

М И К О Л А Г А Л А Г А Н

АТОМІСТИЧНО- МОЛЕКУЛЯРНА ТЕОРІЯ

НАРИС ЕВОЛЮЦІЇ НАУКОВИХ ПОГЛЯДІВ
НА ТОНКУ БУДОВУ МАТЕРІЇ

З передмовою академіка проф. А. СТАРКОВА



УКРАЇНСЬКИЙ ГРОМАДСЬКИЙ ВИДАВНИЧИЙ ФОНД

П Р А Г А

АТОМІСТИЧНО- МОЛЕКУЛЯРНА ТЕОРІЯ

•

М И К О Л А Г А Л А Г А Н

АТОМІСТИЧНО- МОЛЕКУЛЯРНА ТЕОРІЯ

НАРИС ЕВОЛЮЦІЇ НАУКОВИХ ПОГЛЯДІВ
НА ТОНКУ БУДОВУ МАТЕРІЇ

З передмовою академика проф. А. СТАРКОВА



П Р А Г А

УКРАЇНСЬКИЙ ГРОМАДСЬКИЙ ВИДАВНИЧИЙ ФОНД

1925

Друкарня
«ГЕОГРАФЪ»
Прага-Вршовце, Šárnova ul. 665.

П Е Р Е Д М О В А.

Як що мисляче громадянство останньої чверти минулого століття, під впливом праць еволюціоністів, захоплене було живим інтересом до біологічних наук, то можна сказати, що в першій чверті теперішнього століття центр уваги пересунувся в бік точних наук — математики, фізики і хемії. Теорія релятивності та новіщі відкриття в сфері вивчення будови матерії притягають до себе увагу кожної мислячої людини, навіть коли її фах і поле діяльності лежить далеко пова межами згаданих галузів знання. В науковій філософії питання про будову матерії і її єство все займало та, мабуть, і буде займати перше місце.

Біологія, котра має до діла з живими істотами, що повстають із найбільш ускладненої матерії, неминуче мусить виходити із розуміння єства матерії, щоб не втратити під ногами наукового ґрунту. Стремління пізнати велику загадку життя буде, мені здається, плодотворним тільки тоді, коли воно виходитиме із розуміння молекули, що досягла найвищого ускладнення. Разом зі зміною хемічного складу змінюються також і властивості, якості, атрибути сполучень. Через це можна припустити, що атрибути живої матерії є не що инше, як результат надавичайної комплікації молекулярного складу. Тому добування й сполучення поліпептидів, можливо, принесе нам *хемічне* розрішення великої тайни буття.

Чимало сучасних біологів знов вертаються до незрозумілої живої сили (*vis vitalis*), сподіваючись, що вона дасть розрішення основних питань; але я глибоко переконаний в тому, що тільки хемія може наблизити, допровадити нас до самої брами, за котрою криється таємниця. От через що власне я, анатом і біолог, з живим інтересом слідкую за розвитком сучасної хемії і радо вітаю появлення нових праць в цій області.

Автор поставив собі завдання познайомити по можливості всіх з сучасним ученням про будову атома, і мені здається, що це зав-

дання він виконав прекрасно. Мені здається, що йому пощастило перемогти найтрудніше: сполучити глибоку науковість викладу з його доступністю. Другу знов велику трудність — бути, скільки можливо, коротким без шкоди для тої цілі, що її собі ставить автор, — на мою думку, він також переборов уповні щасливо.

Я сподіваюсь, що молоде громадянство України, котра стала на шлях відродження, належно оцінить працю автора, і що ця книжка зацікавить кожного інтелігентного українського читача.

Щиро бажаю їй успіху на користь просвіти нашого народу, що з такою жадобою прагне знання, поданого йому в рідній мові з любов'ю й бажанням допомогти йому вибитися на шлях ровуму й свободи.

Академик-професор *Ар. Старков*.

Прага 21/II 1925.

В С Т У П.

Завзято боронить природа свої таємниці перед систематичною, упертою та витривалою роботою аналітичного ума людини. Але методично, крок за кроком поступає наперед ця робота; людина що далі, то все більше вглиблюється в область тих таємниць, а неласкава на уступки природа змушена відступати та здавати одну по одній позиції переможній у своїй праці дослідника культурній людині.

Довгий і тернистий, але славний і багатий досвідом був перейдений людством шлях до пізнання великої кількості явищ природи і тих законів, на основі яких ці явища відбуваються; перед багатьма колишніми таємницями впала завіса людського незнання, і вони не є вже для нас більше ніякими таємницями; наука розшифрувала колосальну кількість заповідей природи й розгадала величезне число загадок, котрі вона поставила перед людиною. Але ще багато залишилось нерозгаданих людиною загадок, непрочитаних наукою писем і нероз'яснених таємниць. Одною з таких таємниць є внутрішня структура матерії.

Довгий ряд людських поколінь вглядався в цю заслонену для них таємницю; найкращі уми філософів і наукових дослідників працювали коло в'яснення цього питання, але все-ж таки остаточно його ще не вдалося в'яснити.

Однак робота, яку перероблено представниками фізико-хімічної науки для дослідження внутрішньої будови найдрібніших частин матерії, надзвичайно велика і так багата своїми позитивними наслідками, що кожній культурній людині слід уділити трохи часу, щоб хоч коротко познайомитись з її результатами та тими дослідженнями в області пізнання природи, якими увінчалась напружена праця кращих представників людського інтелекту.

Конечні висновки з усіх дослідів сучасної науки в своїй результативній формулюванні є так вражаючі, що на перший погляд, без глибшого вдумання й ознайомлення з їх обґрунтуванням, вони можуть здаватись чимсь таким, що ніби-то протирічить щоденному й повсякчасному життєвому досвідові кожного з нас.

Мабуть не буде великим прибільшенням і відступленням від правди, коли ми скажемо, що переважаюча більшість людського роду перший свій досвід та знайомство з якостями й прикметами твердого фізичного тіла дістає тоді, коли при необережному рухові вдариться об ріг стола або розіб'є ніс об камінь. Цей болісний мимовільний досвід що-до твердості тіл підтверджується щоденною дальшою практикою і так міцно закріплюється в свідомості людини, що їй доволі таки трудно засвоїти собі уяву про тверде фізичне тіло, як про комплекс многих міліярдів окремих, навіть у найсильніший мікроскоп невидних, рухливих систем, які в мініятурі нагадують систему планет, що ходять навкруги сонця. Це може здатись цілком парадоксальним і неймовірним, бо-ж жадних найменших прикмет чи зовнішніх проявів внутрішнього комплікованого руху в частинках твердого фізичного тіла примітити ніяким чином неможна.

До таких висновків наука прийшла порівнюючи недавно і то особливо в наслідок тих, глибокого значіння, спостережень, досліджень та обчислень, якими ознаменувались останні тридцять років.

Ми говоримо власне про успіхи науки в царині вивчення структури атомів, яке привело до того, що на основі даних сучасної науки «ми змушені виставити таку тезу: атом є планетарною системою, в якій електрони кружать, ніби коло сонця, навколо позитивного ядра».*)

В наступних кількох розділах робиться спроба змалювати сучасний стан наукових поглядів на тонку структуру найдрібніших часток матерії, з котрих вона складається. Нам однак здається доцільним і корисним поставити вияснення цього питання в площину історичної перспективи, і тому вважаємо за відповідне на початку застановитись на головніших етапах розвитку наукової думки, яка в своїй еволюції прийшла до висновків, коротко зформулованих у наведеній що-йно цитаті.

1.

Вже від найдавніших часів філософський розум глибоких мислителів застановлявся над вирішенням проблеми, що власне є матерія, з чого повстали різні фізичні тіла, чим можна пояснити певні їх якості, властивості і т. д. В необчисленій різноманітності форм матерії, з якої складається вся жива й мертва природа, що оточує нас, людський розум шукав щось спільне, єдине; намагався знайти якусь «праоснову»; із «многости» форм і якостей матерії старався

*) R. Schmid. Das Atom — ein räumliches Planetensystem. Ст. 25. (1921).

вилущити певну «прасуть», спільну всім формам, яких прибірає матерія в залежності від зовнішніх обставин і безконечно-змінних умов.

«Людський інтелект ніде не виносить многости й повсякчасно стремить до упрощення її шляхом підпорядкування під один принцип. Спроваджуючи всяку многість до одної реальности, він з'єднює її й робить щойно приступною собі задля лекшого зрозуміння»^{*)}).

Шукання за цим «принципом», «праосновою», чи «праматерією» почались дуже давно; їх зародження зникають десь у глибинах стародавніх часів. Історія зберегла для нас імена натур-філософів, які займалися цією проблемою, починаючи лише з класичного періоду історії Греції.

Правда, значно раніше, ніж грецькі філософи, над питанням про те, із чого повстали всі природні речі, застановлялись уже вчені в Китаї та Індії. Знайдений в Китаї документ, який походить з часів старших за часи Соломонових пісень, свідчить про те, що китайські вчені одріжняли п'ять основних елементів: вода, огонь, дерево, метал і земля. Подібні уявлення про основу речей були також і в індійських учених. За первооснову всього вони вважали тонкий етер, а також огонь, воду, повітря та землю. Будда вчив, що цілий світ створений із цих чотирьох що-йно згаданих елементів та нематеріального етеру.

Згодом учення це перенесене було до Європи, де його поширенню в значній мірі сприяли видатні філософи Греції, а пізніше також почасти й римські. «В кожному разі, пише в свої книжці Штанге, погляди Греків відомі нам найкраще; цей народ через своїх видатних філософів мав величезний вплив на дальший розвиток цього вчення»^{**)}).

Талес із Мілету уважав, що прасуттю всього є вода; все, що існує на світі, повстало з води і є лише певною її формою, в яку вона перетворюється; вода є одинокою основою матерії: напр., коли вона гусне, то перетворюється на землю, а коли випарюється, то стає повітрям.

