катодового проміння показало, що електрони являються власне тими набоями, що були раніше злучені з атомами хемічного елементу й під впливом електричного струму від них відірвали сьта рухаються далі самі з такою швидкістю, яка може навіть наближатись до швидкості поширення соняшного світла. Отже, після того, як від якогось атома відірветься такий набій-електрон, рештка перед тим неутрального атому стає позитивно-наладованим іоном. Ближче вивчення цих „атомових решток“ переведено після відкриття німецьким фізиком Гольдштайном (1886) іншого роду проміння, що носить назву каналового або

закатодового чи анодового проміння. Це також не є світляне проміння, навпаки воно є цілком матеріальної природи та залежить від того газу, яким наповнена рурка при перепусканні через неї електричної струї. Матеріальні часточки (атомові рештки), що складають каналове проміння, рухаються значно помаліше, ніж електрони, в напрямі від анода до катода. Вони наладовані позитивно, але коли по шляху свого лету котрась із них захопить електрон, то може регенеруватись ізнов на електро-неутральний відповідний атом. Позитивно-наладовані часточки каналового проміння реагують на електричне поле так, що відхиляються від свого простолінійного шляху, при чому це відхилення буде тим більше, чим більшим є їх набій та чим меншою є їх маса й скорість. Таксамо реагують вони й на магнетне поле, поділяючись під його впливом на певні групи відповідно до своєї маси. На цій підставі побудована новіща метода ствердження атомової ваги хемічних елементів, що її випрацював англійський фізик Астон. Він зафіксує на фотографічній плитці відхилення каналових часточок, тобто позитивно-наладованих атомів (чи молекул) дотичного елементу й таким способом дістає спектрограму мас, на підставі якої визначає атомову вагу того чи іншого елементу з надзвичайною точністю.

У зв'язку з дослідженням природи катодового проміння німецький фізик Рентген відкрив (1896) ще один рід проміння, що його він сам назвав був Х-промінням, але тепер уже загально його називають іменем цього вченого. Рентгенове проміння виникає на стінці рурки там, куди попадає катодове проміння. Воно є світляної природи, при чому

довжина його хвиль настільки мала, що воно займає місце ще далеко за ультра-фіялковим промінням. Отже, воно є невидне для людського ока, так само як не можемо ми бачити інфрачервоне чи ультра-фіялове. Ми бачимо тільки мішане світло, що складається з барв, від червоної, якої $\lambda = 800 \mu\mu$, аж до фіялкової, якої $\lambda = 400 \mu\mu$.*) Іншого проміння бачити ми не можемо, але його можна досліджувати за допомогою різних приладів. Одже дослідження природи Рентгенового проміння з приміненням раніше згадуваної методи, якої автором був Лауе, з цілковитою безпечністю доказали, що це проміння є тої самої природи, що й видне світло, але відрізняється від цього останнього довжиною хвиль. Рентгенове проміння має здібність проникати глибоко навіть до твердих предметів, або й наскрізь їх просвічує. Чим коротші хвилі цього проміння, тим глибше воно може проникнути до просвічуваного тіла. Більш проникливе називається „тверде“, а менше проникливе називається „м'яке“. Довжина хвиль „твердого“ проміння є $0,18 \mu\mu$, а довжина хвиль „м'якого“ — $0,5 \mu\mu$. Зупиняємося над цим відкриттям також і з тої причини, що воно спричинилося до відкриття в природі явища радіоактивности, яке є власне спонтанним природним феноменом того самого фізичного змісту, що й штучні досліди, які переводяться тепер за допомогою різних приладів у кабінетах і лабораторіях.

Досліди з Рентгеновим промінням показали, що воно дає два роди спектрів: один неперервний, що має хвилі всіх довжин, і другий, який виникає на першому і складається з кількох ясних ліній

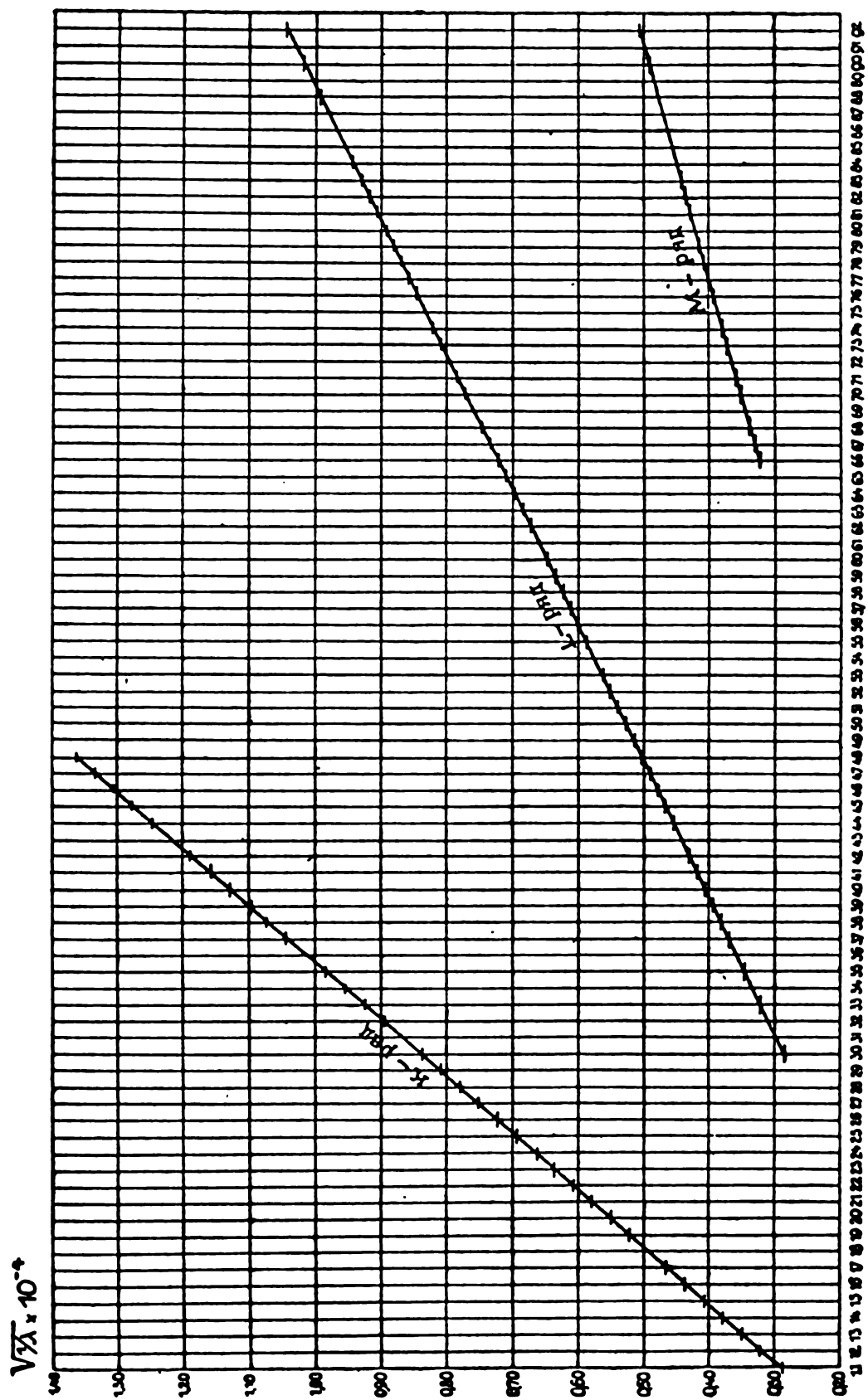
*) $1 \text{ мм.} = 1000 \mu$, а $1 \mu = 1000 \mu\mu$.

(часом подвійних). При тому довжина хвиль цих ясних ліній не залежить від сили Рентгенового проміння, але натомість положення їх залежить від хемічного складу антикатода, тобто предмету, на який падає це проміння. Коли як антикатода вживається за чергою різних хемічних елементів, то відповідно до того пересуваються й ті ясні лінії. Стверджено було, що хемічні елементи, починаючи від натрію аж до неодиму, дають характеристичне проміння, яке творить однакової структури цей другий спектр. Він складається з п'яťох ясних ліній, означуваних грецькими літерами (α , α_1 , β , β_1 та γ), і носить назву К-спектру. В інших елементів, від міді починаючи, знайдено ще й L-спектр, що складається з 10—14 ясних ліній. У тяжчих елементів, від диспрозія починаючи, знайдено M-спектр із 3—5 ліній та зрештою у ще тяжчих елементів стверджено N-спектр і ін. Мірювання показали, що лінії К-спектру мають довжину хвиль меншу, ніж лінії L-спектру, а ці останні меншу, ніж M-спектру і т. д. Разом із тим було стверджено, що аналогічні лінії того самого спектру у різних хемічних елементів (напр. $K\alpha_1$ або $L\alpha_1$) мають тим меншу довжину хвиль, чим більшою є атомова вага дотичного елементу. Молодий англійський фізик Мозлей, що в 1915 році впав під Галліполі, переводячи такі мірювання, знайшов (1913) закон, якому підлягають зміни довжин хвиль. Цей закон носить його ж ім'я та формулюється так: корень квадратний із числа колихань збільшується просто-пропорційно до чергового числа елементу в натуральній системі. Коли на поземній лінії (абсцисі) рівномірно позначити чергові числа елементів, а на прямовісній (ординаті) позначити квадратні корні з числа колихань, то

всі ті точки будуть лежати на одній простій лінії, яка повільно підноситься вгору, як це видно на наступному графічному образі ліній спектру $K\alpha_1$, $L\alpha_1$ і $M\alpha$ (стор. 109).

Якщо спробувати таксамо графічно представити взаємовідношення між числом колихань та атомовою вагою, то виявиться, що відповідні точки не лежать на простій лінії, але на лінії кривулястій, що хоч також ступнево підноситься вгору, однак нерегулярно. З цього виходить, що не атомова вага, але місце дотичного елементу в натуральній системі, тобто його чергове число, визначає його природу й тим самим його властивості. Раніше зазначувані неправильності в натуральній системі хемічних елементів (аргон-калій, кобальт-нікель і телур-йод) тут не мають місця, бо всі елементи, які творять виїмки в системі, побудованій на величині атомової ваги, зовсім правильно мають відповідні свої чергові числа згідно з величиною квадратного корня з числа колихань. Так само й елементи групи рідких земель, які звагалі не вміщаються до періодичної системи хемічних елементів, не представляють у цьому відношенні ніякого виїмку. Одже, Рентгеноспектроскопічна метода й закон Мозлея в руках дослідників служать дуже поважною зброєю не тільки при перевірці чи для уточнення вже раніше знайдених величин атомової ваги відомих хемічних елементів, але й при відкритті нових елементів, бо ж наявність у котромусь Рентгеновому спектрі ясних ліній із певною довжиною хвиль безсумнівно свідчить про наявність і відповідного хемічного елементу з належним йому черговим числом. Коли ж це число має таке рішальне значення для природи самого елементу, то

(За Фаянсом).



це мусить означати, що за ним криється якийсь фізичний зміст такого явища. Голяндський фізик ван-ден-Брок, продовжуючи праці Мозля, висловив думку, що чергове число елемента відповідає числу елементарних набоїв його атомового ядра. Правдивість її підтвердив (1920) англієць Чедвік, а швед Зігбан доказав, що закон Мозля є важний для всіх без виїмку відомих хемічних елементів. Річ ясна, що в такому разі він мусить бути важним і для тих елементів, які досі не були відкриті. Таким чином на основі цього закону безсумнівно було стверджено, скільки ще є невідкритих елементів чи, інакше кажучи, скільки ще було незайнятих чергових чисел. Так само було з цілковитою певністю стверджено кількість елементів рідких земель, бо перед тим питання про їх кількість остаточно ще не було вирішене, зважаючи на велику подібність їх властивостей. Згідно з законом Мозля їх мало бути 15, і це вповні було підтверджено дальшими працями різних дослідників.