Анаксімен за праоснову всього вважав повітря; через зміни його стану (згущування чи розрідження) повстає все: тепло й холод, огонь, вітер, каміння, земля і т. д.

Анаксимандр із Мілету назвав цю праоснову «*ἄπειρον*»; це є щось безмежне, невідоме; щось таке, що не піддається дослідженню.

Пізніше з'явилась концепція *Емпедокла* про чотири основні елементи: огонь, земля, повітря й вода; вони є одвічні й незмінні;

^{*)} Др. Я. Ярема. Вступ до філософії. Стор. 73 (Прага, 1924).

^{**)} Dr. A. Stange. Die Zeitalter der Chemie. Стор. 32 (1908).

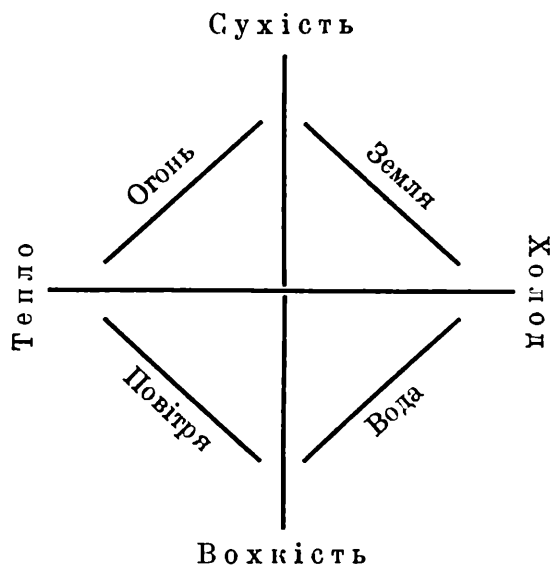
від сполучення їх між собою в різних пропорціях повстає все, що тільки існує в природі.

У *Геракліта* ролю основи всього грає одвічний, живий і не-вмірущий огонь. В понятті «огонь» у Геракліта об'єднані були не саме тільки полум'я, але також тепло й пара. Від різних змін огню повстають інші елементи: вода й земля та взагалі всі відомі нам матеріальні речі, а навіть душа. Однак у Геракліта яскраво виступає нова філософічна ідея про постійну зміну речей. Нічого, каже він, нема сталого й незмінного, окрім самого процесу постійної зміни єдиної «прасути»: *πάντα ῥεῖ* — все пливе.

Левкін, а особливо його учень *Демокрит* із Абдери, розвинули іншу концепцію. По їх концепції все, що тільки існує, складається із найдрібніших матеріальних частинок; число цих частинок-елементів безмежно велике; вони є також, як це думав і Емпедокл про свої чотири основні елементи, одвічні й незмінні. Всі ці елементи якісно цілком однакові, але відрізняються між собою величиною і формою: одні мають форму сферичну, другі форму куба, октаедра і т. д. Кожна окрема частинка-елемент є неподільна, через що й названо її а т о м о м (грецьке *ἄτομος* — неподільний). Атоми розположені в простороні так, що між ними є порожнеча, і це уможливорює їм рух. Вони постійно рухаються і зударяються один з одним. Від сполучення між собою цих невидимих атомів утворюються різні комплекси, які й спричиняються до повстання матеріальних речей; навіть душа, на думку Демокріта, складається із атомів, тільки атоми душі є дрібніші, ніжніші й рухливіші. Концепцію Демокріта розвивав також *Епікур*. Цю-ж атомістичну ідею обороняв пізніший її сторонник *Лукрецій Кар* у своєму славному творі «*De rerum natura*». Для атомів, казав він, потрібна порожнеча, щоб вони могли рухатись, так само як і риbam потрібна незайнята просторінь, щоб вони могли плавати. Атоми абсолютно тверді, і форма їх не змінюється; вони ніколи не знищуються і є одвічні. Матеріальні тіла, згідно з ученням атомістів, складаються з окремих елементів, д и с к р е т н о положених, цеб-то відділених один од одного порожнечею.

Проти основних тез атомістичного учення виступав у своїх творах *Арістотель*. Він насамперед одкидав необхідність припускати існування порожнечі. Атомістам припущення це потрібне було для того, щоб пояснити можливість руху, але, на думку Арістотеля, рух відбувається через те, що одна частина простору може відступити місце другій; одно якесь тіло залишає певну часть простору, куди вступає друге тіло. Далі Арістотель не погоджувався

з ідеєю Демокріта про існування безмежно-великої кількості неподільних і якісно-ідентичних матеріяльних атомів, як основних складових частинок всіх речей. Він, слідом за Емпедоклом, визнавав за первооснову чотири «стихії» (огонь, земля, повітря й вода), які можуть сполучатись між собою та перетворюватись одна на другу. Це перетворення можливе через те, що чотири основні «стихії» він трактував не як щось матеріяльне, а вважав їх за носіїв певних, цілком означених якостей. Цих основних якостей також чотири: тепло, холод, вохкість і сухість, при чому кожен елемент-стихія є носієм двох якостей; суть огню означають сухість і тепло; землі—сухість і холод; води—вохкість і холод; повітря—вохкість і тепло, як це показано на слідуючій схемі:



Отже для перетворення одного елементу на другий треба тільки, щоб вони обмінялись між собою своїми основними якостями. Напр:

$$\underbrace{\text{огонь}}_{\text{сухість—тепло}} + \underbrace{\text{вода}}_{\text{вохкість—холод}} = \underbrace{\text{повітря}}_{\text{вохкість—тепло}} + \underbrace{\text{земля}}_{\text{сухість—холод}}$$

Не тільки чотири основні елементи, а й взагалі всяка форма матерії є не що инше, як сполучення певних якостей; вона є носієм тих якостей, їх втіленням. Таким чином, щоб витворити якусь форму матерії з певними властивостями, для цього треба знайти спосіб сполучити до купи певну суму тих якостей, і цим буде витворено бажану форму матерії з бажаними її властивостями.

Пізніше Арістотель визнав, що для пояснення явищ природи не досить припустити існування згаданих чотирьох елементів, і тому він став приймати, що існує ще й п'ятий елемент, який у нього мав назву *οὐραία*. Цей п'ятий Арістотелів елемент середньовічні вчені

назвали «quinta essentia», а в скороченні його стали називати «квінт-есенція». Він, на думку Арістотеля, не був матеріальної природи, а скорше мав властивості якогось духового етеру (повна аналогія до вчення Будди). Однак середньовічні прихильники Арістотелевого вчення, всупереч поглядам самого творця цього вчення, намагались виготовити «квінтесенцію» в своїх лабораторіях, припускаючи, що вона має також і властивості матеріального тіла. Все це вносило в їх наукові дослідження плутанину і лише спричиняло непродуктивну страту часу на шукання того, чого не можна було знайти.

Арістотелева концепція була провідною ідеєю всієї тієї величезної по своїй кількості, але небагатої остаточно наслідками праці середньовічних алхіміків, які, поставивши собі за ціль штучно добувати золото із малоцінних матеріалів, шукали «камінь мудрости», за допомогою котрого можна було б з'єднати до купи характеристичні для золота якості. Носіями поодиноких цих якостей золота (прекрасний маталевий блиск, надзвичайно гарна жовта барва і т. д.) являються окремі розповсюджені в природі метали. Отже середньовічні алхіміки поставили собі завдання знайти той таємничий «камінь мудрости», який, на їх думку, мав силу відділяти у мало-вартісних металів ті якості, що являються характеристичними для золота, сполучати їх в одно, і таким чином витворювати нову форму матерії. Ця нова матерія була-б уже носієм усіх прикмет і якостей золота, цеб-то була-б уже самим тим дорогоцінним золотом.

Історія алхімії, або «чорного мистецтва», чи «чорної магії» тісно зв'язана з давньою вірою людей в можливість перетворення одних металів на другі. Її коріння затрачуються десь у глибинах сивої старовини, звідки до нас дістались лише неясні, більш-менш мітичні перекази про праці «майстрів чорної магії». В кожному разі є відомості, що ще перед Р. Х. китайські вчені займались алхімією, при чому відповідні місцеві джерела та пізніші грецькі й римські автори передають, як достовірний факт, що китайці вміли ніби-то перетворювати цину на срібло, а срібло на золото*).

Першим алхіміком, про якого збереглися відомості в писаннях Тертуліяна з II ст. по Р. Х., є *Гермес Трисметістос*. Мітична особа Гермеса**) є, мабуть, тільки персоніфікацією ідеї вищої

*) Пізніші алхіміки, перетолковуючи по своєму різні вислови й відомості із святого письма, зачисляли до своїх колег з фаху навіть де-кого із персонажів старо- і ново-завітної історії: напр., Мойсея, Іова, євангеліста Івана та ин., бо, мовляв, Мойсей перетворив гірку воду на солодку, а золоте теля обернув у течиво для пиття; про Іова сказав один із його приятелів, що він для землі дасть золото, а для скелі — золоті потоки; євангеліст Іван на Патмосі влаштував копальні і т. д.

**) Від імени Гермеса походять слова «герметика», «герметичний».

сили, власне старо-єгипетського божества Тот. Про це свідчать написи на єгипетському храмі при березі Ніла, де в паралельних трьох текстах написано ім'я цього божества: гієрогліфами — Тот, по-грецьки — Гермес і в латинській мові — Меркурій. В кожному разі цей мітичний єгипетський «magister omnium physicorum» — Гермес всіма алхіміками вважався за їхнього дійсного предтечу і першого справжнього алхіміка. Йому приписували авторство величезної кількості творів, а зокрема його вважали за автора книжки, яка в латинському перекладі носила назву «Tabula smaragdina» і була присвячена виясненню повстання матеріального світу.

В IV ст. по Р. Х. виступає письменник-енциклопедист і алхімік *Зосимос із Панополіса*. Він був ніби-то автором 28 книжок, в яких трактувались різні питання з царини алхімії. Серед його мітичних, часто мало або й зовсім незрозумілих рецептів ясно, однак, говориться про здобування ртуті, а також згадується «тинктура», яка ніби-то перетворює срібло на золото.

В кінці IV ст. і в V ст. по Р. Х. алхімічні студії розвиваються при Александрійській академії в Єгипті, а в VI ст. алхімічні знання і студії поширюються у Візантії. Після того, як в VII ст. араби опанували Єгипет, почався розквіт алхімії завдяки праці великого числа арабських учених. Вслід за тим, як араби опанували в VIII ст. Іспанію, алхімічні знання й студії поширюються на західній частині Європи; із Іспанії заняття алхімією переходить в інші країни: Францію, Італію, Німеччину та ін.

Серед арабських алхіміків особливо уславились *Абу-Гаши́м Бен-Есід Бен-Моазія аль-Оммаві* (VIII ст.) і лікар *Абу-Мусса-Джафар аль-Ссфі* (IX-X ст.), відомий більше під іменем *Гебер*. Хоч французький хемик Бертолле доказав (1893), що Гебер не є автором тих латинських творів, які йому раніше приписувались, але фактом є, що на протязі кількох століть він був найбільшим авторитетом для європейських алхіміків. В слідуючих століттях визначаються арабські алхіміки-лікарі: *Маслама*, *Разес*, *Авіценна*, *Авензоара*, *Абукасес*, *Аверроес* та візантійський вчений *Михаїл Пселлюс*.

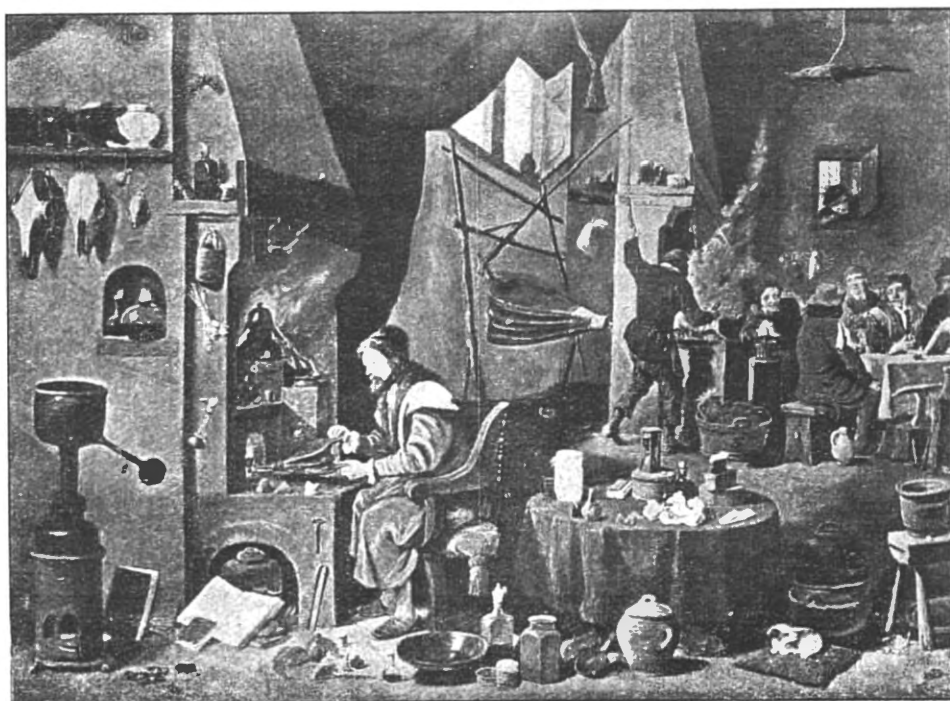
В XIII ст. визначаються: *Альбертус Магнус* — «magnus in magia, major in philosophia, maximus in theologia», *Ростер Бако* — «doctor mirabilis», *Арнальдус Вілліанованус* і *Раймундус Люлліус* — «doctor illuminatissimus».

Ці видатніші та багато інших алхіміків з повною посвятою віддавались студіюванню основних проблем алхімії. Із них **Б а к о**

ається за духового творця експериментальної методи в цього досліджування.

На протязі дальших століть число алхіміків надзвичайно. Серед них визначнішими були: *Ніколаус Флямель*, *Ісаак* *юс*, *Йоган Голляндус*; особливо ж визначився *Базіліус В* (кінець XV ст.), якого вважають за основоположника ії.

Ізбачі проблески алхімістичної думки пробивалися поде на початку XVIII ст., хоч правда, алхімічні експеримас мають всі прикмети явної спекуляції на неосвіченість южнозладців та на їх пристрасть до грошей.



Лабораторія алхіміка XVII століття.

го бачив в якому-небудь музеї модель лабораторії серед алхіміка, тому не треба дуже напружувати свою творчу щоб доволі ясно представити собі образ цього алхіміка денні тих ріжнородних маніпуляцій, які всі скеровані), щоб тим чи иним способом в процесі фізичних експериментічних реакцій викрити тайну існування загадкового «кети», виділити його і стати нарешті щасливим володарем секрета зорення одної менш цінної форми матерії на другу — бі

е урядження лабораторії алхіміка з її опудалами різ , чудернацьким фізико-хімічним приладдям, ще більш

дернацькими загадково-таємничими назвами того приладдя, якимись кабалістичними знаками-символами певних уже встановлених ними взаємочинностей між певними хемічними елементами та їх сполученнями, — все це носило на собі відбиток таємничості якостей самого «камня мудрости», на безрезультатне шукання якого витрачена була нещасливими дослідниками колосальна сума інтелектуальної енергії на протязі довгого періоду історії культурного розвитку Західної Європи.

Без сумаїв серед алхемиків, які зрештою становили якусь окрему касту, замкнену в собі, звязану своїми спеціальними традиціями і таємничістю своєї професії, не мало було таких індивідуів, які просто на просто спекулювали на людській жадобі легким способом стати багатими. Цим особливо відзначались ріжні володарі—князі, графи та ин., — які залюбки утримували в себе алхемиків, давали їм змогу працювати, кохаючи надію на те, що, може, як раз саме цьому алхемикові пощастить знайти добру дорогу до винайдення способу штучно перетворювати сірку й живе срібло на благородне золото. Цей цілком чужий для справжнього наукового дослідження момент меркантилізму використовували в цілях звичайної життєвої спекуляції непевні елементи серед алхемиків.

Але не слід думати, що вся численна корпорація алхемиків заражена була подібним спекулянтським духом. Навпаки, треба сказати, що не мало було серед них людей, котрі приступали до вирішення проблеми перетворення однієї форми матерії на другу, стимульовані до своєї праці ідейно-науковими мотивами та природженим інтересом до розв'язання за допомогою даних науки тих проблем, які висувало перед ними сучасне їм реальне життя: добування золота й діаманту та відмолодження старечого тіла.

До розв'язання цих проблем алхемики йшли експериментальним шляхом, а ті надзвичайно численні спроби, які вони переробили з найріжнороднішими хемічними сполуками, при тодішньому стані фізико-хемічної науки могли дати їм підставу думати, що розв'язання цих дуже важливих в житті людини проблем являється цілком можливим і реально здійснимим.

Коли взяти, напр., блискучий камінь, олов'яний сірчак PbS і нагрівати його до високої температури разом із залізом, то можна добути олово Pb , цеб-то вже иншу річ, котра має вже инші якості й властивості. А знов же добування срібла. В природі срібло зустрічається, як домішка до сірчаку олова (PbS), в виді срібного сірчаку (Ag_2S). При нагріванні цієї мішанини в присутності повітря Pb оксидується й переходить в PbO , розтоплене течиво, що легко відді-

ляється, а срібло не оксидується й виділяється в чистому металічному виді.

Цей процес добування срібла — трайбування — із мішанини олов'яного й срібного сірчаків міг представлятися для алхіміка не чим іншим, як перетворенням малоцінного камня $PbS + Ag_2S$ на вартісне срібло, бо природи внутрішнього хемічного процесу, який відбувається при цій маніпуляції, він ще тоді не уявляв собі.

Навіть у самій ідеї «філософічного камня» чи «камня мудрости» нема стільки химерности й безглуздости, як це може спершу здаватися.

В хемії відоме таке явище: щоб добути кисень, беруть до реторти т. зв. Бертолетову сіль ($KClO_3$) і нагрівають її. Тоді від Бертолетової соли починає відщиплюватись кисень (O); ця сіль розкладається так: $KClO_3 = KCl + O_3$. Однак реакція йде дуже помалу. Вона піде значно інтенсивніше, коли до реторти з Бертолетовою сіллю додати т. зв. браунштайну MnO_2 в кількості $\frac{1}{4}$ ваги $KClO_3$; при тому оказується, що MnO_2 в процесі реакції відіграв спеціальну роль: він лише прискорює хід реакції, а сам ніби-то участи в ній не бере. Такі сполучення, які прискорюють хід хемічних процесів, самі ж під час реакцій або зовсім не змінюються, або змінюються лише тимчасово, зовуться к а т а л і з а т о р а м и. На кінець хемічної реакції оказується, що каталізатор і квантитативно і квалітативно має свій первісний вид, в якому він був на початку реакції.

Тут із Бертолетової соли, яка має свої певні характеристичні для неї властивості, в присутності браунштайну витворюються дві нові форми матерії: KCl і O, які мають вже цілком інші прикмети й якості. Отже MnO_2 відіграв у даному разі роль цілком аналогічну тій, яку мав би відігравати «камінь мудрости» при перетворенні якогось металу на золото.

Подібного роду каталітичні процеси могли бути відомі вже й алхімікам, а ці явища й зроблені спостереження могли бути витолкувані, як докази принципіальної правильности думки про можливість знайти такий камінь, який відіграв би роль каталізатора при добуванні золота.