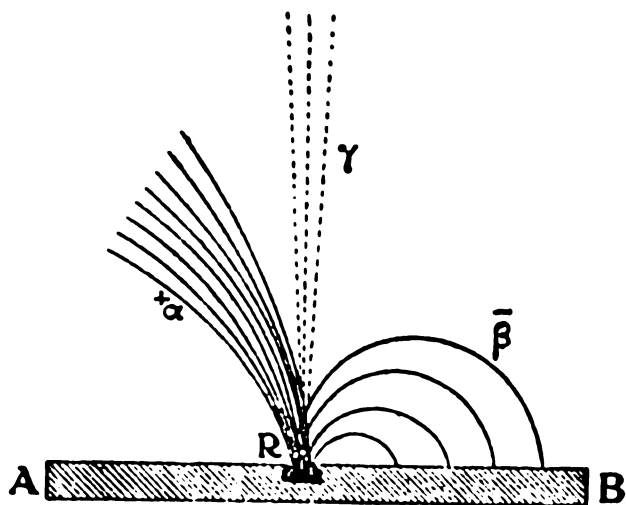
Відкриття Рентієнового проміння спричинилося до того, що стали досліджувати, чи не супроводиться явище фосфоресценції також виникненням якогось невидного оком проміння. При тому французький фізик Беккерель (1852—1908), працюючи саме тоді над злуками урану, ствердив (на початку 1896 р.), що цей хемічний елемент висилає особливе проміння, незалежно від того, чи його освітлюється соняшним світлом чи, навпаки, лежить він у темноті. Його названо було Беккерелевим промінням за аналогією до Рентієнового проміння. Докладним студіюванням цього нововідкритого явища зайнялись французький фізик Пієр Кюрі

(1859—1906) та його дружина Марія Склодовська-Кюрі (1867—1934), які могли ствердити, що таке саме проміння висилає теж і хемічний елемент торій та що інтенсивність промінювання є тим більша, чим більше є в даній сполуці урану чи торію. Одже це промінювання мусіло бути, очевидно, властивістю самих атомів тих елементів. Незабаром вони відкрили (1898) два нові елементи, яких кількість була дуже незначна, але виявляли вони надзвичайну інтенсивність висилання Беккерелевого проміння. Названо було ті елементи полоній і радій, що за своїми властивостями зайняли в натуральній системі хемічних елементів місця з черговими числами 84 і 88. Скоро потім їх співпрацівник Дебієрн відкрив (1899) дальший елемент актиній, що виявляв подібну ж властивість. Здібність елементів висилати Беккерелеве проміння на пропозицію панства Кюрі стали називати радіоактивністю, а ті з хемічних елементів, які мають таку властивість, називаються радіоактивними елементами. Уран, торій і актиній мають найтяжчі атоми. Вони стоять у періодичній системі в останньому ряді, а тому й цей ряд називають часом радіоактивним.

Беккерелеве проміння під впливом електричного чи магнетного поля, як показали досліди, розкладається на три частини, тобто воно не є гомогенне. Одна його частина злегка відхиляється в бік негативного бігуна, друга сильно відхиляється в бік позитивного бігуна й, зрештою, третя частина не відхиляється ані в той, ані в цей бік, не реагуючи на таке чи інше силове поле. Ці окремі частини Беккерелевого проміння дістали назви α -, β - і γ -проміння. В останньому часі відкрито ще й δ -проміння. Схе-

матично це розділення можна представити наведеним нижче образом.

Дослідження цих трьох родів проміння показали, що α -проміння складається з матеріальних часточок, які мають масу чотирьох водневих атомів або одного гелієвого атома та несуть подвійний елементарний набій позитивного знаку. За якийсь час вони, захопивши два негативно наладовані елек-



трони, стають звичайними неутральними атомами гелію. Тому що частки ці мають досить велику масу, рухаються вони релятивно з малою швидкістю, яка виносить пересічно 20.000 кілометрів на секунду та змінюється в межах 15—60.000 км./сек. Це α -проміння має також малу здібність проникати до різних тіл, так що в повітрі воно може поширитись на віддаль яких 3—9 см. і раптом зникає, а до алюмінієвої плити проникає на глибину всього тільки 0,06 мм.; листок звичайного паперу вистачає для того, щоб зупинити його даліше поширення. Взагалі ж стверджено було, що шлях, який пролітають α -частки в певному середовищі, є просто-пропорційний до третього ступня швидкості їх руху. Щодо β -проміння, то це є сніп β -часточок, які є ідентичні

з нам уже відомими електронами. Отже, така часточка має масу приблизно 7360 разів меншу за масу α -частки, але вона несе всього тільки два рази менший набій негативного знаку й тому так сильно відхиляється в магнетному полі. Скорість руху β -часток ще більша, ніж електронів у катодовому промінні й досягає часом 99,8 % скорости поширення соняшного світла. На прикладі цих часточок можна побачити, що поняття „матерія“ і „маса“ є цілковито різні. Так, β -частки є безматеріальні, але вони мають певну масу, власне масу уявну (здавальну), при чому ця маса не є інваріантною й збільшується відповідно до збільшення скорости їх руху. Здібність β -проміння проникати до різних тіл є значно більша, ніж α -проміння. В олив'яній плитці воно сягає до глибини майже 4 мм. На певній глибині інтенсивність β -проміння зменшується до половини. Це служить свого роду мірою інтенсивности; в алюмінієвій плитці „товщина половинного проникання“ β -проміння радію - - 0,022 мм., а торію — 0,045 мм. Зрештою γ -проміння є світляної природи й являє собою ніщо інше, як певний рід Рентгенового проміння, що його довжина хвиль надзвичайно мала, а саме $\lambda = 0,0002 \mu\mu$. Про скорість поширення його й здібність проникати до різних фізичних тіл уже говорили ми вище й тут повторювати це не будемо. Лише хіба для ілюстрації скажемо, що γ -проміння до олив'яної плитки проникає більше 15 цм. глибоко. Природу δ -проміння ще мало досліджено.

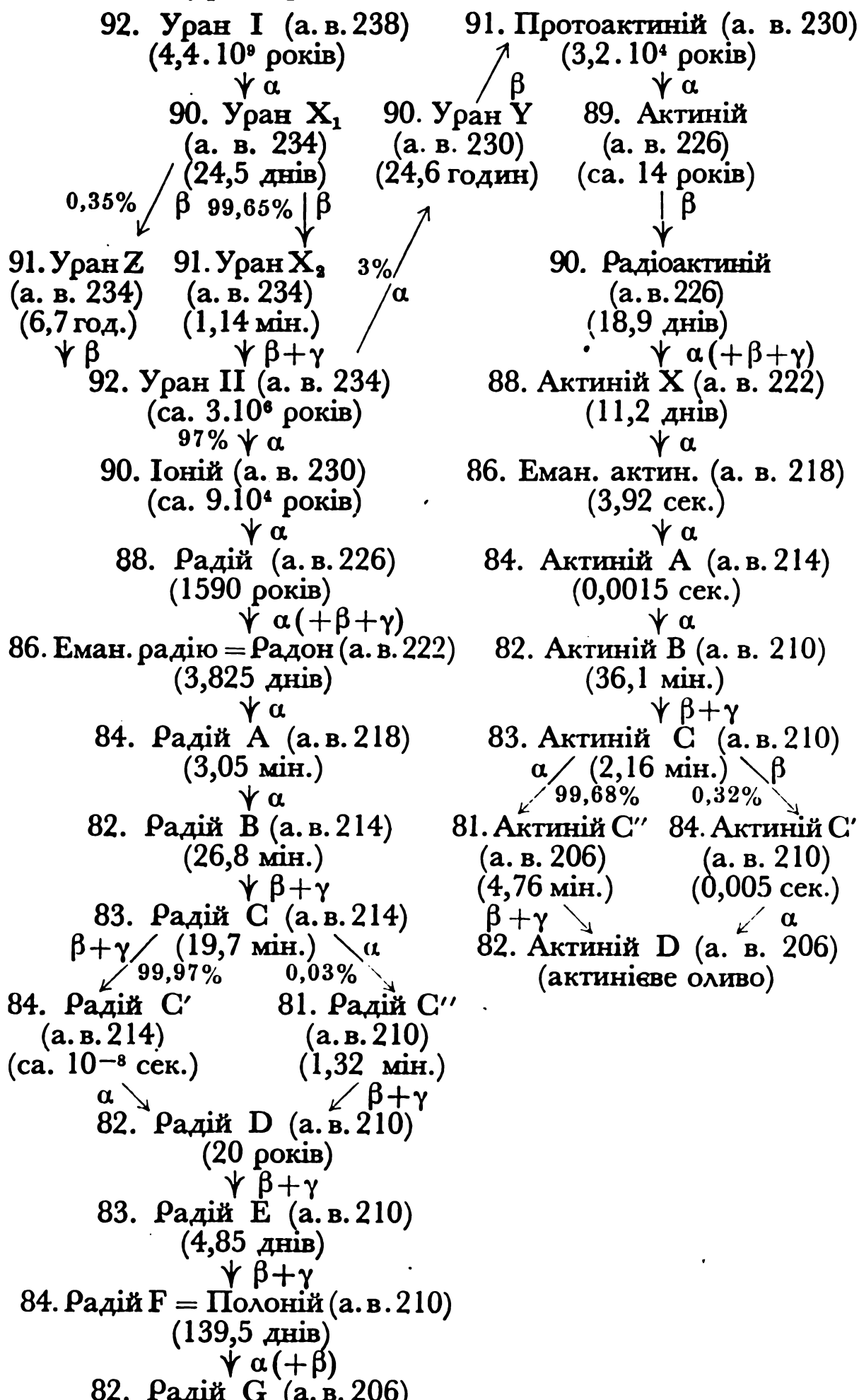
При поширенні в якомусь середовищі всі три роди Беккерелевого проміння зустрічають на своєму шляху молекули дотичного тіла. Із поодиноких атомів, що складають ці молекули, вони можуть вибити електрони й тим самим досі неутральні атоми,

позбавившись негативного набою, стають позитивно наладованими іонами. Ці негативно й позитивно наладовані частки розбитого атома здібні переводити електричність. Саме це явище називається іонізацією. Отже, коли якийсь радіоактивний елемент висилає до повітря Беккерелеве проміння, то повітря до певної міри іонізується. Найбільшу іонізацію спричиняють часточки α -проміння, значно меншу — β -проміння й зовсім незначну γ -проміння. Відносна іонізаційна здібність α -, β - і γ -проміння є така: 10000 : 100 : 1. Англійський фізик Вільсон придумав спосіб, який дає можливість бачити шляхи руху поодиноких часточок. Цей спосіб полягає в тому, що в коморі утворюється штучно стан пересиченості водяної пари, яка конденсується коло іонів, перетворюючись на росу. Отже, утворені мікроскопічні краплинки світяться в тумані й таким чином освітлюється шлях лету поодиноких α - чи β -часточок. Зроблені фотографічні світлини показують, що α -часточки летять простолінійно й тільки часом наприкінці заломлюються. Навпаки β -частки виказують нерівний, кривулястий і часто перериваний шлях свого лету. Щодо γ -проміння, то з огляду на його природу, як електромагнетичного хвилястого руху, та через його надзвичайно малу іонізаційну здібність неможна зробити видним цей рух у коморі Вільсона. Загально шлях поширення γ -проміння позначається секундарними явищами. Характер руху α - і β -часток стане цілком зрозумілим, коли ми ознайомимося з внутрішньою будовою цілої атомової системи, що є зрештою зовсім не такою простою, як то можна було б подумати, пригадавши собі, якою безмежно малою часточкою є сам атом.

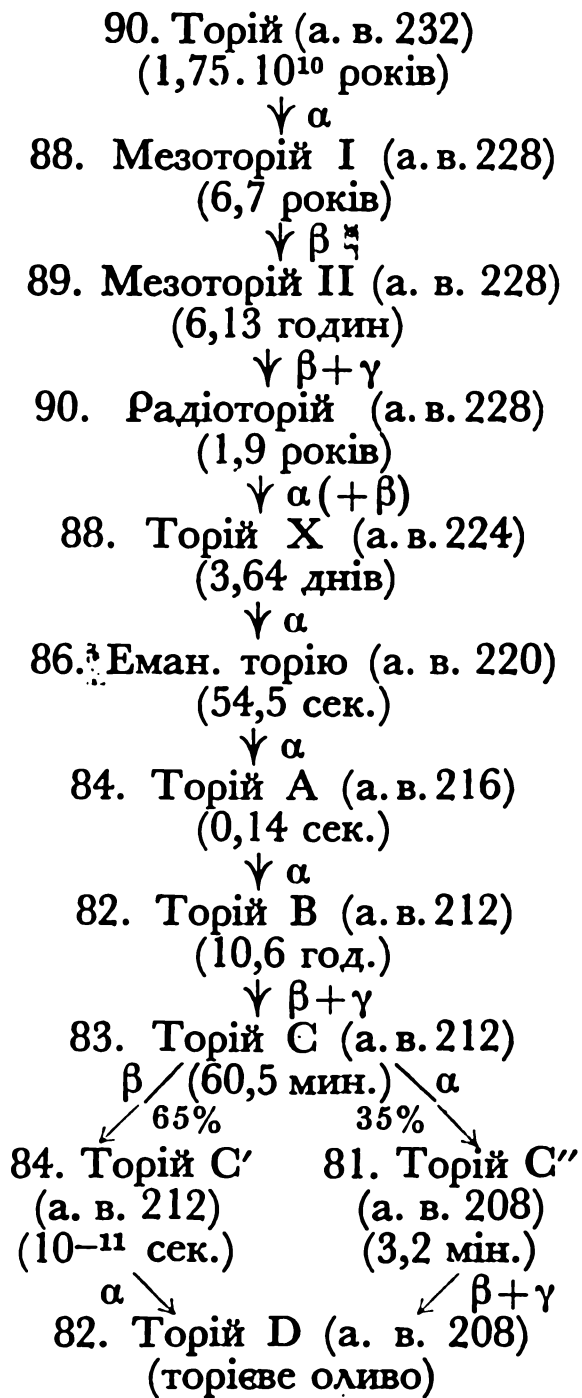
Із повищого виходить, що радіоактивні хемічні елементи являються постійним джерелом виникнення атомів хемічного елементу гелію, електричної енергії у формі β -частинок (електронів) та світляної енергії у формі γ -проміння. Систематичні досліди, що переводились над нововідкритим явищем радіоактивности, принесли багато експериментального матеріалу, на підставі якого можна було ствердити факт перетворення одного радіоактивного елементу на другий шляхом виділення α -частки чи β -частки чи навіть у деяких випадках одночасного виділення обох цих частинок. При тому виділення β -частки здебільшого супроводжується виділенням також і γ -проміння. Отже, в процесі такого перетворення певні хемічні елементи являються генетично між собою пов'язаними. Досліди показали, що існує три „родини“ або три ряди таких „споріднених“ елементів, а то власне: ряд уран-радію, ряд актинію й ряд торію. Теорію дезінтеграції радіоактивних елементів витворили англійські дослідники Резерфорд і Содді ще в 1902 році, й вона показала цілком правдивою. Отже, коли якийсь „нащадок“ уродиться від свого „предка“ наслідком втрати цим останнім α -частки, то він мусить мати атомову вагу о 4 одиниці меншу. Але коли вродиться він у висліді втрати β -частки, то атомова вага „нащадка“ буде рівнятись, очевидно, атомовій вазі „предка“, бо ж β -частка (електрон) практично жадної ваги не має. Вік поодиноких членів тих трьох „родин“ дуже неоднаковий, бо одні з них існують навіть сотні мільйонів років, а другі знов тільки якусь незначну долю секунди. Перетворення одних радіоактивних елементів на другі відбувається аж до тої межі, де вже вродиться неактивний