Однак довгі безплідні шукання алхіміків за камнем мудрости здискредитували зрештою саму ідею можливости з'єднати в одній формі матерії певні якості, носіями яких являються різні окремі її форми, цеб-то фактичне перетворення одних тіл на другі. Довір'я до алхімічної науки було підкопане, а головна її практична ціль — добувати штучним способом золото й діаманти та відмоложувати старече тіло — стала уважатись за химерну ідею, за безнадійну мрію,

може й благородних, але позбавлених наукового знання фантастів.

Та все-таки треба визнати, що алхімістичні ідеї виявили надзвичайну живучість. Прихильники алхімії існують ще й тепер. На прикінці мин. ст. (1896 р.) засновано було навіть «Алхімічне Товариство Франції» (*Société Alchimique de France*) під головуванням *Жоліве - Кастельо*. В своїй книжці голова Товариства так означає ціль його: «Велика традиція Алхімії пережила всі епохи і ніколи не загине. Від трицяти років її пильно береже Алхімічне Товариство Франції, котрого метою є гуртувати всіх серйозних дослідників, що займаються проблемою трансформації, та доктринами філософії герметизму з узглядненням модєрних праць»^{*}). Модєрні алхемики обстоюють принцип єдності матерії та вважають, що не існує простих, нескладних і незмінних елементів, а що всі елементи постійно трансформуються, змінюючи цілком чи почасти свої властивості і перетворюючись одні на другі; вони постійно еволюціонують, бо представляють собою ріжну стєпень згущення одної і тої ж самої атомічної субстанції.

Виходить, отже, що й золото може втворитись із якогось иншого металу. І справді, *Жоліве-Кастельо* запевняє, що йому пощастило перетворити срібло на золото («жовте срібло», або «argentaum») та на мідь. Трансформація срібла на золото відбувається ніби-то в присутності трисірчаного арсену (As_2S_3), який, на його думку, відіграє ролю каталізатора в процесі перетворення срібла на золото. Арсен, як бачимо, виступає і в модєрних алхемиків у традиційній ролі активізатора трансформаційного процесу.

Новітні алхемики називають свою науку «революційною хімією» або «гіперхемією» і різко висловлюються на адресу «офіційних учених» за їхній «обскурантизм» та недооцінення значіння її здобутків давнішньої і сучасної алхімії.

На протязі порівнюючи довгої доби в науці домінували принципи Арістотелевої філософії, під натиском якої ідеї атомістики класичних філософів були призабуті. Вони знов відродились лише в першій половині XVII в., завдяки працям німецького лікаря *Данієля Зенерта* і французького священника *П'єра Гассенді*, які поклали в основу свого світогляду атомістичне вчення Левкіпа й Демокріта і тим утворили до певної міри генетичний зв'язок між атомістикою класичних і нових часів.

Поняття про атоми — «корпускули» — в хемію впровадив уперше сучасник і сторонник Гассенді — *Роберт-Бойль* (1627—1691).

^{*}) F. Jollivet Castelot. La Révolution Chimique et la Transmutation des Métaux. Стр. 175. (1925).

Це був перший хемик, який свої дослідження на полі хемії робив не для якоїсь практичної мети, а спонуканий до того виключно одним благородним стремлінням пізнати закони природи. Атоми він трактував не як носіїв певних якостей, а як м а т е р і я л ь н і складові частини тіл природи.

«Дух чистого дослідництва природи, вільний від пут алхімістичних та іятрохемістичних уявлень, одушевляв цю гідну подиву людину, котрій хемія завдячує тим, що навчилась належно розуміти свої дійсні цілі»*).

З іменем Бойля зв'язане зародження аналітичної хемії. Він перший встановив поняття про хемічну реакцію, а в своїй праці (1661 р.) він виступив з критикою проти аристотелевого й алхімістичного розуміння хемічних елементів, котре в значній мірі засвоїли були також і іятрохемики. Бойль виставив тезу, що за елементи треба вважати ті складові частини різних тіл, котрі далі вже не можна розкласти хемічним способом. Але зрештою сам Бойль прихилився до думки, що те, що хемики мусять уважати за елемент, не є н е з м і н н о ю складовою частиною, і що одно хемічно-просте тіло може перетворюватись на друге. Воду, повітря і землю він уважав за прості тіла. Хоч він і заперечував можливість перетворення води на повітря і навпаки, але припускав, що вода перетворюється на землю. Однак принципіально-правдивою постановкою питання Бойль значно сприяв виясненню різниці між хемічними елементами та хемічними сполученнями.

Годиться тут зазначити, що сучасне вчення про внутрішню будову матеріальних тіл значно відрізняється від атомістичних поглядів стародавніх класичних філософів (Левкіпа, Демокріта, Епікура й Лукреція) та пізніших їх прихильників з XVII в. (Зенерта, Гассенді й Бойля). На думку де-яких учених, взагалі нема підстави для встановлення справжнього генетичного зв'язку між атомістикою в старій її інтерпретації і модерною атомовою теорією, якої додержуються сучасні фізико-хемики і згідно з якою теперішнє поняття про атом річево відрізняється від поняття про атом у класичних філософів. Д. І. Менделєєв у капітальній своїй книжці з цього приводу писав: «Левкіп, Демокріт, а особливо Лукрецій, в класичні старі часи уявляли собі, що матерія складається з атомів, цеб-то неподільних вже далі частин. Геометрична неможливість такого припущення, рівно ж як і висновки, які старовинні філософи робили із основних своїх тверджень, не дозволяли іншим філософам

*) Dr. E. v. Meyer. Geschichte der Chemie. Стр. 90 (1895).

іти за ними, а атомістичне учення, як і маса інших, жило в уяві його прихильників, не будучи в силі справитись з дійсністю. Між сучасним ученням про атоми і вченням згаданих стародавніх філософів, розуміється, є далекий історичний зв'язок, як між ученням Пітагорейців і Коперніка, але в суті речі вони глибоко різні. Для нас тепер атом є неподільний не в геометричному, абстрактному розумінні, а тільки в реальному, фізичному й хемічному»^{*)}. Через те, на думку Менделєєва, атоми в теперішнім розумінні краще було б назвати «індивідами», бо хоч буквально це означає те саме (латинське *individuum* рівнозначне грецькому *ἄτομον*), але сталося так, що історично цим двом поняттям надано різний зміст. Індивід є механічно й геометрично подільний і тільки в певному реальному розумінні він є неподільний, бо поділений він вже перестане бути тим, чим був первісно. Людина чи якась планета або якась тварина є певними індивідами; їх геометрично чи механічно поділити можна, але вони тоді вже не будуть тим, чим були раніше, втратять певну суму своїх прикмет і властивостей, отже перестануть бути первісними індивідами. Так само й хемічні елементи для сучасної науки є неподільні лише в фізико-хемічному розумінні і в цьому розумінні представляють собою фізико-хемічні індивіди, цеб-то їх «неподільність» є неподільністю *sui generis*.

Ця думка дуже яскраво підкреслена в слідуючих формуловках: «Дефініція елементу є дефініцією чисто емпіричною: вона не говорить, що елемент є матерією, яку не можна розкласти, а твердить лише, що він є матерією, якої ще не розкладено»^{**)}. Розкласти ж якийсь елемент — це значить розкласти на складові частини кожний атом його.

«В сучасному природознавстві під атомом ні в яким разі не розуміють того, що називають атомом у філософії, цеб-то найдрібнішу, далі вже неподільну частку матерії. Ми повинні уявити собі, що коли мова йде про атоми елементарних тіл, то поняття а т о м покривається з поняттям і н д и в і д . . . Тепер легко зрозуміти, в якому розумінні треба уважати за неподільний атом елементарного тіла; він неподільний лише як індивід, як щось ціле»^{***)}. Але цим ще не сказано, що атом є чимсь суцільним і що його не можна поділити на складові частини.

Розуміється, що в цих думках криється цілковита правда, бо

^{*)} Д. Менделєєв. Основы химии. Ст. 164 [31]. (1889).

^{**)} K. Fajans. Radioaktivität und die neuste Entwicklung der Lehre von der chemischen Elemente, ст. 9 (1922).

^{***)} А. М. Беркенгейм. Основы теоретической химии. Ст. 18 (1923).

дійсно й безперечно уявлення сучасних учених про атоми хемічних тіл є зовсім інше, ніж було уявлення про них в учених XVII в. чи у стародавніх філософів або може й у напів-легендарного фінікійського філософа Мосха, у котрого ніби-то запозичив своє атомістичне вчення Демокріт.

Але кожна наукова гіпотеза чи теорія, кожний встановлений закон має історію свого розвитку і не з'являється одразу в закінченому виді, без зв'язку з працею попередників; вони з'являються не випадково, а наслідком здобутих перед тим відомостей, певної суми знання та різних наукових чи філософських концепцій. Отже й атомістичні ідеї стародавніх та пізніших філософів і вчених, власне, ідея про подільність матерії, а не одноцілість її, підготувала без сумніву ґрунт для виникнення модерної атомістично-молекулярної теорії, побудованої на основі нових здобутків точних наук в області пізнання внутрішньої будови матерії. І в цьому розумінні треба признати, що, не зважаючи на всю різницю між атомістикою стародавньої формації і новітньою її інтерпретацією, генетичний зв'язок між ними існує.

Та й сам Д. І. Менделєєв, напр., в замітці до історії виникнення ідеї про періодичність системи хемічних елементів пише так:

«Нема ні одного скільки небудь загального закону природи, котрий би утвердився одразу; завжди ще перед тим, як він утвердиться, виникає багато передчуття, а визнання закону наступає не тоді, коли усвідомлюється все його значіння, а лише після потвердження його досвідом, котрий природознавці повинні визнати за найвищу інстанцію всіх своїх міркувань і думок»*).