Ряд уран-радію:

Ряд актинію:



Ряд торію:



елемент. Час, за який певна кількість даного радіоактивного елементу розкладається наполовину, називається „половинним періодом“ цього елементу. Таким чином ці періоди є дуже різні, але один із визначних дослідників явища радіоактивности Гайгер показав, що між половинними періодами й довжиною шляхів α -радіантів існує зовсім точне взаємовідношення. В поданій тут таблиці наводимо три ряди радіоактивних елементів, при чому коло назви елемента ставимо зпереду належене йому в натуральній системі чергове число і ззаду в дужках його атомову вагу, а під нею також у дужках подаємо довготу половинного періоду і, зрештою, стрілкою означаємо „нащадка“, а коло неї грець-

кими літерами зазначаємо, яка частка чи проміння при тому виділяється.

Перший і другий ряди генетично зв'язані між собою через Уран У, що повстає наслідком розпаду

Урану II й через втрату β -частки перетворюється на протоактиній. Генетичного зв'язку між третім рядом і двома іншими тим часом не знайдено.

Із наведеної таблиці бачимо, що кожний із трьох радіоактивних рядів закінчується оливою, яке не є радіоактивне й далі не розпадається. При тому бачимо, що атомова вага двох сортів олива є: 206 і 208. Також легко побачити з тої ж таблиці, що в процесі перетворення одних радіоактивних елементів на другі деякі з них мають однакову атомову вагу чи однакове чергове число. На цьому місці ми тільки зазначаємо це явище, не входячи в його докладніше вивчення, але до цього пізніше ще вернемось. Котрий-будь із посередніх членів того чи іншого ряду за довший чи коротший час мусів би цілковито зникнути, коли б його кількість тим часом не збільшувалась наслідком розпаду його попередника. Як ми вже зазначили, половинний період для поодиноких членів радіоактивних рядів має дуже неоднакове значення. Одначе за якийсь (звичайно дуже довгий) час між усіма членами даного ряду встановлюється таке відношення, що скільки за певний час розпадається того чи іншого посереднього члена ряду стільки ж його й прибуває через розпад його попередника. Цей стан носить назву радіоактивної рівноваги. За такого стану рівноваги всі члени тої чи іншої „родини“ знаходяться одночасово поруч себе в кількості, яка є просто пропорційна до половинного періоду. Отже, експериментально можна ствердити відношення кількостей двох членів радіоактивного ряду в стані рівноваги та на основі цього можна обчислити й той час, який проминув поки наступив такий стан рівноваги. На цьому власне базується метода ствердження віку

гірнин, які мають у своєму складі радіоактивні елементи. Здебільшого ці обчислення відносяться до кількості прийвного в гірнині олива, як останнього продукту розпаду, але робляться також обчислення й щодо кількості гелію, який лишається в даній гірській породі як продукт ступневого процесу розпаду радіоактивних елементів. У висліді обчислень віку різних гірських пород можна було ствердити й приближний вік нашої Землі. Більше того, на основі аналізу метеоритів обчислено також і приближний вік цілої Соняшної системи та навіть і Всесвіту. Ці обчислення дали висліди, що зовсім добре відповідають вислідам, здобутим іншими геофізичними й астрофізичними дослідями. Одже, вік нашої Землі мав би бути коло 2,5 міліярдів років, а вік майже всіх досі досліджених метеоритів також не мав би бути довшим. З того виходить, що переважаюча більшість метеоритів своїм походженням належить до нашої Соняшної системи й тільки може невелика їх частина є справді „послами“ до нас із безмежного Всесвіту.

Радіоактивність, як виявили докладніші дослідди, не є властивістю лише хемічних елементів із великою атомовою вагою, бо й елементи з меншою атомовою вагою (як калій і рубидій) та з середньою (як лютецій, неодим і самарій) також є радіоактивні, хоч і не в такій мірі, як члени наведених трьох рядів інтенсивно-радіоактивних елементів. Явище радіоактивности, тобто процес перетворення матерії з одного її роду на інший, супроводиться виділенням значної кількості енергії з одного боку світляної у формі γ -проміння, а з другого боку у формі тепла. При тому виділяється порівнюючи велика кількість тепла. Напр., 1 гр. радію на годину ви-

діляє 140 калорій, тобто може нагріти на 1° воду в кількості 140 гр. Обчислено, що наколи б Земля в цілому своєму складі мала таку пересічну кількість радіоактивних елементів, як то їх є в земній корі, то виділювана ними кількість тепла була б 300 разів більша за кількість тепла, що його вистає Земля до Всесвіту через радіацію, а наслідком цього сама вона ступнево мала б нагріватись. Зважаючи на те, що в дійсності такого ступневого звищення температури Землі не відбувається, треба зробити висновок, що радіоактивні елементи або зовсім не знаходяться в найглибших верствах земної кулі, або знаходяться там у кількості порівнюючи дуже незначній, а майже вся їх маса знаходиться в земній корі. Такого роду міркування й виводи вповні відповідають тим вислідам, що їх досягла в останньому часі наука геохімії. Тож виходить, що для рекомпенсації тепла, що його Земля втрачає через радіацію, вистачило б того тепла, що його видають радіоактивні елементи, які знаходяться в земній корі товщиною яких 50—60 кілометрів.

Характеристичною ознакою радіоактивності є те, що це явище відбувається безпереривно й спонтанно наслідком причин, що їх досі наука ще не виявила. Ніякими засобами, що стоять до розпорядимости наукових дослідників, не дається якось вплинути на нього. Одже процес розпаду радіоактивних елементів неможна ані прискорити, ані зупинити, ані, взагалі, якось регулювати напрям чи інтенсивність його перебігу. Радіоактивне перетворення матерії при тому являє собою впрост якесь безмежне джерело енергії, що може колись стане приступною для нормування її згідно з волею й потребою людини. Якими способами можна бу-

ло б цього досягнути, на це сучасна наука ще не має відповіді. Тим часом є фактом, що природний процес розпаду хемічних елементів не піддається регулюванню в якомусь бажаному для нас напрямі. Якщо ж досі не пощастило опанувати цей процес та використати його для якихось практичних цілей, то з другого боку відкриття явища радіоактивності й докладніше вивчення самої суті цього природного явища спричинилось у великій мірі до розширення наших відомостей про будову матерії й спеціально про будову атомів. Ствердження факту, що радіоактивність є вислідом розпаду елементів, тобто розпаду їх атомів, логічно привело до думки, що дотеперішній погляд на атом, як щось далі вже неподільне, не відповідає об'єктивній правді. В умовах кабінетно-лабораторної праці пощастило згодом науковим дослідникам репродувати „штучну радіоактивність“. Такі досягнення фізико-хемічної науки уможливили ближче пізнання внутрішньої структури найдрібнішої часточки, з якої складається хемічний елемент. Тим самим вони привели нас до зовсім іншої уяви про матерію, ніж це було дотепер. У наступних розділах цього нарису по змозі в найкоротшій формі постараємось подати читачеві бодай загальні відомості про сучасні наукові погляди на тонку будову матерії та її перетворення.

VI.

БУДОВА АТОМІВ. ІЗОТОПИ.

Ще на прикінці минулого століття англійський фізик Дж. Дж. Томсон висловив думку (1890) про подільність атомів, припускаючи, що вони склада-

ються з часточок позитивної і негативної електричності. При тому за нейтрального стану атома хемічного елементу число позитивно й негативно наладованих часточок електричності — за термінологією Томсона „корпускул“ — мусить бути однакове, а за іншого стану, тобто коли атом хемічного елементу є іоном, переважає кількість „корпускул“ позитивної чи негативної електричності. Структуру атома хемічного елементу Томсон уявляв собі так, що внутрі його в певному порядку положені „корпускули“ негативної електричності, а сферично довкола них рівномірно розділена позитивна електричність. Така модель атомової структури в світлі наукової критики виявилась хибною. Однак сама ідея подільності атомів цілком виправдалася пізнішими дослідженнями. Зокрема тут зазначимо ту обставину, що вже й модель Томсона представляла цілу атомову структуру не як певний простір, наповнений матерією, а тільки як більше-менше порожню сферу, в якій певним способом сконцентрованою розложена електричність обох знаків.

З ідеєю подільності атома підходив і учень Дж. Томсона англійський фізик Е. Резерфорд (1871—1937) до дослідження різних фізичних явищ, зв'язаних із радіоактивністю. У висліді власних своїх дослідів, як і дослідів своїх ближчих співробітників (Гайгера, Мерсдена, Гевеші й ін.), Резерфорд прийшов (1911) до висновку, що Томсонову модель атомової структури треба змінити так, що в центрі атомової сфери має міститись електричність позитивна, а на периферії негативна. Одже за Резерфордом будова атома має представлятись так: внутрі атома знаходиться позитивно наладоване ядро, а навколо нього обертається така скількість

електронів, яка сумою своїх негативних набоїв зрівноважує набій ядра. Ця теорія носить назву нуклеарної (від латинського „нуклеус“-ядро). Таким чином з погляду цієї теорії будова атома представляє собою в мініатюрному вигляді соняшну систему, де роллю Сонця грає атомове ядро, а планетами його являються електрони. Не входячи ще тут у розгляд складу самого атомового ядра, зазначимо лише, що коли наслідком розпаду атомів радіоактивних елементів появляються α -частки (гелієві атоми) й β -частки (електрони), то з цього треба було зробити висновок, що ці частки знаходяться, очевидно, в атомових ядрах тих елементів. Тож відрізняють внутрішні або ядерні електрони, тобто ті, що мали б знаходитись у складі атомових ядер, від зовнішніх або довкільних електронів, тобто тих, що кружляють довкола ядра як його планети. Віддаль між ядром і довкільними електронами в порівнянні з їх розмірами є настільки велика, що ціла атомова сфера являється фактично вільною від матерії порожнечею, де має місце лише діяння електричних сил.

Ми згадували вище про характеристичні шляхи руху α -часток і β -часток, що їх видно в коморі Вільсона. Перелітаючи певний простір, зайнятий якимсь тілом (чи то газом чи навіть твердим тілом), ці частки рухаються не тільки між атомовими сферами, але й крізь ці сфери. При тому негативно-наладовані β -частки (електрони) під впливом відштовхуючої сили також негативно-наладованих довкільних електронів часто змінюють напрям свого руху й у коморі Вільсона лишають слід за собою у вигляді перериваної кривулястої лінії. Натомість позитивно-наладовані α -частки змінюють напрям

свого руху під впливом відштовхуючої сили позитивно-наладованих атомових ядер. Це відхилення лету α -часток від простолінійного руху мусить бути тим більше, чим ближче до атомового ядра вони пролітають та чим більшим є набій ядра. Тим і пояснюється видне в коморі Вільсона заломлення шляхів α -часток, як і спостережене розсіяння їх при перелітанні через тонкий металевий листок. Набої атомових ядер бувають різні. Спочатку було стверджено, що набій атомового ядра відповідає приблизно половині атомової ваги дотичного хемічного елементу. Але потім, як ми вже вище згадували, ван-ден-Брок (1913) і Чедвік (1920) доказали, що число елементарних набоїв атомового ядра кожного хемічного елементу точно відповідає черговому числу, яке означає його місце в натуральній системі елементів. Тим самим це число означає також і скількість довкільних електронів у структурній системі відповідного атома. Отже, атом водню має ядро з одним елементарним набоем і один довкільний електрон, атом гелію — ядро з двома набоями й двома довкільними електронами, атом літію — ядро з трьома набоями й трьома довкільними електронами і т. д. Найважчий атом урану має ядро з 92 елементарними набоями й 92 довкільними електронами. Якщо взяти під увагу, що маса електрону є приблизно 1840 разів меншою за масу найлегшого з усіх водневого атома, яку округло визначається 1, то з цього зовсім ясно випливає, що навіть найбільше число довкільних електронів (92) уранового атома практично не має значення для цілої маси атома. Отже виходить, що ціла маса атома хемічного елементу практично вповні покривається з масою його атомового ядра. Обчислення

показують, що коли представити собі атомове ядро у вигляді кульки, то її луч визначається величиною порядку 10^{-12} — 10^{-13} см. Пригадаймо собі, що луч електрону є $2,8 \cdot 10^{-13}$ см. Отже луч атомового ядра міг би бути трохи більшим або дещо меншим за луч електрону. Якщо б ми хотіли робити порівняння цих величин, то могли б сказати таке: коло невеликої кульки шроту атом більшості хемічних елементів виглядав би так, як морський буй виглядає коло цілої земної кулі; коли уявити собі цей атом розміром цілої земної кулі, то тоді електрон був би кулею з лучем яких 90 метрів, а ядро атома було б балоном приблизно цього розміру. Й ось такий „балон“ несе в собі масу цілої „земної кулі“!

Атомове ядро водню є значно меншого розміру, ніж ядра інших атомів, бо його луч визначається величиною 10^{-16} , так що відносно цілого водневого атома воно виглядає приблизно так, як меншого розміру футбалеви м'яч виглядає коло земної кулі. Отже й це ще 1000 разів менше атомове ядро водню також містить у собі всю масу водневого атома. Власне цю масу визначає електричний набій отого безмежно-малого ядра, так що маса є функціональним явищем, що залежить від набою й без нього не може існувати. З того виходить, що „первісною матерією“ є електричність.

Резерфордова модель атома дає тільки загальний образ внутрішньої його структури, але не вияснює її механіку. Дуже нелегкого завдання вияснити цю механіку піднявся був данський фізик Нільс Бор, який прийняв цю модель за вихідну точку й, опираючись на теорії квантів Планка, визначив (1913) систему рухів електронів навколо атомового ядра. Ця система дуже добре погоджувалась із

дотепер ствердженими фактами й висвітлювала також зовсім добре причину серіяльності спектральних ліній, характеристичних для нагрітих до високої температури газів поодиноких хемічних елементів, про що ми вже говорили раніше. Не можемо тут зупинятися над докладнішим з'ясуванням як самої теорії квантів, так і праць Н. Бора. Скажемо тільки коротко, що німецький фізик Планк у висліді своїх студій над поширенням теплової енергії прийшов до висновку, що енергія взагалі не є щось таке одноцільне й нерозривне, як то думали раніше, але поширюється вона певними частками чи квантами. Також і світляна енергія складається з певних квантів або фотонів, що їх величина буває різна в залежності від довжини світляних хвиль, тобто від барви світла. Енергія фотону є тим більша, чим коротші світляні хвилі. Планк знайшов певне відношення між величиною кванту енергії й числом колихань світла відповідної барви. Це відношення визначається формулою:

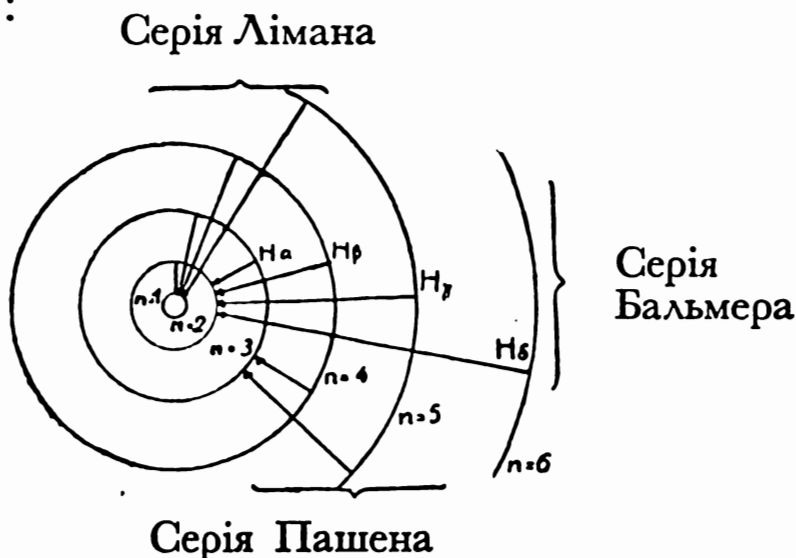
$$e = h\gamma$$

де e — квант енергії, γ — число колихань, а h — дієва константа Планка, що її значення є $6,626 \cdot 10^{-27}$ ерг.-сек. Ця константа грає важливу роль в обчисленнях Бора. Він розвинув далі ідею Резерфорда щодо руху електронів довкола атомового ядра та спрецизував її в той спосіб, що цілу атомову соняшну систему уявляв як систему рухів електронів довкола ядра по певних квантових орбітах. Орбіти ці можуть бути одно-квантові, дво-квантові, три-квантові і т. д. В міру збільшення числа довкільних електронів вони певним способом закономірно розміщаються по таких орбітах. За

стаціонарного стану кружляння електронів довкола ядра відбувається без виділення енергії. Коли ж під впливом зовнішніх чинників у внутрішньому стані атома настає пертурбація, то довільні електрони можуть перелітати з одної орбіти на другу, при чому така зміна їх положення супроводиться абсорбцією чи навпаки емісією енергії в залежності від того, з якої й на яку орбіту вони перескакують. Отже, щоб змусити електрон перескочити з енергетично-нижчої (ближчої до ядра) орбіти на енергетично-вищу (дальшу від ядра) орбіту, треба йому додати певну кількість квантів енергії і навпаки при перелеті з дальшої на ближчу до ядра орбіту він виділить відповідну кількість квантів енергії. Це визначається формулою:

$$E_m - E_n = h\nu$$

де E_m і E_n означають енергії дотичних двох енергетичних рівнів. Бор зробив цілком задовольняючі обчислення для трьох спектральних серій водню, про які була мова вище. Графічною схемою зв'язок між явищем серіяльності водневого спектру й переміщенням електрону з одної орбіти на другу можемо представити так:

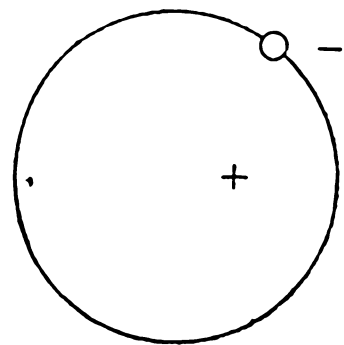


На рисунку в центрі концентричних кругів, які означають орбіти, знаходиться атомове ядро. Стрілками показано, з якої й на яку орбіту перескакує електрон, при чому серія Лімана повстає при перескакуванні електрону на одно-квантову орбіту, серія Бальмера — на дво-квантову й серія Пашена — на три-квантову. Електрон може перескочити на ту чи іншу орбіту з найближчої орбіти або й з дальшої, як напр., у водневій серії Бальмера аж з 31 орбіти. Якщо такі пересування електронів діються при емісії світляної енергії, то протилежного характеру рухи їх, чи власне перескакування з ближчої до атомового ядра орбіти на якусь дальшу, відбуваються при абсорбції енергії. Якщо б при тому електрон відскочив на орбіту, яка лежить на віддалі від ядра безконечно великій, то це означає, що той електрон вийшов взагалі із даної атомової сфери й попав до якоїсь іншої, тобто це означає, що даний атом перейшов до іонного стану. Само собою розуміється, що в якомусь атомі водню той самий електрон не може перескакувати одночасно з одної орбіти на кілька інших. У певному моменті він може перескочити з якоїсь одної орбіти тільки на якусь одну іншу. При тому однак у даному обсязі досліджуваного водневого газу в тому самому моменті цілком аналогічні пересування електронів відбуваються також і в багатьох інших атомових системах, наслідком чого появляється певна лінія коїсь спектральної серії. Але ж у тому самому моменті в інших атомах відбуваються різні інші перескакування електронів, що мають своїм наслідком появлення різних інших серіальних ліній. Отже у висліді всіх тих різnorodних пересувань електронів із орбіт на орбіти у поодиноких атомових

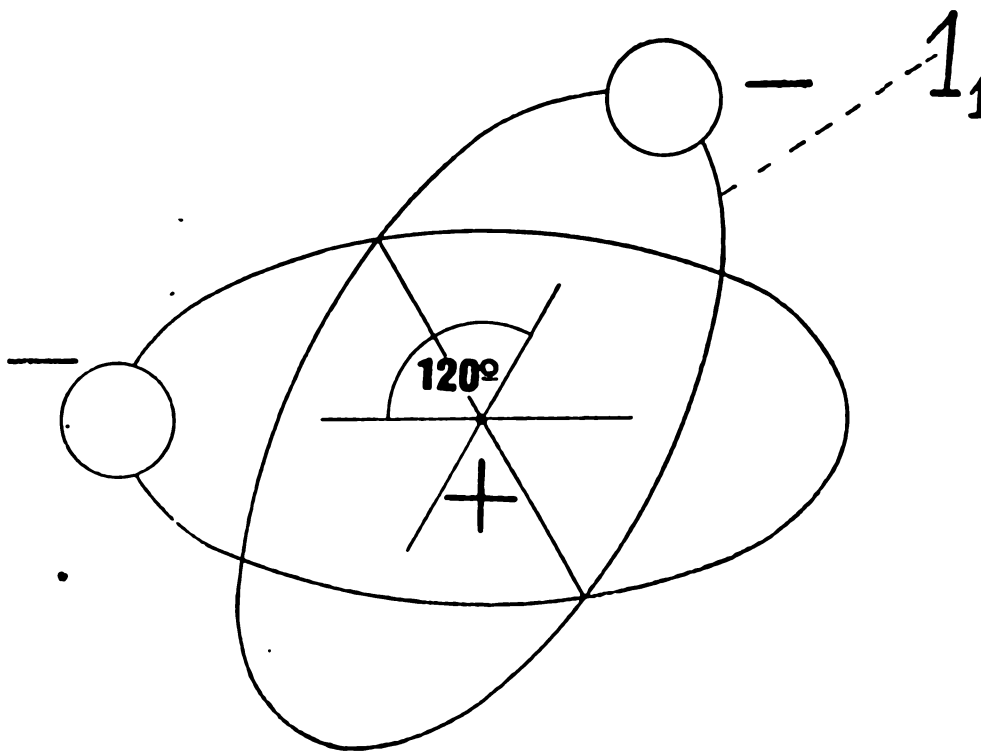
системах появляються у водневому спектрі більше чи менше інтенсивні окремі лінії згаданих вище серій. Тому-то в одному своєму рефераті Н. Бор висловився був так: „Ми можемо сказати, що водневий спектр дає образ структури водневого атома“.

Теорія Бора показала вповні правдивою щодо нескладної атомової системи водню та порівнюючи добре оправдувалась також обчисленнями щодо спектрів і пересувань електронів в атомових системах із невеликим числом довкільних електронів. Однак обчислення рухів електронів у таких атомових системах, де їх є велике число, представляється надзвичайно трудною справою й це вже належить до області математики, до якої ми, звичайно, тут входити не будемо. Для нашої цілі вповні вистачить, коли скажемо, що довкільні електрони в міру того, як збільшується їх число в атомовій системі, ступнево й закономірно заповнюють атомову просторінь так, що кожний дальший довкільний електрон кружляє по орбіті, яка лежить ще в межах данного кванту або розпочинає собою низку орбіт наступного кванту. Тут можемо ще додати, що загально спектрів (K, L, M, N, O, P, Q) є далеко менше, ніж число електронів у більшості атомів, так що вони мусять, очевидно, знаходитись по-кілька на тому самому енергетичному рівні. Отже можна собі це представити так, що довкільні електрони упорядковуються навкрути ядра в певних сферах. Одинокий довкільний електрон в атомовій системі водню кружляє по одноквантовій орбіті, як також і два електрони гелієвого атома. Цими двома гелієвими електронами виповнюється перша сфера. Наступний за гелієм елемент літій, маючи вже готову систему