Вище вже було згадано, що невтомній енергії алхіміків ми завдячуємо те, що до розпорядження пізніших дослідників дісталась велика кількість фактичного матеріалу, призбіраного ними під час шукання за «камнем мудрости». Однак, збіраючи цей фактичний матеріал що-до перетворення різних хемічних сполук, алхіміки у своїх дослідженнях не виходили із якогось точно встановленого наукового закону. В основі всіх їхніх експериментів і досліджень лежала одна лише провідна думка про трансформацію матерії, про зміну її якостей. Всю свою увагу алхіміки присвячували вивченню квалітативної сторони своїх експериментів, цілком занедбуючи досліджування їх з погляду квантитативности. В силу цієї причини й наукова цінність призбіраного алхіміками фактичного дослідного матеріалу не була дуже велика; з методологічного погляду їхній підход до розв'язання проблеми, яка перед ними стояла, був,

*) Мендел'євъ. Основы химии. Стор. 460 [8].

очевидно, хибний, а через це вони не вивчили й не знали добре хемічної природи навіть того золота й діаманту, на добування яких поклали такий величезний запас своєї інтелектуальної енергії.

Дальший поступ хемічної науки неминуче мусів привести до того, що стали досліджувати хемічні процеси також і в їх квантитативній стороні. Вже на початку XVII в. з експериментів *Габера* й *Реза* стало відомо, що коли метал іржавів, то вага його збільшується. *Р. Бойль* показав, що при нагріванні на повітрі цини й олова їх вага також збільшується, бо, як думав Бойль, до металів приєднується «матерія огню». Для пояснення процесів оксидації, рівно ж, як і процесу горіння, на початку XVIII в. висунена була гіпотеза існування особливої огневої субстанції, яка називалась **флогістоном**.

Творцем і оборонцем цієї гіпотези був придворний пруський лікар *Сталь* (1660—1734), а також Бехер. Згідно з цією гіпотезою флогістон — це не вогонь, а особлива матерія, якась огнева субстанція (*materia aut principium ignis non ipse ignis*), яка сполучається з тим елементом, котрий є вже характеристичним для кожного окремого матеріяльного тіла. Чим більше в даному тілі флогістону, тим більше воно здатне до оксидації чи горіння. Процес горіння й оксидації є виділення флогістону з тіла. А що флогістон є надзвичайно легкою, навіть зовсім без ваги, матерією, то, згідно з цією гіпотезою, при горінні й оксидації, щоби при виділенні легшої за повітря матерії — флогістону — тіло мусить ставати тяжчим і навпаки, при сполученні з флогістоном воно стає легшим.

Флогістонна гіпотеза панувала в науці аж до того часу, коли знаменитий французький хемик *Лавуазьє* (1743—1794) своїми класичними в історії хемії дослідками довів повну їх хибність, а також цілковиту безпотрібність припускати існування гіпотетичного флогістону для пояснення хемічних процесів горіння й оксидації.

Російський учений *М. В. Ломоносов*, серед ширших кол інтелігенції відомий більше, як автор різних творів «піїтики», ніж як автор видатних наукових праць, майже за пів-століття перед Лавуазьє висловлював у своїх працях ті самі думки й погляди, які звязуються звичайно з іменем Лавуазьє й придбали йому невмірущу славу основоположника сучасної хемії.

Ломоносов розумів уже значіння квантитативного аналізу і тому, як сам він пише, він зробив «численні спроби, де міра, вага і їх пропорція показані». Учень Ломоносова, *Клементьев*, у своїй дисертації (1754 р.) наводить слова Ломоносова, із яких також видно,

що він надавав велике значіння визначенню «міри й ваги» при хемічних експериментах.

У своїй науковій праці «Размышленіе о причинахъ тепла и холода» Ломоносов скритикував думку Бойля про те, що при нагріванні металів до них приєднується «матерія огню», і тому, мовляв, вага їх збільшується. Пізніше (1756 р.), коли Ломоносову вдалося видобути кошти на будівництво лабораторії і її збудувати, він зробив спроби з нагріванням металу в залютованій рурці і експериментальним шляхом довів, що вага рурки з металом і повітрям у ній перед нагріванням і після нагрівання однакова. На підставі цих даних Ломоносов приходив до такого висновку: «оними опытами нашлось, что славного Роберта Биція (цеб-то Бойля) мнѣніе ложно»; сам же він цілком правдиво зрозумів суть процесів окисації та горіння і пояснював їх, як реакцію сполучення тіла з «тяжкими частинами повітря».

З другого боку, ці ж самі спроби лягли в основу тих міркувань, які Ломоносов висловив (1760 р.) у промові на акті Академії Наук на тему «О твердости и жидкости тѣлъ». Там він говорить: «всѣ перемѣны, въ натурѣ случающіяся, такого суть состоянія, что сколько чего у одного тѣла отнимается, столько присовокупится къ другому. Такъ ежели гдѣ убудеть нѣсколько матеріи, то умножится въ другомъ мѣстѣ».

В цих словах зформулований вже ясно «закон збереження матерії».

В різних місцях праць Ломоносова розкидані думки, які справді показують, що він випередив своїх сучасників на яких 100 або й більше років. В різних ділянках науки він виступив з такими, як на той час, сміливими думками, котрі затвердились в науці значно пізніше.

Обставини й умови, в яких довелося працювати Ломоносову, не дали йому змоги розгорнути на всю широчінь усіх його величезних і для науки надзвичайно цінних здатностей, але й при цих несприятливих умовах Ломоносов у своїх наукових працях і висновках пішов так далеко наперед, що йому по справедливості належить місце серед першорядних представників фізико-хемічної науки*).

Ведучи систематичне дослідження різних своїх експериментів, *Лавуазьє* послідовно йшов до пізнання суті всіх хеміч-

*) Про життя й діяльність його див. книжку академіка В. Стеклова: Ломоносов (вид. Гржебина, 1922), а також: Ломоносовскій сборникъ. Вид. Петербурзької Академії Наук, 1911 р.

них реакцій шляхом примінення методи квантитативного аналізу. Маючи завжди при дослідах вагу, він постійно перевіряв свої експерименти зважуванням і завдяки цій методі прийшов до таких вислідів, які стали епохальними в історії розвитку хемічної науки, а її творцеві здобули заслужене ім'я фундатора сучасної хемії.

Лавуазьє з повною очевидністю й науковою бездоганністю доказав, що горіння й оксидація є не що інше, як сполучення даної матерії з киснем, чим власне й пояснюється збільшення ваги того тіла, яке згорає або оксидується. При тому він сконстатував, що вага повітря, з якого відбирається кисень, зменшується рівно на стільки, на скільки збільшується вага тіла, котре згоріло. Жадного



Ант. Лор. Лавуазьє (1743—1794)

флогістону тут непотрібно, і безпідставній гіпотезі про його існування не повинно бути місця в науці.

Лавуазьє, користуючись своєю методою, досліджує далі склад повітря, води, перевіряє різні експерименти алхемиків і т. д. На основі своїх досліджень він приходить до висновку, що коли в якійсь реакції беруть участь тіла А, В і С, а в наслідок цієї реакції получаются інші знов тіла Х, У, Z цеб-то $A + B + C = X + Y + Z$, то сума ваги А, В, і С рівна сумі ваги Х, У і Z. Кількість матерії під час реакції не прибуває й не зменшується. Отже він установив у науці

принцип, що матерія не твориться й не нищиться, цеб-то, що матерія вічна.

Далі Лавуазьє, слідом за Р. Бойлем, рішуче боронив погляд, що всі матеріяльні тіла поділяються на дві категорії, із котрих одну категорію складають ті тіла, які хемічно можна розкласти на складові частини, а другу — тіла, що їх далі вже не можна розкласти ніякими хемічними способами; цеб-то він установив, що **хемічно-прості й хемічно-складні** тіла, при чому всі хемічно-складні тіла є сполученнями в тій чи іншій комбінації хемічно-простих тіл, котрі хемічно не розкладаються. Таким чином Лавуазьє дав нову, основану на експериментальних даних класифікацію тіл за їх хемічним складом. Щоб уникнути небажаної неясности, мусимо завважити, що хемічно-прості тіла, входячи в склад хемічно-складних, не зостаються в своєму первісному виді, в якому вони існують, як **окремі** хемічно-прості тіла. Напр., в склад кухонної соли NaCl входить натрій Na і хлор Cl , але в самій тій солі Na міститься не як метал, а Cl не в виді газу. Вони утворюють хемічно-складні тіла, своєю матерією входячи в їх склад, як **«радикали»**, за термінологією Лавуазьє, або згідно з теперішньою термінологією, як **хемічні елементи**.

Закріпивши в науці поняття хемічного елементу, як такої матерії, що не піддається дальшому розкладові жадними хемічними способами, Лавуазьє тим самим поставив уже й межі можливості перетворення одних матеріяльних тіл на другі. Із двох чи більшого числа хемічно-простих тіл може витворитись одно чи більше число хемічно-складних тіл, але тільки таких, які можуть витворитись із хемічних елементів тих простих чи складних тіл, що брали участь у реакції: 1) $A+B=AB$; 2) $A+BC=AB+C$, або $AC+B$, або ABC ; 3) $AB+CD=AC+BD$ або $AD+BC$, або $ABC+D$ або $ABD+C$, або $ACD+B$, або $BCD+A$, або $ABCD$.

Значить, теоретично з двох хемічних елементів може утворитись лише одно хемічно-складне тіло; із одного хемічного елементу й одного хемічно-складного тіла, що складається з двох елементів, можуть утворитись уже три комбінації; із двох дво-елементових хемічно-складних тіл можна теоретично одержати навіть 7 комбінацій, але жадним способом не може витворитись якесь таке нове тіло, в склад котрого входив би хемічний елемент, якого не було в складі ні одного з тих хемічно-складних чи хемічно-простих тіл, що вступали між собою в хемічну реакцію. З другого боку, один хемічний елемент не може перетворитись на другий.