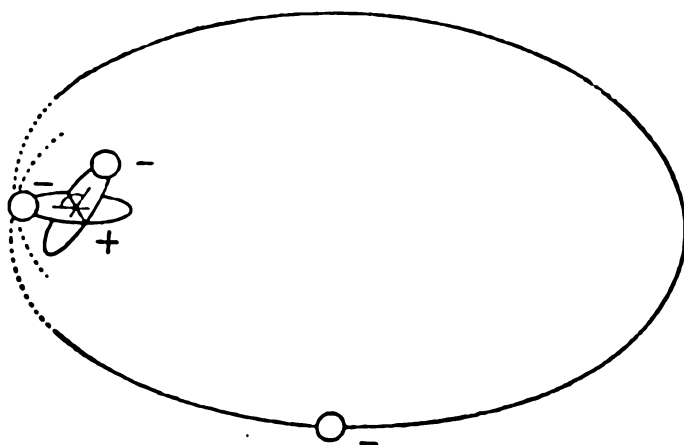
гелієвого атома, своїм третім довкільним електроном розпочинає низку орбіт другої сфери, яка ступнево витворюється четвертим електроном берилієвого атома, п'ятим електроном борового атома, шостим вуглевого і т. д. аж зрештою десятим довкільний електрон неоновому атома довершує цю низку дво-квантових орбіт, а тим самим закінчується знов друга замкнена сфера довкільних електронів. Дальший у натуральній системі хемічних елементів натрій, маючи вже готову цю другу сферу, своїм одинадцятим електроном починає розбудову системи дальших орбіт, що її продовжують будувати магnezій дванадцятим, алюміній тринадцятим і т. д. аж до завершення її вісімнадцятим довкільним електроном аріону. Аналогічно до того калій, маючи готові три сфери, починає своїм дев'ятнадцятим електроном розбудову четвертої, яка довершується аж 36-им довкільним електроном криптонового атома. Так знов іде далі ступнева розбудова внутрішньої структури атомів, при чому система орбіт різних квантів стає все складнішою. Отже поодинокі сфери атомових систем складаються найбільше з такого числа довкільних електронів: 2, 8, 8, 18, 18 і 32. Тут маємо знов той самий ряд, що його ми вже бачили в натуральній системі хемічних елементів. Н. Бор припускав, що електрони кружляють довкола ядра по кругах. Але німецький фізик Зоммерфельд, виходячи теж із засад квантової теорії, прийшов до висновку, що орбіти електронів можуть мати також форму еліпс, при чому атомове ядро в цьому разі міститься в одному з фокусів такої еліпси подібно до того, як Сонце знаходиться у фокусі еліпсної орбіти нашої Землі. Далі він на основі Айнштайнової теорії релятивності прийшов



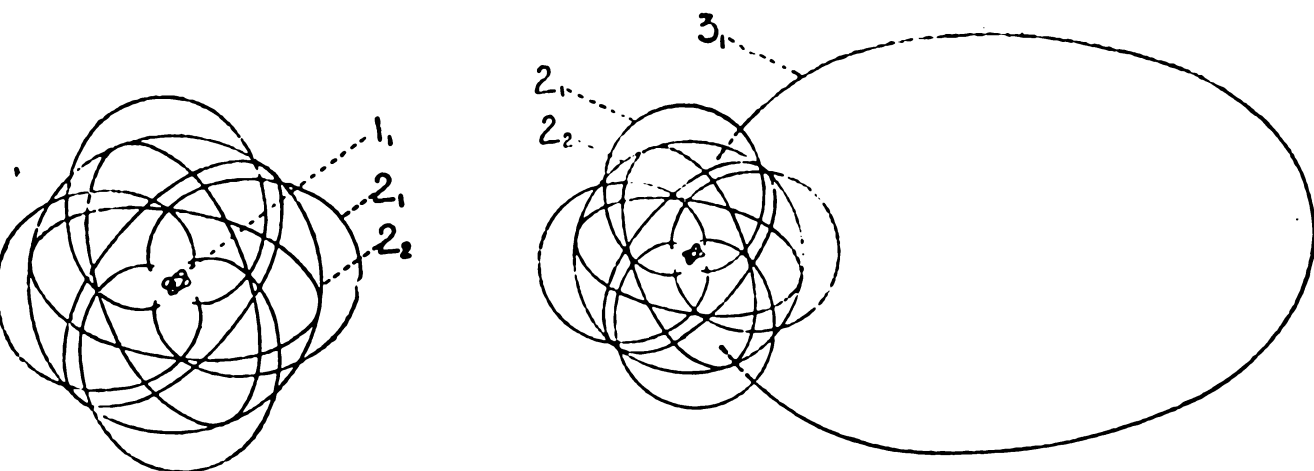
Атом водню.

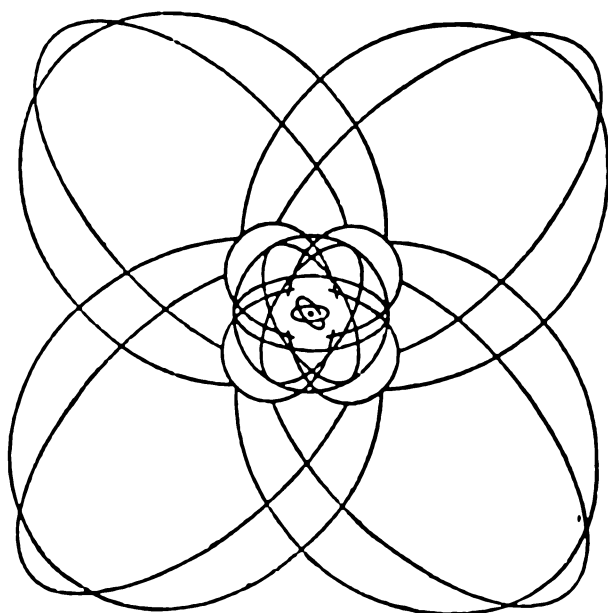


Атом гелію.



Атом літію.





Атом аріону.

до висновку, що шляхи руху електронів не є власне замкнені еліпси, бо вони ступнево змінюють своє положення в певній площині, так що витворюються зрештою шляхи у формі розеток, подібних до шляху сателіту Меркурія у соняшній системі. Швидкість руху електронів у планетарних системах атомів дуже велика: у водневого досягає вона 2200 кілометрів за 1 секунду. Наслідком кружляння негативно наладованого електрону довкола атомового ядра повстає електро-магнетичне поле, яке впливає на положення в просторі його шляху. Взагалі орбіти електронів лежать не в одній якійсь площині, а в просторі трьох розмірів. Окрім того, що довкільні електрони кружляють навколо атомових ядер, вони одночасно обертаються теж і коло своїх осей на подобу веретен, звідки походить (з англійського) й назва цього руху — спін. Подібно ж і саме атомове ядро обертається коло своєї вісі. Вивчення явищ, зв'язаних із внутрішньою будовою атомів, є предметом зовсім модерньої галузі фізикальної

науки, яка народилась у теперішньому столітті й носить назву атомової фізики. Тут ми могли подати в дуже загальній формі тільки деякі важливіші висновки й досягнення цієї нової галузі природознавства. Кілька рисунків, що їх подано вище, нехай послужать бодай схематичною ілюстрацією до вищесказаного.

Аналізуючи Борові моделі атомів, німецький фізик Коссель завважив, що деякі з них мають особливо тривкі конфігурації, бо в них певна система електронних орбіт знаходить своє завершення й дальших електронів уже не приймає. Такого характеру конфігурації мають атоми „шляхетних“ газів і цим власне пояснюється їх цілковита хемічна інертність супроти інших хемічних елементів. Виходячи з цього, Коссель створив (1916) теорію гетерополярних сполук (чи електрова-ленційних або іонних сполучень). Отже, завершений тип конфігурації атомової структури інертних газів є свого роду „ідеалом“, до якого стремлять інші хемічні елементи. Тому елементи, які сліднують зразу за інертними, дуже легко віддають свій нібито „зайвий“ електрон, що одинцем кружляє поза стабільною системою свого попередника, а тим самим вони переходять до стану іонного й стають електро-позитивними іонами. Легкість, з якою атоми цих елементів віддають свій один електрон, пояснює їх велику хемічну активність (літій стоїть після гелія, натрій після неону, калій після арґону і т. д.). Досить легко теж віддають свої крайні електрони й атоми дальших за чергою хемічних елементів, а тому й вони також виявляють себе досить активними в хемічному відношенні. Відповідно до числа втрачених крайніх електронів

(один, два чи три), дотичні елементи показують себе одно-, дво- чи три-валентними. Навпаки ті хемічні елементи, в яких атомам бракує один, два чи три електрони до того, щоб вони досягли стабільності своєї атомової конфігурації, прагнуть до того, щоб придбати стільки електронів, скільки їм до того не вистачає. При тому притягаюча сила „неідеального“ атома є тим більша, чим менше йому бракує до „ідеалу“, а тому-то хемічно дуже активними являються галоїди, яким не вистачає всього тільки по одному електрону, щоб досягти такої тривкої конфігурації, яку мають сусідні інертні елементи. Теж і далші від інертних елементи прагнуть захопити два чи три електрони, щоб досягти стабільності своїх атомових систем. У цьому випадку валентність елементу визначається числом електронів, які бракують. До всього цього ще можна додати, що хемічні елементи, яких атомова структура є посередня між двома „ідеальними“ типами конфігурацій, виявляють у хемічному відношенні також посередні властивості між сильно активними металами й такими ж металоїдами. З погляду гетерополярної теорії цілком зрозумілим є, чому такими певними злуками являються злуки елементів, які сусідують з двох боків із „шляхетними“ газами, як напр., $NaCl$, K_2 і ін. Того самого року, що й Коссель, виступив американський фізик Левіс із своєю теорією гомеополярних злук (чи неполярних або ковалентційних сполучень), тобто злук, які витворюються або з однакових цілком атомів (молекули хемічних елементів), або хоч і з різних, але таких, що між ними не існує полярного сполучення. Цього роду злуки з погляду гомеополярної теорії утворюються не наслідком того, що один атом віддає свій

електрон другому, тільки через те, що електрони двох чи кількох атомів стають спільними сателітами їх ядер і таким способом повстає складніша, але всежтаки стабільна система орбіт довкільних електронів. Беручи під увагу, що окрайні електрони атомової системи визначають хемічні властивості дотичного елементу й зокрема його валентність, вони носять назву валенційних електронів. Таким чином набій атомового ядра визначає число довкільних електронів атома, а хемічні прикмети елементу визначається способом упорядкування цих довкільних електронів.

Вище ми згадували за натуральну систему хемічних елементів, складену данським ученим Томсеном. Цю систему удосконалив Н. Бор так, що рядками й точками пообводив ті елементи, яких внутрішня атомові структура є вислідом творення електронних орбіт певних квантів. Незабаром ця Бором удосконалена система стала перед іспитом її правдивості. Тоді ще не був відкритий хемічний елемент гафній (чер. число 72), що мав сусідувати з групою елементів рідких земель. Власне виникало питання, чи той невідомий елемент мав належати ще до цієї групи, чи вже стояв поза нею й мав зайняти нормально своє місце в періодичній системі. Згідно з теорією Бора структура атома цього невідомого елементу мусіла бути така, що до рідких земель він не міг належати, а за своїми властивостями мав він бути вищим гомологом циркону й нижчим гомологом торію. Два дослідники Костер і Гевеші, що працювали над відкриттям цього елементу, виходячи з пересвідчення в правдивості Борової теорії, стали його шукати серед цирконових мінералів і дійсно там його знайшли (1923). Тим

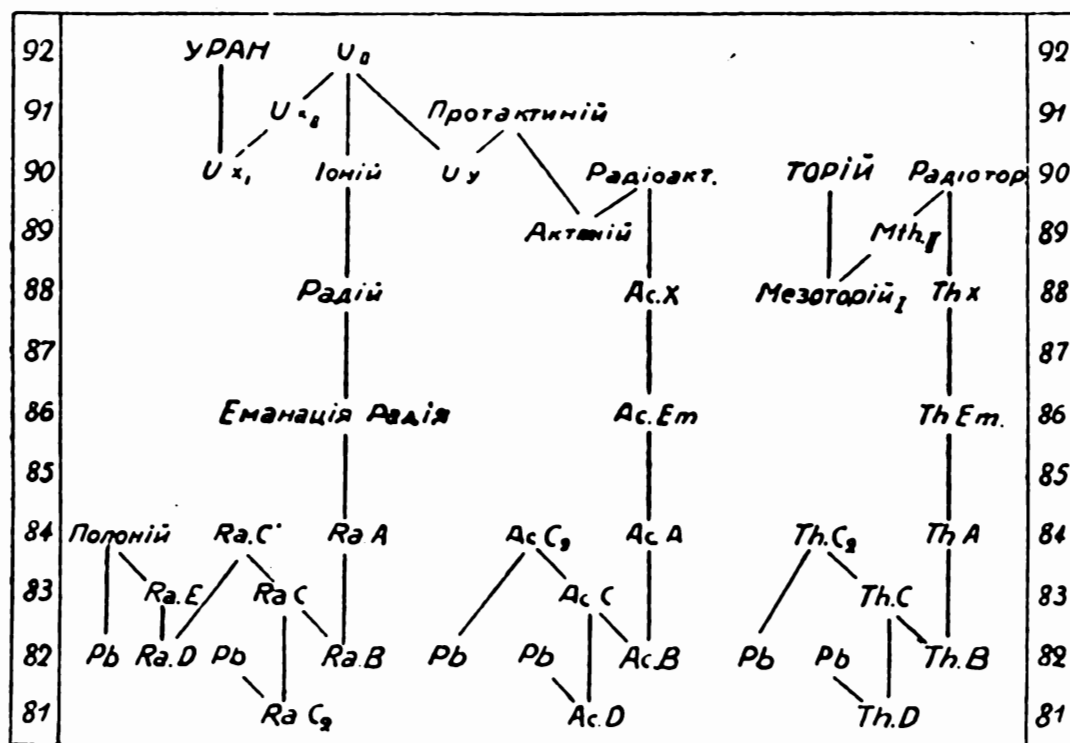
вони дали реальний доказ правдивості Борової класифікації хемічних елементів на основі їх атомової структури, а це було також посереднім доказом правдивості й цілої його теорії, як рівно ж і Резерфордівої ідеї про будову атома в подібній соняшній системі.*)

Із таблиці радіоактивних елементів, що її ми навели вище, можна бачити, що перетворення одного елементу на другий діється через виділення α -частки або β -частки з евентуальним виділенням також і γ -проміння. Відповідно до того відрізняють α -переміну й β -переміну. За першої переміни „нащадок“ позбавляється двох позитивних набоїв у своєму атомовому ядрі й тим самим має зайняти в натуральній системі хемічних елементів місце з черговим числом о 2 одиниці меншим, ніж чергове число „предка“. Навпаки за другої переміни наслідком втрачення β -частки атомове ядро „нащадка“ стає більш позитивним о 1 одиницю, а тим самим він має попасти на місце з черговим числом о 1 одиницю більшим, ніж число „предка“. Інакше кажучи за α -переміни відбувається пересунення елементу в періодичній таблиці хемічних елементів до другої групи вліво, а за β -переміни до першої групи вправо. Це є правило Фаянса й Содді, що ствердили були характер обох названих перемін. Як ми вище згадували, за цих перемін повстають між іншими й такі елементи, що їх атомові ядра мають однакове число набоїв, і тому вони мусять стояти на тому самому місці в натуральній системі елементів, хоч їх атомова вага є різна. Такі елементи називаються ізотопами (з грецького

*) Докладніше про це див. у моїй книжці „Новий елемент гафній“. Прага 1928.