Цими двома, встановленими Лавуазьє принципами, виведеними

на основі даних, добутих шляхом експериментально-наукового аналізу, означені були вже цілком певні межі для можливості перетворювань різних матеріяльних тіл, а тим самим на довгий час нанесено було рішучий і знищуючий удар усім мріям алхіміків про добування золота і діаманту, бо золото та чистий вугіль (діамант) самі є елементами і добути їх можна тільки з тих тіл, в складі яких вони були вже раніше, як хемічні елементи; перетворити ж на золото чи діамант якийсь інший хемічний елемент — це з наукового погляду, на думку Лавуазьє, було річчю абсурдною, а тому й практично безнадійною.

Сам Лавуазьє впав жертвою терору Великої Французької Революції 8 травня 1794 р., але його праці й духовний його геній на довгі роки означили шлях розвитку хемічної науки. Під знаком його генія йшов також і дальший розвиток атомістичного вчення, до ознайомлення з котрим ми тепер і перейдемо з повною і ясною свідомістю, що до цього пункту в історії розвитку природознавства прийшла наукова думка завдяки генію того, кому в Парижі цілком заслужено поставлено пам'ятник з коротким, але глибокого змісту написом: «Antoine Laurent Lavoisier—fondateur de la chimie moderne».

II.

Звичайним домашнім експериментом, розпускаючи, кухонну сіль або цукор у воді, ми легко можемо переконатись, що в певній кількості води може розпуститись різна кількість соли чи цукру, аж поки нерозчинена сіль чи цукор не почне осідати на дні посудини.

Так само й два, чи більше число металів можна стопити разом; напр., мідь і цина дають бронзу, а ртуть (живе срібло) з натрієм або іншим металом дає амальгаму.

Для певних практичних чи технічних потреб иноді стоплюється кілька металів у певній між собою пропорції (напр., т. зв. стоп Вуда складається з 1 частини кадмія, 1 частини цини, 2 частин олова і 4 частин бісмута), але взагалі кілька металів можна стопити разом в якій угодно пропорції.

Таким чином, у р о з ч и н а х і с т о п а х строго встановлених відносин між кількістю матерії тих тіл, з якими оперується, нема, і брати їх можна, в певних межах, в довільній кількісній пропорції.

Цілком природно, що мусіло повстати питання про те, чи спостерігається подібне явище також і в тих випадках, коли два чи біль-

ше число хемічних елементів сполучаються між собою, а з них витворюється хемічно-складне тіло; цеб-то, коли напр., з елемента натрія Na і другого елемента Cl витворюється кухонна сіль NaCl, або з трьох елементів: кальція Ca, вугля C і кисня O, витворюється мармор чи крейда CaCO_3 , — то чи входять в склад кухонної соли елементи Na і Cl, а в склад мармору й крейди елементи Ca, C і O в якихось сталих між собою пропорціях, чи їх кількість, подібно до розчинів і стопів, є непостійна і кількісні пропорції між ними можуть бути в різних випадках різні.

Вияснення цього питання було предметом спору на початку XIX в. між двома видатними французькими хеміками *Прустом* (*Proust*) і *Бертоле* (*Berthollet*), із котрого переможцем вийшов перший. Пруст (1799) довів, що кількості хемічних елементів, які входять в склад певного хемічного-складного тіла, знаходяться між собою в тих самих і цілком точних пропорціях, незалежно від того, яким би способом дане складне тіло не повстало. Таким чином був установлений закон постійних пропорцій.

Пояснимо цей закон прикладом. Відомо, що водень (H) вступає в реакцію і дає сполучення з чотирьма так званими галогенами: флюор (F), хлор (Cl) бром (Br) і йод (J). При утворенні сполучень HF, HCl, HBr і HJ процентіві відношення між вагою водня і вагами чотирьох інших елементів постійно будуть такі:

H — 5,00 %	H — 2,75 %	H — 1,24 %	H — 0,78 % *)
F — 95,00 %	Cl — 97,25 %	Br — 98,76 %	J — 99,22 %
100 %	100 %	100 %	100 %

Ці самі відношення ми можемо означити инакше, зробивши обчислення, скільки прийдеться частин F, Cl, Br і J на одну частину H. Тоді картина ця представиться так:

H — 1	H — 1	H — 1	H — 1 *)
F — 19	Cl — 35,46	Br — 79,92	J — 126,92
HF — 20	HCl — 36,46	HBr — 80,92	HJ — 127,92

Таким чином виходить, що з одною частиною H сполучається: 19 част. F, 35,46 част. Cl, 79,92 част. Br і 126,92 част. J. Ці кількісні відносини складових частин не змінюються і будуть все однаковими, яким би способом і звідки б ми не одержали сполучення HF, HCl, HBr і HJ.

Через те, що 19 част. F, 35,46 част. Cl, 79,92 част. Br і 126,92

*) Тут вичислено з точністю до 0,01, але це треба було б зробити з більшою точністю, щоб усі дальші обчислення сходились уповні.

част. J сполучаються з 1 частиною H , а деякі з них в цих самих пропорціях також і між собою або з певним числом вагових частин іншого елемента, яке хемічно є рівновартне 1 част. H , то вони носять назву *еквівалентів*.

Еквівалентами будуть, окрім зазначених вагових кількостей названих елементів, також напр., ще й такі вагові кількості: 23 част. натрія (Na), 63,57 част. міді (Cu), 107,88 част. срібла (Ag), 12,16 част. магнія (Mg), 3 част. вугля (C), 4,67 част. азота (N), 8 част. кисня (O) і т. д.

Отже, коли напр. 35,46 вагових одиниць Cl сполучається з 23 ваговими одиницями Na , то така сама кількість Cl сполучається і з 107,88 ваговими одиницями Ag та 12,16 вагов. одиницями Mg ; або коли 8 вагов. одиниць O сполучаються з 63,57 вагов. одиницями Cu , то стільки-ж O потрібно й для сполучення з 107,88 ваг. одиницями Ag та 12,16 ваг. одиницями Mg і т. д.

Ці самі пропорції заховуються і в тому разі, коли в якійсь хемічній реакції один елемент заступає другий.

Однак де-які елементи, вступаючи між собою в реакцію, дають не одно, а кілька хемічних сполучень. Так при сполученні 1 ваг. одиниці водня (H) і 8 ваг. одиниць кисня (O) витворюється вода, але водень з киснем дають ще й друге сполучення — перекис водня, де вже на 1 ваг. один. водня (H) приходить не 8, а 16 ваг. один. кисня (O), цеб-то 8×2 .

Азот з киснем дає аж п'ять різних сполучень, при чому на кожні 8 ваг. одиниць кисня (O) приходить в кожному з цих п'яти сполучень відповідно: а) 14,01, б) 7,00, в) 3,5, г) 1,75 і ґ) 0,87 ваг. одиниць азота (N); або інакше й наочніше це можна представити, коли за постійну величину взяти кількість азоту (N):

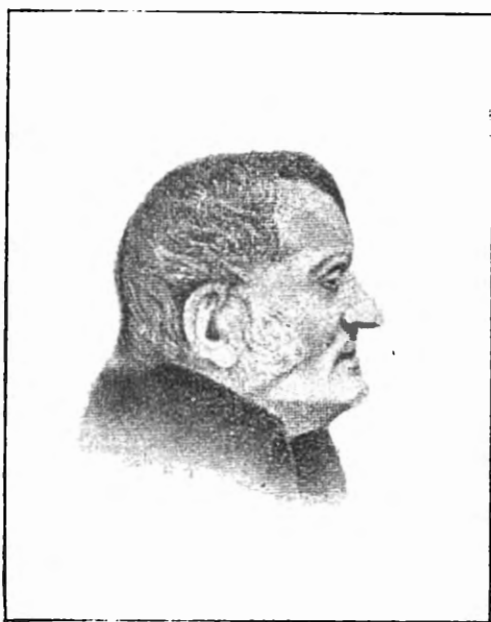
азот (N)	кисень (O)
а) 14,01 ваг. один.	8 ваг. один. (8×1)
б) 14,01 „ „	16 „ „ (8×2)
в) 14,01 „ „	24 „ „ (8×3)
г) 14,01 „ „	32 „ „ (8×4)
ґ) 14,01 „ „	40 „ „ (8×5)

Інших сполучень азота з киснем нема. Отже наведена табличка дозволяє нам констатувати, що 1) посередніх між цими п'ятьма типами сполучень азот і кисень не дають, 2) при постійній кількості азота збільшення кисня в сполученнях вищого типу йде не повільно, а з явно закономірною переривністю, ніби рівномірно перескакує, 3) кількість кисня, яка приходить на ту саму кількість азота, в цих п'яти типах сполучень збільшується в пропорції: 1:2:3:4:5.

Те саме і в сполученнях H і O та в багатьох інших.

Це власне й є *закон многократних відношень*, якій загально можна формулювати так: коли два елементи А і В, сполучаючись між собою, дають кілька різних хемічних сполучень, то вагові маси елемента В, які припадають в різних сполученнях на ту саму вагову масу елемента А, стоять між собою в простих раціональних відношеннях.

Закон цей установив (1802 р.) манчестерський професор *Дж. Дальтон*, при досліджуванні сполучень вугля (С) з воднем (Н). Він сконстатував, що в двох сполученнях цих елементів, а саме в метані (CH_4) й етилені (C_2H_4), на ту саму кількість вугля приходить різна кількість водня, а то в етилені (C_2H_4) два рази менша, так що кількості водня відносяться, як 2:1.



Дж. Дальтон (1766—1844)

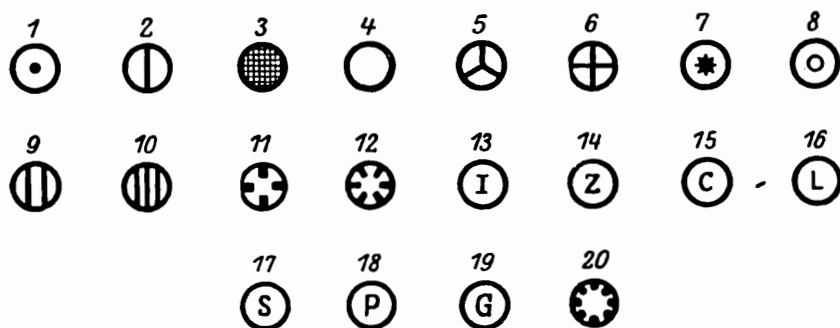
Хоч тодішній аналіз не був такий точний, як тепер, але все-ж таки цю закономірність у сполученнях двох елементів (Н і С) Дальтону вдалося сконстатувати, а *Берцеліус* своїми роботами остаточно утвердив її в науці.

Найточніші пізніші аналізи цілковито підтвердили правдивість згаданого закону многократних відношень. Напр. пропорція хлору у відношенні до срібла в двох хемічних сполученнях AgCl і AgClO_3 цілком однакова; відхилення не виходили за межі точности хемічного аналізу, а точність ця в роботах *Стаса* дійшла до того, що вона перевищувала 0,0000001 змірюваної величини. «Отже очевидно,

що в повній точності цього закону сумніватись не можна»^{*)}.

Це не є, таким чином, якась абстракція, а непереложний закон природи, подібний до констатованого Прустом закону про постійність пропорцій в хемічно-складних тілах, або до встановленого Лавуазьє природного також закону про поділ тіл з хемічного погляду на хемічно-прості й хемічно-складні. До встановлення його прийшов Дальтон не на основі яких-небудь апріорних міркувань і припущень, що допомогли б зрозуміти чи висвітлити певну суму й послідовність чи взаємну залежність ряду фактів; навпаки, з аналітич-

Дальтонова таблиця хемічних символів.



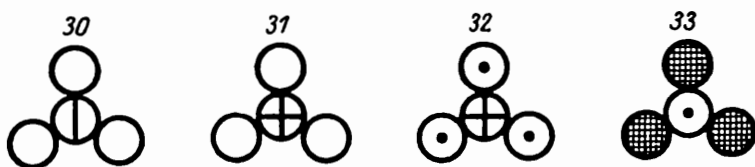
Подвійні



Потрійні



Четверні



А т о м и: 1 — водень, 2 — азот, 3 — вуголь, 4 — кисень, 5 — фосфор, 6 — сірка, 7 — магній, 8 — кальцій, 9 — натрій, 10 — калій, 11 — стронцій, 12 — барій, 13 — залізо, 14 — цинк, 15 — мідь, 16 — олово, 17 — срібло, 18 — платина, 19 — золото, 20 — ртуть.

Х е м і ч н і с п о л у ч е н н я: 21 — вода, 22 — амоніак, 23, 26, 27 і 30 — сполучення кисня з азотом, 24, 29 і 33 — сполучення водня з вуглем, 25 — окис угля, 26 — двоокис угля, 31 — сірчаний ангидрид, 32 — сірководень. ного дослідження фактів він констатував цей об'єктивний, існуючий в природі закон, на основі якого відбуваються сполучення між собою двох чи більшого числа хемічних елементів.

^{*)} Jean Perrin. Les Atomes (нім. пер.: Die Atome). Ст. 9 (1914).

Але на встановленні цього закону не заспокоївся розум дослідника, бо само собою мусіло виникнути в нього питання про те, чим же можна було б пояснити цей закон, які властиві матерії прикмети могли б спричинитись до виявлення тої закономірности, що була сконстатована у відношеннях вагової кількості різних елементів при їх сполученнях та витворенні із тих елементів різних хемічних тіл, різних типів сполучень по принципу простих раціональних відношень.

Для пояснення цього той самий Дальтон висунув (1808 р.) свою *атомістичну гіпотезу*, котра, як сказав Берцеліус, є «одним із найбільших кроків, які зробила хемія по шляху до свого удосконалення»^{*}).

По гіпотезі Дальтона хемічно-прості тіла складаються із найдрібніших часточок, які мають всі хемічні властивості даного тіла. Цю найменшу часточку далі вже поділити не можна. Це вже є *атом*, цеб-то остання межа можливого поділу — найдрібніша складова часточка хемічно-простого тіла. Різних сортів атомів є стільки, скільки існує на світі різних елементів.

Окремі атоми різних елементів при хемічних реакціях сполучаються між собою та утворюють частки хемічно-складних тіл, які Дальтон називав «подвійні атоми», «потрійні атоми» і т. д., а які тепер в хемії називаються *молекулами*. Атоми того самого елементу можуть також з'єднуватись між собою; тоді вони утворюють молекули хемічно-простих тіл. Найпростіший випадок буде такий, що один атом елементу А сполучається з одним атомом елементу В; тоді получится тіло складу $A+B$. Але ці два елементи можуть дати й інше тіло, де вже один атом елементу А сполучається з двома атомами елементу В, цеб-то $A+2B$, або навпаки, два атоми елементу А сполучаються з одним атомом елементу В, цеб-то $2A+B$. Можуть, звичайно, бути й інші комбінації: $A+3B$, $A+4B$, $A+5B...$, чи $3A+B$, $4A+B$, $5A+B...$, чи $2A+3B$, $3A+2B$ і т. д.

Тоді стане цілком зрозумілим і закон постійних пропорцій. Справді, коли напр., кожна молекула сіЛЬНОЇ кислоти (HCl) складається із одного атома водня (H) і одного атома хлору (Cl), а кожна молекула кухонної соли ($NaCl$) складається із одного атома натрія (Na) і одного атома хлору (Cl), то ясно, що скільки б ми не брали в одному випадкові сіЛЬНОЇ кислоти, а в другому випадкові кухонної соли, в кожній даній кількості відповідного тіла пропорції складових його частин повинні бути ті самі, що й у кожній окремій молекулі того тіла; цеб-то, коли вага одної молекули сіЛЬНОЇ кислоти (HCl),

^{*}) Цитовано за V. v. Richter-ом. — Lehrbuch der anorganischen Chemie. Ст. 77 (1895).

якою б малою вона не була сама, складається на 2,75% із ваги одного атома водня і на 97,25% із ваги одного атома хлору, то і в 1 гр. чи в 1 кгр. сіЛЬНОЇ кислоти так само повинно бути 2,75% водня і 97,25% хлору. Те саме міркування треба прикласти й до кухонної соли лише з тою ріжницею, що як у молекулі NaCl , так і в довільній кількості цієї соли процентіві відношення між вагою Na і вагою Cl будуть інші, а то власне: 39,36% Na і 60,64% Cl .

Закон постійних пропорцій надзвичайно легко й просто пояснюється атомістичною гіпотезою Дальтона, але так само легко й просто пояснює ця гіпотеза й закон кратних відношень.

Візьмім, напр., ртуть (Hg); вона дає з хлором два сполучення: каломель (HgCl) і сублімат (HgCl_2). Як що припустити, що із двох цих сполучень у першому сполученні один атом ртуті з'єднується з одним атомом хлору, то в другому сполученні, можна думати, один атом ртуті з'єднується вже не з одним, а з двома атомами хлору. І дійсно, аналіз показує, що в субліматі на 1 ваг. одиницю Hg приходить рівно в два рази більше Cl , ніж у каломелі. А коли, згідно з гіпотезою Дальтона, атом являється найменшою часточкою елемента, яка вже далі не ділиться жадними хемічними засобами, то цілком очевидно, що один атом одного якогось елемента може з'єднатись тільки з одним, двома чи більшим числом атомів другого елемента, а не з $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$ чи іншою якоюсь частиною атома; можуть взагалі з'єднуватись n атомів одного елемента з m атомів другого, при чому n і m будуть цілими, а не дробовими числами. Із цього ясно, що коли два елементи A і B дають сполучення кількох типів (як це ми вже бачили в сполученнях азоту з киснем), то з погляду атомістичної гіпотези ці типи сполучень утворюються через те, що певне *ціле* число атомів елемента A з'єднується з певним теж *цілим* числом елемента B , і разом вони складають одну молекулу відповідного типу сполучень A і B . З цього виходить, що якихсь посередніх типів сполучень A і B бути не може, бо в такому разі прийшлося би припустити, що n атомів елемента A з'єднуються не з цілим числом m атомів B , а з якимсь дробовим його числом. Однак атомістична гіпотеза дроблення атома в хемічному розумінні не допускає. Тому зрозуміло, через що в разі існування кількох сполучень елементів A і B при постійній кількості елемента A збільшення кількості елемента B у вищих типах повинно йти з певною закономірною переривністю, ніби скоками, а не шляхом такого повільного збільшення, при котрому майже стирались би границі між двома сусідніми типами сполучень елементів A і B .

Із наведених міркувань ми можемо зробити такий висновок:

коли кожна молекула сіЛЬНОЇ кислоти складається із одного атома водня й одного атома хлору, то, знаючи процентіві відношення між вагою водня й хлора (2,75:97,25), легко можна вичислити *релятивну вагу атома* хлору, приймаючи за одиницю міри вагу одного атома водня.

На підставі тих самих міркувань вичисляємо також релятивну атомову вагу інших елементів, напр., F, Br, J та ин. На основі обчислень, наведених вище, приходимо до висновку, що релятивна атомова вага цих елементів відносно водня така: F—19, Cl — 35, 46, Br — 79, 92 і J — 126,92.

При умові, що ми беремо за одиницю міри атомової ваги вагу одного атома водня, релятивна вага кисня буде рівною 15,88.

Само собою розуміється, що для вичислення релятивної атомової ваги елементів можна було б прийняти за одиницю міри вагу атома якого-будь елементу; через те, що водень найлегший із усіх елементів, то за одиницю міри взяли попереду іменно його атомову вагу. Однак, пізніше показалося, що буде зручніше для різних обчислень, коли атомову вагу кисня числити не 15,88, а рівно 16. Тоді атомова вага водня буде не 1, а 1,0076. Тепер всі визначення атомової ваги усіх хемічних елементів ведеться згідно з цими обчисленнями.