„ізос“ — однаковий і „топос“ — місце). Маркантним прикладом ізотопії є три сорти олива, з яких два мають однакову атомову вагу 206 і один — 208, але ані та ані друга вага не відповідає відомій і точно визначеній атомовій вазі олива 207,21. Подібних прикладів можна було б навести більше, але ми цього не будемо робити, щоб не розтягати нашого викладу. Скажемо тільки, що досі відкриті ізотопи різних хемічних елементів мають усі атомову вагу, визначену цілими числами без дробу. Коли ж ми бачимо, що переважна більшість елементів має атомову вагу з дробом, то це пояснюється тим, що ізотопи даного елементу в природі існують все поруч себе, при чому їх пропорція може бути така, що в результаті пересічна атомова вага цього елементу визначається числом із дробом. Так, напр., природний хлор складається з двох ізотопів, що їх атомова вага є 35 і 37, у висліді чого атомова вага хлору, тобто мішанини обох цих ізотопів (77,15% першого й 22,85% другого) визначається числом 35,457. Знов ртуть має аж сім ізотопів із атомовою вагою 196, 198, 199, 200, 201, 202 і 204, а мішанина всіх цих ізотопів, що існує в природі, виказує атомову вагу 200,61. Існуванням ізотопів пояснюється й згадувані раніше аномалії в періодичній системі хемічних елементів, а то власне, що калій, нікель і йод за їхніми атомовими вагами мали б стояти в системі перед аріоном, кобальтом і телуром. У дійсності ж справа представляється так, що калій має ізотопи з ат. в. 39 і 41, нікель із ат. в. 58 і 60, а йод має атом. вагу 127. Натомість аріон має атом. вагу 40, кобальт — 59, а телур має ізотопи з ат. в. 126, 128 і 130. Тільки наслідком того, що

в природній мішанині ізоотопів переважають легші ізоотопи калію й нікелю та навпаки важчий ізоотоп телуру, результативно дотичні існуючі в природі елементи виказують таку атомову вагу, згідно з якою їм у періодичній системі мало б припасти невідповідне місце. Отже, коли на перший погляд здається, що згадані аномалії в натуральній системі елементів існують, то тепер ясно, яка в дійсності є причина цього явища. Щоб показати наочно, як повстають ізоотопи, вже вище подану таблицю радіоактивних елементів і їх перетворення подаємо в наступній схемі.



На цій графічній схемі маємо з двох боків по прямовісній лінії означені цифрами місця в натуральній системі елементів, що їм на поземній лінії відповідають різного походження ізоотопи, яких атомова вага значно між собою різниться, але їх атомові ядра несуть однакові набої. Характерис-

тичною прикметою ізотопів є те, що їх хемічні властивості є зовсім ідентичні або в кожному разі настільки близькі, що хемічними методами розділити їх нелегко. Раз змішані, вони вже продовжують існувати нерозлучно, хоч в останньому часі випрацьовано вже методи їх відділення. В природі ми маємо, отже, не „чисті“ хемічні елементи, тобто такі, що складаються з одного тільки сорту атомів, але мішанину ізотопів. З повищого ясно, що колишній погляд, нібито в природі існує стільки сортів атомів, скільки є хемічних елементів, не відповідає об'єктивній правді, бо в дійсності сортів атомів є значно більше, ніж елементів. Загально можна ствердити, що на 92 хемічні елементи припадає досі відкритих понад 250 нестабільних і коло 300 стабільних сортів атомів, бо деякі елементи мають не лише по два чи три ізотопи, але й значно більше (цина має аж 11 ізотопів). З другого боку, як це видно з вищенаведеної таблиці радіоактивних елементів, існують і такі хемічні елементи, які мають однакову атомову вагу, але їх атомові ядра несуть неоднакові набої, так що ці елементи мають зовсім різні хемічні властивості. Такі елементи називаються ізобарами (з грецького „ізос“ — однаковий і „барюс“ — важкий). Група ізотопів, що в натуральній системі елементів мають те саме чергове число, називається плеядою.

Явище ізотопії настільки поширене в природі, що воно має місце навіть у свого роду „привілейованих“ хемічних елементів, як водень та кисень, бож знаєм, що атомову вагу визначалося відносно водню як 1, а потім стали її визначати відносно кисню як 16. Одначе на початку 1932 року американські дослідники Юрі, Брекквид і Морфі від-

крили ізо́топ водню з атомовою вагою два рази більшою за атомову вагу звичайного водню. Цей ізо́топ (${}^2_1\text{H}$) називають важким воднем. Того ж самого року інші американські дослідники Джіок і Джонстон відкрили два „важкі“ ізо́топи кисню з атомовою вагою 18 і 17. Таким чином природний кисневий газ є власне мішаниною трьох ізо́топів ${}^{16}_8\text{O}$, ${}^{18}_8\text{O}$ і ${}^{17}_8\text{O}$, які співіснують у пропорції 630:1:0,2. Отже при визначенні атомової ваги відносно кисню ${}^{16}_8\text{O}$ треба робити відповідну поправку. Через злучення двох атомів „важкого“ водню й одного атома кисню утворюється молекула „важкої“ води. У природній воді на кожні 2500 молекул звичайної води припадає 1 молекула „важкої“ води, що виявляє свої особливі фізичні властивості й фізіологічні (шкідливі) впливи.*) В науці є два погляди щодо того, яку треба було б дати дефініцію поняттю „хімічний елемент“, тобто чи слід уважати за елементарний хімічний індивід такий, що складається з одного сорту атомів, чи може він складатись і з різних сортів атомів, або інакше кажучи, чи мав би бути хімічний елемент „чистим“ чи він може бути також і мішаниною ізо́топів. Відкритий „важкий“ ізо́топ водню називають теж девтерієм та означають його символом D, бо з погляду першої дефініції він є окремою хімічною індивідуальністю з атом. вагою 2,01418. Визначення його атомової ваги відносно ${}^{16}_8\text{O}$ переведено вже згадуваною методою Астона (спектрограми мас).**)

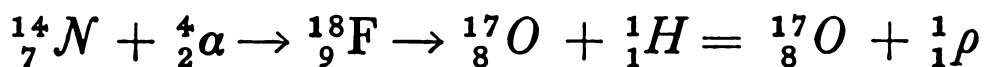
*) Як важкий водень, так і важку воду тепер уже виготовляють промислово. Про відкриття їх див. у моїм нарисі „Важкий водень і важка вода“. Прага, 1935.

**) Ізо́топи прийнято означати так, що перед символом дотичного хімічного елементу внизу пишеться відповідною цифрою набій його атомового ядра, а над нею атомову вагу ізо́топу.

АТОМОВІ ЯДРА, ЇХ СКЛАД І ПЕРЕТВОРЕННЯ.

Трансмутація атомових ядер радіоактивних елементів відбувається через висилання ними гелієвих ядер (α -часток) і електронів (β -часток). Згадані чотири окремі елементи — калій, рубидій, лютецій і самарій — виявляють свою радіоактивність висиланням β -часток. Отже гелієві ядра й електрони мали б бути складовими частинами атомових ядер інших елементів. Однак англійські дослідники Мерсден і Лендсбері при своїх дослідах завважили появлення під впливом α -часточок водневих часток за таких умов, де присутність водню була виключена. Згадуваний уже раніше англійський учений Резерфорд перевів у цьому напрямі докладні досліди й у 1919 році ствердив, що при „обстрілюванні“ зовсім чистого азотового газу α -частками появляється особливе проміння, що складається з часточок чотири рази легших, ніж α -частки. Ідентичність їх із атомовими ядрами водню була безсумнівно доказана. Цю часточку Резерфорд назвав протоном (з грецького „протос“ — перший чи первісний). Вона має масу $1,6736 \cdot 10^{-24}$ гр. і несе 1 ел. позитивний набій. Вага протону відносно $^{16}_8\text{O}$ визначається числом 1,00756. Означають його літерою 1_1p або 1_1H , тобто символом водню з додатком означення набою й ваги. Виникнення цих часточок пояснюється тим, що з числа 50.000 одна α -частка на певній віддалі свого лету конче влучить до атомового ядра азоту, з якого вибиває протон і сама лишається в азотовому ядрі, при чому

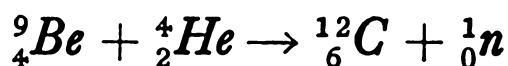
утворюється, як переходова форма, нестабільний ізотоп флюора з атомовою вагою 18. Цей процес перебігає так:



Це явище раніше називалося не вповні точно „розбиттям“ атомів. Досліди показали, що й інші хемічні елементи під „обстрілом“ їх α -частками виділяють водневі ядра-протони. З того виходить, що навіть і не гелієве ядро, а власне атомове ядро водню в тою цеглинкою, з якої будується матеріальний світ. Так уже в модернізованій формі знов відродилася давня ідея Праута, згідно з якою „первісною“ матерією мав бути водень. Хоч ідея ця в суті речі не розминалася з об'єктивною правдою, однак вона, подібно до інших засадничих думок у науці, була тільки початковим сформулюванням тої правди, що до її пізнання значно ближче підійшла сучасна фізико-хемічна наука. Про це в нас зараз і буде мова.

Ще в 1930 році два німецькі дослідники Боте й Беккер, переводячи „обстрілювання“ різних елементів α -частками (з полонію), спостерегли, що з берилію виходить особливе проміння, що його вони вважали за γ -проміння з огляду на його велику здібність проникати до матеріальних тіл. Слідом за ними досліджували це явище французький фізико-хемік Жоліо та його дружина Ірена (дочка славних П. і М. Кюрі), які ствердили, що те особливе проміння може проникнути навіть 30 см. глибоко до олив'яної плитки, але сильно абсорбується тими тілами, які мають у своєму складі водень. Аж у 1932 році вже згадуваний англійський фізик

Чедвік розгадав зрештою природу цього нового проміння. Виявилось, що це є проміння матеріальної природи і складається воно з часточок з масою, майже цілковито рівною масі протона, але ці часточки не несуть ніякого набою. Тому їх названо нейтронами. Маса нейтрону є $1,676 \cdot 10^{-24}$, а відносно ${}^1_8\text{O}$ його вага є 1,00897. Символом нейтрону є літера n або ${}_0^1n$. Тому, що нейтрони не мають електричних набоїв, не можуть вони спричинити явище іонізації й через це неможна бачити шлях їх руху в коморі Вільсона. Електронейтральність цих часточок є причиною того, що вони не підлягають впливові електропозитивних атомових ядер. Від важких атомових ядер нейтрони відбиваються й летять далі майже з тою самою швидкістю 30—50 тисяч км./сек. Навпаки, коли нейтрон налетить на легке атомове ядро водню, то він це ядро вибиває, лишаючись на його місці, а те ядро летить потім далі, одержавши від нейтрону його кінетичну енергію. Тому, що ядро водневого атома (протон) є електропозитивне, дальший рух протонів викликає іонізацію, і його можна вже побачити в коморі Вільсона. Процес перетворення берилієвого атома на вуглець із виділенням нейтрону відбувається за формулою:



Досліди, переведені різними дослідниками, показали, що помимо берилію також і низка інших елементів під бомбардуванням їх атомів α -частками перетворюється на інші елементи з виділенням нейтронів. Це доказує, що нейтрони входять до складу атомових ядер поруч із протонами, при чому ці дві

часточки співіснують як близнята. У вільному стані така двійка творить ядро важкого водню й носить назву девтерон (з грецького „девторос“ — другий) аналогічно до назви ядра звичайного водню „протон“. Означають його або $\frac{1}{2}d$ або $\frac{1}{2}H$. Гелієве ядро складається з двох таких двійок. Ця комбінація є тривкою й фігурує в складі атомових ядер різних хемічних елементів. Протон додає атомовому ядру 1 позитивний набій і масу 1, а нейтрон тільки масу 1. Отже в кожному атомовому ядрі є стільки протонів, скільки позитивних набоїв воно несе на собі, а його маса є рівна сумі мас усіх протонів і нейтронів. Чергове число елементу (воно показує також і число набоїв ядра) називають теж атомовим числом. У природі існують переважно елементи з паристим атомовим числом, а це має свідчити про те, що непаристий протон в атомовому ядрі не є стабільний. З другого боку є також фактом, що найчастіше зустрічаються елементи з атомовою вагою, якої числове значення є кратне 4. Це показує, що атомові ядра таких елементів складаються з самих α -часток, тобто з гелієвих ядер, які своєю чергою, як ми вище зазначили, складаються з протонів і нейтронів. Таким чином основними цеглинками будови матеріальних тіл являються протон і нейтрон. Щодо β -часточок, то сучасна наука вважає, що вони власне не існують в атомових ядрах, а появляються й вилітають із атомових ядер радіоактивних елементів у моменті їх розпаду, як виділена при тому енергія. В цьому власне й полягає модернізація ідеї Праута, за часів якого на початку минулого століття фізико-хемічна наука була ще дуже далека від тих досягнень, які має сучасна наука про будову матерії.

Майже одночасово з відкриттям нейтронів американський фізик Андерсон відкрив атоми позитивної електричності. Це відкриття було зв'язане з дослідженнями над т. зв. космічним промінням, що приходить до нас із далеких міжпланетарних просторів. Оскільки пощастило дослідити це проміння, то має воно бути безматеріальним промінням світляної природи, при чому довжина його хвиль є ще коротша, ніж γ -проміння. Отже, як показали дослідження російського фізика Скобельцина (1929), під впливом цього космічного проміння відбуваються „вибухи“ атомових ядер з виділенням величезної кількості енергії. Повторюючи дослідження Скобельцина, Андерсон вивчав природу самого космічного проміння, бажаючи переконатися, чи не є воно зложене з електронів. При тому він, на своє здивування, зауважив наявність там часточок із масою електрону, які, однак, в електромагнетичному полі відхилялись якраз у протилежному напрямі, ніж відхиляються електрони, тобто кожна така часточка несе 1 позитивний набій. Ці часточки названо позитронами. Наступного (1933) року два англійські дослідники Блеккетт та Оккіяліні, співпрацівники Резерфорда, вповні підтвердили існування позитронів. Після цього запропоновано було називати електрони, як негативно наладовані часточки, негатронами, але ця назва якось не закріпилася, так що їх продовжують називати по-старому. Символом електричності є літера e або грецька ϵ з відповідним знаком, тобто для електрону e^- , а для позитрону e^+ , або β і $+\frac{0}{1}\epsilon$.

До такого важливого відкриття, яким було відкриття Андерсоном позитронів, прилучилося незабаром (1934) навіть до певної міри сенсаційне від-

криття подружжям Жоліо реального факту перетворення світляної енергії на електрони й позитрони. Це надзвичайне явище завважили вони спочатку при вживанні твердого γ -проміння, висиланого торієм C'' , а потім вони ствердили перетворення на електрони й позитрони також і γ -проміння, яке виникає при обстрілюванні берилію α -частками та щойно згадуваному його перетворенні на вугіль із виділенням нейтрону. Однак на цьому не стало, бо незадовго потім було спостережено не менше вражаюче явище якраз протилежного змісту, а саме виникнення γ -проміння із злучення електрону з позитроном. Явище це відбувається в той спосіб, що при зустрічі електрону з позитроном вони злучаються, їхні протилежного знаку набойі взаємно вирівнюються й замість тих двох часточок виникає γ -проміння. Як не є безмежно-малою маса електрону, але ж електрони творять складову частину атомів і тим самим є вони частиною матеріальних тіл. Отже ствердження факту перетворення сполученої двійки—електрон з позитроном — на світляну енергію й навпаки перетворення цієї енергії на ту двійку є наочним доказом можливості перетворення матерії на енергію й навпаки. Позитрони добуваються тепер різними способами, але все в невеликій кількості. Вважається, що вони можуть існувати доти, доки за свого руху не натраплять на матерію, бо в цьому разі вони негайно злучаються з електронами й зникають. Дослідники в ділянці фізики атомового ядра спостерегли, що за певних умов протон перетворюється на нейтрон і при тому виникає позитрон, а також і нейтрон переміняється на протон і виникає електрон. Ми вже згадували, що електрони не

є приямні в атомових ядрах й виникають унутрі їх за певних внутрішніх процесів. Те ж саме відноситься й до позитронів, які не є готовою складовою частиною ядра, існують у них потенційально та появляються наслідком тих внутрішніх процесів, що відбуваються спонтанно або що їх спричиняють певні зовнішні фактори.

Окрім вищезгаданих існують ще два роди часточок, що грають певну роль за перетворення атомових ядер. Один рід носить назву невтрино, а часточка другого роду називається мезотрон. Гіпотезу існування часточок невтрино висловив (1934) італійський дослідник Фермі для пояснення тої обставини, що більшість β -часток при своєму виникненні несе меншу енергію, ніж є ціла енергія розпаду атомового ядра. Отже й процес перетворення невтрону на протон із виділенням електрону та навпаки перетворення протону на невтрон із виділення позитрону має власне відбуватись за такими формулами:

$$1) \quad n \rightarrow p + e^{-} + \text{невтрино}$$

$$2) \quad p \rightarrow n + e^{+} + \text{невтрино}$$

Часточка невтрино, подібно до невтрону, не має ніякого електричного набою, а її маса є приблизно ще п'ять разів менша за масу електрону. Часточку мезотрон відкрив (1938) японець Юкава. Називають її також „важким електроном“, а раніше називали по імені її об'явника „юконом“. Часточка ця має масу коло 160 разів більшу за масу електрону й несе 1 електронегативний набій. Мезотрон є нестабільною часточкою й скоро розпадається на β -часточку й невтрино. Пересічний вік мезотрону виносить всього тільки $0,5 \cdot 10^{-6}$ сек.

Уважаємо за доцільне на цьому місці зауважити, що тепер наука про атом і атомове ядро творить важливу галузь загальної науки фізики. Досліди в цій галузі показали, що в безмежно малих розмірів атомовому світі (розмір атома визначається величиною 10^{-8} цм., а ядра його величиною 10^{-13} цм.) процеси відбуваються дещо інакше, ніж це ствердила т. зв. класична фізика відносно явищ у макроскопічному світі. Так російський дослідник Гамов показав, що між атомовими часточками на віддалі більшій ніж 10^{-13} цм., діє відштовхуюча сила, як і в макроскопічному світі, але на меншій віддалі діє навпаки вже сила притягання між однаково наладованими часточками. Складові частини атома (ядро й електрони), подібно до макроскопічних тіл, мають свою масу й енергію. Але вони перебувають у стані rotaції навколо одної із своїх осей (це явище, як вище згадано, носить назву спіні), а з того випливають ще особливі фізичні властивості цих безмежно малих часточок. Ми вже згадували вище за фотон, що є квантом ніби своєрідно конденсованої світляної енергії. Для пояснення оптичних феноменів у світі атомарних розмірів уже не вистачає теорія електро-магнетичного хвилювання, що її ми знаємо з класичної фізики, бо там діють особливі закони механіки. Зрештою ж тут зникає різниця між матеріальними частками й світлом, бо ті частки в стані руху, подібно до світла, також заломлюються. Це теоретично передбачав (1924) французький фізик де-Брольї, а потім це явище було стверджено й експериментально. Завдяки таким досягненням фізики в ділянці вивчення явищ атомарного світу стало можливим усунення труднощів при обчисленні шляхів зовнішніх атомових електронів,

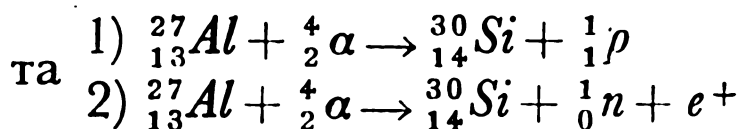
що їх при тому зустрічав сам автор теорії атомової будови Бор, виходячи з засад класичної фізики.

У світлі вищенаведеного стають зрозумілими й інші явища, зв'язані з тонкою будовою матерії та її перетворенням. Як ми вище зазначили, атомове ядро важкого водню девтерон складається з 1 протону й 1 нейтрону, їх сумарна вага ($1,00756 + 1,00897$) є $2,01653$, а тим часом вага девтерону є тільки $2,01418$, одже різниця є $0,00235$. Знов же гелієве ядро складається з двох таких двійок і мало б важити $4,03306$, а в дійсності воно важить $4,00279$, тобто й тут є різниця $0,03027$. Коли перевести подібні обчислення відносно складу інших хемічних елементів, то всюди виявиться, що атомова вага дотичного елементу є менша, ніж вона мала б бути відповідно до числа протонів і нейтронів у його атомовому ядрі. Це носить назву дефекту маси або конденсаційного уділу, а суть цього явища полягає в тому, що при повстанні ядра хемічного елементу із протонів і нейтронів частина їх загальної маси перетворюється на енергію, яка вилучається до простору. А тому для того, щоб видобути складові частини атомового ядра чи взагалі його розбити, треба йому додати стільки енергії, скільки її вилучилося при тому, як те ядро повстало. Релятивно дуже великий дефект маси є в гелієвих ядрах, а тому їх розбити досі ніяк не пощастило, бо немає в наукових дослідників такого сильного джерела енергії, щоб можна було з нього дістати необхідну для розбиття гелієвого ядра велику її кількість. Дефект маси означають Δm (грецька літера дельта Δ і латинська m). Зв'язана з ним енергія (e) визначається рівнянням:

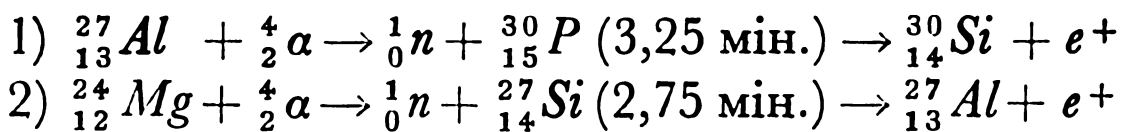
$$\Delta e = \Delta m \cdot c^2$$

де c означає скорість світла. Беручи під увагу вищенаведений дефект маси гелію, обчислюють, що зв'язана з ним енергія є $2,72 \cdot 10^{19}$ ерг./мол. або $6,5 \cdot 10^{11}$ кал./мол. Це значить, що при утворенні всього тільки 4 гр. гелію вилучується колосальна кількість енергії, яку треба було б, очевидно, додати, щоб розбити атомові ядра такої невеликої кількості гелію.

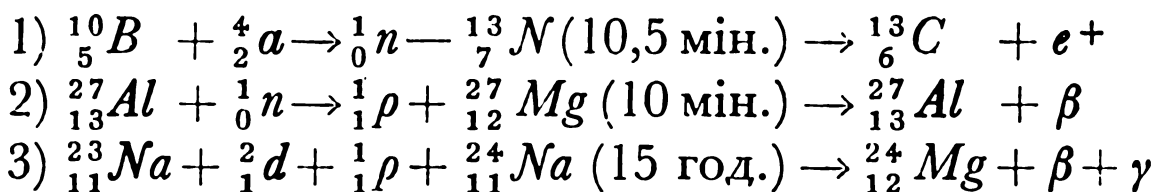
Як ми вже знаємо, в природі радіоактивний процес відбувається цілком спонтанно. Але в останньому часі науковим дослідникам пощастило реалізувати цей самий процес і в лабораторії. Явище це носить тепер назву штучної радіоактивності, а вперше його ствердили вже нам відомі Ф. та Ір. Жоліо при обстрілюванні алюмінію α -частками. Ще в 1933 році заважили вони, що при тому відбуваються дві реакції, а то:



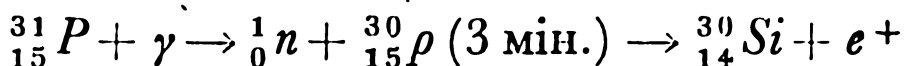
Продовжуючи свої дослід, вони потім (1934) ствердили, що позитрони (e^+) продовжують виділятися деякий час і після того, як обстріл алюмінію α -частками припиняється. При тому хемічною аналізою було стверджено наявність фосфору. З того виходить, що реакція відбувається так, що в міжчасі виникає радіоактивний фосфор, якого половинний період є коло $3\frac{1}{4}$ минут. Подібно до цього виникає й радіоактивний силіцій із пол. пер. 2 мін., 45 сек. Одже це можемо представити так:



Стверджено було потім штучну радіоактивність також і в багатьох інших хемічних елементів. При тому вона може виникнути при обстрілюванні їх не лише α -частками, але й іншими, як протони, нейтрони чи девтерони. Для ілюстрації наведемо тут процеси повстання радіоактивних елементів азоту, магnezію й натрію, яких половинний період є вже більший.



У другому вищенаведеному прикладі, як бачимо, радіоактивний магnezій перетворюється знов на алюміній, з якого він повстав був через обстрілювання нейтронами. Досліди показали, що штучно-радіоактивний елемент може повстати також і під впливом γ -проміння, напр.:



Взагалі тепер відомі такі комбінації: (α, p) , (α, d) , (α, n) , (p, α) , (p, n) , (p, γ) , (d, α) , (d, p) , (d, n) , (r, α) , (n, p) , (n, γ) і (γ, n) . Тут у дужках поставлено означення проміння різних сортів, при чому перша літера означає проміння вживане, а друга витворене проміння. Дотепер уже стверджено було експериментально коло 600 перетворень одних атомових ядер на другі, при чому повстає понад 300 нестабільних і нерадіоактивних ядер, 41 природно-радіо-

активних і коло 220 штучно-радіоактивних. При тому виникають здебільшого нестабільні штучно-радіоактивні елементи, яких половинний період є невеликий. Однак відомі теж і такі, що їх половинний період триває навіть кілька місяців.

Якщо на вищенаведених прикладах ми бачимо перетворення одних елементів на другі, то тут разом із тим можемо ствердити, що це перетворення супроводиться виділенням певного сорту проміння і витворенням елементу з атомовою вагою, близькою до атомової ваги його „предка“. Але іншого характеру явище має місце при обстрілюванні нейтронами найтяжчого елементу-урану. Ще італійський фізик Фермі розпочав був ці експерименти, при чому йому нібито пощастило здобути т. зв. трансурани тобто елементи з черговими числами 93 і 94. Продовжували їх німецькі дослідники Майтнер, Ган і Штрассманн, які спочатку думали що знайшли (1939) трансурани з черговими числами навіть 95 і 96. Однак незабаром хемічною аналізою доказана була наявність барію і потім також криптону та інших елементів, як церій, лантан, ксенон, рубидій, стронцій, цезій та ін. З того виходить, що при обстрілюванні урану нейтронами його ядро справді розбивається на цілу низку атомових ядер і таким чином із важкого хемічного елементу урану зроджується кілька легших елементів. З того виходить, що існування радіоактивних трансуранив є сумнівне. Натомість було стверджено, що при розбитті уранового ядра виникали ядра штучно-радіоактивних елементів, які не перетворювались, подібно до наведених вище прикладів, відразу на стабільні ядра дотичних інших елементів, але навпаки давали дальші нестабільні ядра. Таким

чином витворюється цілий ряд штучно-радіоактивних елементів, що нагадує собою ряди природно-радіоактивних елементів. Подібно як в урана також і при розбитті торієвого ядра спостережено виникнення ряду штучно-радіоактивних елементів. Із повищого ясно, що явище штучної радіоактивності полягає не в тому, що під впливом зовнішнього чинника атомове ядро якогось елементу стає само радіоактивним, а тільки в тому, що те ядро трансформується на інше ядро, яке по своїй природі не є стабільне й спонтанно розпадається. Отже природна й штучна радіоактивність являють собою феномен тотожного характеру.

Дотеперішні досягнення науки в ділянці вивчення будови матерії та її перемін мають тим часом майже виключно теоретичний інтерес. Однак вже й тепер намічаються можливості використання радіоактивних ізотопів певних елементів для ствердження приналежності цих елементів там, де їх кількість дуже мала або де трудно їх контролювати хімічними методами. Як ми вище згадували, в разі змішання ізотопів вони лишаються вже нерозлучними. За дальших процесів вони беруть у них участь обидва в пропорційній кількості. Теж саме буває й у тому разі, коли один із ізотопів є радіоактивний. Тому, що фізика розпоряджає такими чутливими приладами, які уможливають ствердження незвичайно малих кількостей радіоактивних елементів, то тим самим дається можливість ствердження наявності й нерадіоактивних ізотопів. Таку роль індикаторів радіоактивні ізотопи грають не тільки в хімічних процесах, але й у біологічних. Отже, напр., активний ізотоп вуглецю має половинний період коло 40 хвилин. Якщо його змішати з неактив-

ним ізотопом і у формі якогось препарату ввести до живого організму рослинного чи тваринного, то можна в цей спосіб досить довго обсервувати, як та субстанція розділяється в дотичному організмі, а це може бути надзвичайно важливим при вивченні процесу обміну речовин, спеціально в разі порушення нормального перебігу цього процесу за якоїсь хвороби. Само собою розуміється, що й для лікування було б важливим використання штучно-радіоактивних елементів, але тим часом справа мається так, що в медицині всежтаки вигідніше вживати радій, не зважаючи на його дорожнечу, аніж приготувати штучно-радіоактивний натрій. Модерна наука експериментально доказала, що давня ідея алхіміків про перетворення одного роду матерії на другий та можливість таким чином здобути штучне золото мала в собі зерно правди. Вона була химерною за часів самих алхіміків, бож ці часом навіть дуже пильні дослідники (абстрагуючи від сумнівних спекуляцій різних аферистів) не розпоряджалися для реалізації тої своєї ідеї такими могутніми дослідницькими засобами, якими розпоряджаються сучасні дослідники. Ці останні замість таємничого „камня мудреців“ вживають при своїх працях α -часток, деутронів чи нейтронів, що про можливість їх існування середньовічні алхіміки, розуміється, навіть і не підозрівали. Річ ясна, що нема ніякої підстави думати, що штучне золото не буде зроблене. Але нема також сумніву, що тим часом його приготування було б настільки дороге, що в цей спосіб збагачуватись ніхто, очевидно, не буде ризикувати, оскільки йому не виповість службу здоровий розум.

Тепер із певністю можна твердити, що існує дуже

велике число таких ізотопів неактивних елементів, які в природі не є стабільні. Природні радіоеlementи існують тільки тому, що елементи уран і торій, як джерело їх існування, є настільки стабільні, що дожили вони аж до нашого часу від правіків, коли ще почала формуватись сама матерія. Калій, рубидій, самарій, лютецій і неодим тепер уже не являються перед нами якимись виїмковими елементами, хоч є вони теж слабо радіоактивні. Ці п'ять елементів є „останні могікани“ з великого числа тих радіоактивних елементів, які перед мільйонами років повстали були за таких умов температури, тиску й промінювання, що мають ще місце на Сонці й інших зорях, але вже давно не існують на нашій Землі. Чи така стабілізація не є ознакою старости її або може й початком схилення її до ступеневого завмирання та припинення на ній усіх тих процесів, що їх ми звичайно називаємо життям, про це нехай нам скажуть своє компетентне слово астрономи й астро-фізики.

ПІСЛЯСЛОВО.

Ми кінчили свій нарис. Він був надто короткий, щоб у ньому можна було докладніше освітлити предмет нашого викладу. Одначе думаємо, що й на основі цього короткого та далеко невичерпуючого нарису читач зможе скласти собі хоч загальну уяву про етапи еволюції та досягнення людської думки в її стремлінні пізнати таємницю внутрішньої будови матеріального світу.

Від стародавніх часів найвизначніші репрезенти людського інтелекту невпинно й ретельно працювали над знайденням способів, що уможливили б поглянути за ту завісу, за якою сховано багато таємниць ества природи. Чимало з тих таємниць стало вже нам відомими, але певно ще багато їх лишилося нерозгаданими й непізнаними. Скільки ще в таких незнаних нам таємниць, коли й якими способами зможе наука їх відкрити та й чи взагалі вона їх колись відкриє, того ніхто, очевидно, не знає і не може наперед знати.

Величавими представляються досягнення сучасної науки в різних ділянках знання. Але ж шлях до осягнення їх не був посипаний рожами та навпаки часто був він тернистий і трудний. Не легкою й скорою ходою йшли наукові дослідники до пізнання об'єктивної правди, а поступ науки зовсім не був самим тріумфальним походом чи непереривною низкою блискучих успіхів. Навпаки, завзятою й тяжкою працею, здобуваючи ступнево позицію за позицією, помалу посувалися наукові дослідники вперед аж зрештою привели культурне людство на височінь модерного знання. При тому через хибні гіпотетичні припущення іноді вони збочували з простого шляху й якийсь час блукали манівцями, поки не знаходився серед них такий, що своїм гострим зором розпізнавав ту добру дорогу, яка провадила до бажаної цілі. „Crescunt disciplinae lente tardeque per varios errores“, можемо ми сказати словами колишнього німецького дослідника Франца Нойманна.

Різні більші й менші труднощі зустрічали наукові працівники, трудячись над висвітленням різного роду питань. Ці труднощі з одного боку

випливали, незалежно від людської волі, з самих досліджуваних феноменів чи висвітлюваних проблем, але з другого боку створювали їх і самі люди чи то наслідком певного властивого людській психіці консерватизму, чи й просто з мотивів групо-, або кастово-егоїстичних. Зокрема натуралісти досить зазнали були труднощey цієї другої категорії.

Одначе, не зважаючи на всі ці труднощі, природничі науки розвивалися невпинно далі й за останніх яких 150 років досягли великих успіхів. Зокрема фізико-хемічна наука може похвалитись великими досягненнями впродовж неповного століття й спеціально за останнє неповне півстоліття. Треба признати, що навіть ще й тепер вона зустрічається з певними виявами консерватизму думання чи й просто упередженнями або звичайними забобонами. Але тепер цього роду явища можуть хіба служити доказом невисокого інтелектуального рівня їх оборонців і ніяк не можуть спричинитись до зпинення дальшого розвитку фізико-хемічної науки. Ця наука поставила зрештою питання про будову матерії й зробила поважний поступ по шляху до вияснення цієї проблеми. Вона спочатку вияснила, що фізичне тіло складається з молекул, а ці молекули з атомів. Після вивчення різних подробиць такої структури з початком XX століття зробила вона ще дальший крок, поставивши питання про будову самого атома й слідом за тим питання про будову його ядра. Вже аж в останньому часі цей комплекс питань було в значній мірі висвітлено, як також експериментально доведено можливість перетворення одного роду матерії на другий.

Розширюючи й поглиблюючи своє знання щодо

структури самого атомового ядра, наукові дослідники при своєму виучуванні цієї таємниці природи дійшли до таких глибин і деталей тонкої будови матерії, де вже цілком зникають границі між т. зв. „живою“ й „мертвою“ природою. Та навіть більше того. Наука зовсім об'єктивно ствердила, що нема границі між матерією й енергією, які взаємно можуть трансформуватись одна на другу. Коли ж ціла духовість людини є ніщо інше, як особливі форми прояву енергії, то це означає, що цей феномен у своєму єстві не є засадничо чимсь іншим, ніж той феномен у природі, що його ми називаємо матерією. Природне явище, що його ми звикли називати смертю, є хіба тільки одною з того безконечного числа найрізноманітніших трансмутацій, що постійно відбуваються в природі. Дух і тіло людини були, є й надалі залишаться складовою частинкою великого, незмірного й відвічного Космосу, що всіх його таємниць мабуть ніколи не збагне людина своїм надто далеким від досконалости розумом. Одначе, хоч якусь невелику їх частину всежтаки відкрила нам модерна наука завдяки своїм досягненням останнього часу. Зокрема завдяки успіхам фізико-хімічної науки ми хоч частинно знаємо тепер таємницю будови матерії та її перетворення.

З М І С Т

Передмова	5
Вступ	11
I. Наука про елементи й атомістика за часів давніших і новітніх	16
II. Молекули і їх склад. Релятивна вага молекул і атомів. Структурні форми молекул	33
III. Розміри молекул і атомів та їх абсолютна вага. Молекули, атоми й електричність	60
IV. Класифікація хемічних елементів. Періодична їх система на основі атомової ваги	81
V. Атоми й світло. Радіоактивність	98
VI. Будова атомів. Ізотопи.	121
VII. Атомові ядра, їх склад і перетворення	141
Післяслово	155

Того ж автора

Атом і молекула. Київ, 1912.

Фізицизм і містицизм. (Разом із проф. П. Андрієвським.)
З додатком про „Рух тварин“ і „Внутрішній рух матерії“.
Прага, 1924.

Атомістично-молекулярна теорія. Нарис еволюції наукових поглядів на тонку будову матерії. Прага, 1926.

Новий елемент гафній. Відкриття і властивості. Прага, 1926.

Хемічні елементи мазурій і реній. Екаманган і двіманган. Прага, 1929.

Про редукцію міді з тартратового комплексу за присутності гидропероксида. Прага, 1932.

Рідкі землі. Короткий систематичний нарис. Прага, 1934.

Важкий водень і важка вода. Відкриття ізотопів водню і кисню. Прага, 1935.

Парацельз—фундатор іятрохемії. З нагоди 450-ої річниці його народження. Прага, 1943.

З моїх споминів. Часть I—IV. Львів, 1930.

Десять років Української Громади в ЧСР. Огляд життя й чинности (1927—1937), Прага, 1938.



Адреса видавництва:

Jurij Tyščenko, nakladatelství, Praha II., Žitná 13
Protektorat Böhmen und Mähren