Вичисляючи атомову вагу F, Cl, Br і J, ми виходили із того становища, що хемічні сполучення HF, HCl, HBr, і HJ утворюються так, що кожна їх молекула складається із одного атома водня (H) і одного атома відповідного другого елемента (F, Cl, Br і J). Це припущення являється цілком природним і найбільш простим в тому разі, коли нам відомо, що якісь два елементи дають сполучення лише одного типу, як це є фактом при сполученні водня (H) з галогенами (F, Cl, Br і J), або галогенів з металами: натрієм, калієм чи сріблом (NaCl, KCl, AgCl).

Але справа стоїть складніше, коли два якихсь елементи дають не лише одно, а два або й більше сполучень. Візьмім для прикладу сполучення водня з киснем; як ми вже знаємо, водень з киснем дають воду й перекис водня, при чому в другому з цих двох сполучень кількість кисня, що припадає на одиницю ваги водня, є подвійною що-до кількості кисня, яка припадає на одиницю ваги водня у першому з цих двох сполучень, цеб-то воді.

Повстає питання, в якій комбінації з'єднуються з собою атоми водня й кисня при утворенні молекули води та перекису водня. Тут можна припустити, напр., що молекула води складається з одного атома водня й одного атома кисня, цеб-то формула її була б у такому разі HO; тоді молекула перекису водня складалась би, очевидно,

із одного атома водня і двох атомів кисня, цеб-то формула перекису водня була б тоді HO_2^*).

Але можна припустити й навпаки, ц. т. ,що молекула води складається з двох атомів водня та одного атома кисня за формулою H_2O ; в такому разі молекула перекису водня складалась би із одного атома водня й одного атома кисня по формулі HO , або із двох атомів водня й двох атомів кисня по формулі H_2O_2 .

В хемії відомо багато прикладів, коли два яких-небудь елементи дають не одно, а більше число різних сполучень. Отже в цих випадках треба на основі якихось певних даних встановити правдивий молекулярний склад відповідного хемічно-складного тіла, бо від того, який склад молекули буде прийнятий, залежить визначення атомової ваги де-яких елементів. Напр., коли-б ми прийняли формулу молекулярного складу води HO , то повинні були б признати, що атомова вага кисня рівна 8; навпаки, прийнявши формулу H_2O , мусимо атомову вагу кисню признати рівною 16, бо відомо, що вода складається із 1 вагової одиниці водня (H) і 8 ваг. одиниць кисня (O).

В суті речі числа, що означають атомову вагу хемічних елементів, не показують ані кількості матерії, ані абсолютної ваги її; вони є цілком абстрактними числами. Через це було б правильніше, на думку де-яких учених, назвати ці числа *атомовими коефіцієнтами*; однак за -для короткості звичайно їх називають атомовими вагами, пам'ятаючи, що дійсний зміст цього поняття є такий: числа, які означають атомову вагу елементів, є пропорційні числа, котрі знаходяться між собою в таких самих відношеннях, як і вага окремих атомів відповідних елементів.

Визначити релятивну вагу атомів можна, коли відомо, скільки атомів різних елементів складають одну молекулу даного тіла.

Це видно із слідуючих обчислень: припустім, що в склад одної молекули води входять p атомів водня і q атомів кисня, і що кожний атом водня важить h , а кожний атом кисня важить o . В такому разі вага всього водня в одній молекулі води буде ph , а вага всього кисня — qo . Знаючи із попереднього, що відношення ваги одного елемента до ваги другого елемента буде однакове, як в одній молекулі, так і в довільній кількості даного тіла, ми можемо для води вивести таке рівняння: $8ph = qo$; звідки $\frac{o}{h} = \frac{8}{q}p$. Отже, знаючи значіння p і q , цеб-то число атомів водня й кисня в одній молекулі води, ми знатимемо також і значіння лівої половини рівняння.

*) Так в дійсності й було в середині минулого століття, коли одні хеміки уважали атомову вагу кисня — 8, а другі — 16.

Так само ми можемо знайти відношення ваги молекули води до ваги атомів, які складають її. Означивши вагу молекули води m , виводимо такі рівняння: $ph = \frac{m}{9}$ і $qo = \frac{8m}{9}$, звідки $\frac{m}{h} = 9p$ і $\frac{m}{o} = \frac{9}{8}q$.

Далі, коли ми знаєм склад якогось іншого тіла, куди входить водень, напр., метану (CH_4), який складається по вазі із трьох частин вугля й одної частини водня, то шляхом такого самого ходу логічних міркувань ми знайдемо відношення ваги атома вугля до ваги атома водня $\frac{c}{h}$ (c —вага атома вугля), а також визначимо значіння відношень $\frac{m_1}{c}$ і $\frac{m_1}{h}$ (m_1 означає вагу молекули метану). Для метану ці відношення визначаються в формулах: $\frac{c}{h} = \frac{3p_1}{q_1}$, $\frac{m_1}{c} = \frac{4}{3} q_1$ і $\frac{m_1}{h} = 4p_1$ (де p_1 є число атомів водня, а q_1 число атомів вугля в одній молекулі метану).

Знаючи, що $\frac{m}{h} = 9p$, а $\frac{m_1}{h} = 4p_1$, виводим $\frac{m}{m_1} = \frac{9p}{4p_1}$; цеб-то, знаючи числа атомів водня в молекулі води (p) і в молекулі метану (p_1), ми будемо знати також, в якому між собою відношенні знаходиться вага молекули води (m) до ваги молекули метану (m_1).

Таким чином, знаючи атомовий склад молекули певного числа хемічно-складних тіл, можна вирахувати релятивні ваги різних атомів і молекул.

Однак сам лише ваговий аналіз певного хемічно-складного тіла не дає відповіді на питання, скільки атомів того чи іншого елементу входить у склад молекули тіла. Візьмім такий приклад. Тіло складається із трьох елементів; шляхом хемічного аналізу можна встановити, в якій пропорції ці елементи входять в його склад. Припустім, що релятивна вага атомів цих трьох елементів буде: A , B і C . Згідно з атомістичною гіпотезою Дальтона кожна молекула тіла складається із цілих чисел атомів цих елементів; ці числа означимо відповідно p , q і r . Тоді формула молекули складного тіла буде така: $A_p B_q C_r$, котра й буде виразом пропорційности складу тіла, яку ми встановили аналізом.

Але не виключено, що релятивна вага атомів цих трьох елементів є інша: напр. A , B і C^1 , при чому $C^1 = \frac{3}{4} C$. Тоді вже формулі атомового складу молекули даного тіла доведеться дати такий вигляд: $A_{3p} B_{3q} C^1_{4r}$. Як у першій формулі p , q і r , так і в другій формулі $3p$, $3q$ і $4r$ являються цілими, а не дробовими числами, а через

те й друга формула не протиричить гіпотезі Дальтона і так само може служити виразом встановленої аналізом пропорційности складових частин даного тіла.

Припустім далі, що одиницею міри є вага атома A . Для виразу релятивної ваги атомів цих трьох елементів ми можемо скласти два ряди пропорційних чисел: 1) $A:B:C$, і 2) $A:B:C^1$.

Аналіз не дає вказівок для вирішення того, котре ж власне відношення ваги атому третього елементу до ваги атому першого елементу є правдиве: чи $C:A$ чи $C^1:A$, а це значить, що із результатів аналізу не можна зробити висновку про те, скільки атомів кожного елементу входить у склад даної молекули.

Можна скласти величезну кількість рядів пропорційних чисел, в залежності від того, яке значіння будемо надавати B чи C (Напр. $B^1 = \frac{2}{3}B$, $B^1 = \frac{3}{5}B$ і т. д. або $C^1 = \frac{1}{2}C$, $C^1 = \frac{4}{5}C$ і т. д.). Отже і число формул молекули даного сполучення може бути також колосально велике; всі вони будуть виявляти пропорцію складу сполучення і відповідати закону переривности (ціле число атомів); але котру формулу треба вважати за правдиву, на це рішачючих вказівок хемічний аналіз не дає.

В дійсності однак із теоретично можливої величезної кількості пропорційних рядів (значить і молекулярних формул) приходить ся вибирати між дуже невеликим числом рядів через те, що решта мусить сама собою відпасти. Підставою для відкинення де-яких теоретично можливих рядів служать певні відкриті в фізико-хемічній науці закони і встановлені в ній правила.

З де-якими із цих законів нам доведеться познайомитись де-що пізніше в звязку з виясненням дальшого розвитку наукових поглядів в царині учення про атоми, а тепер спинимось лише на двох важливих правилах, які введені були в фізико-хемічну науку скоро після того, як Дальтон виставив свою атомістичну гіпотезу.

Відповідними фізичними експериментами й дослідженнями вже давніше було встановлено, що кожне тіло має властиве йому *питоме тепло*. Це значить, що для того, щоб нагріти якесь тіло від 0° до певної температури, треба затратити для цього якесь певне число калорій*); це число калорій буде инше, коли ми нагріватимемо друге тіло, однакової з першим ваги, і також від 0° до тої самої температури. Кількість тепла, потрібного для підвищення температури одиниці маси (1 грам) тіла на 1°Ц і буде питомим теплом тіла.

*) Калорія — одиниця міри тепла. Велика калорія — кількість тепла, потрібного для того, щоб нагріти 1 кгр. води на 1°Ц .; мала калорія — кількість тепла, потрібного для того, щоб нагріти 1 грам на 1°Ц .

Французькі вчені *Дюлонг* (Dulong) і *Пті* (Petit), досліджуючи питоме тепло різних твердих хемічно-простих тіл, зауважили (1819 р.), що в міру збільшення атомової ваги тіла, його питоме тепло зменшувалось. Цілий ряд хемічних елементів при цьому дослідженні виказав велику закономірність, яку згадані вчені й формулювали так: питоме тепло хемічно-простого тіла зворотно пропорційне до його атомової ваги; інакше це можна сформулювати ще й так: здобуток із чисел, що означають атомову вагу (A) і питоме тепло (Q) є величина постійна (K)

$$A \times Q = K.$$

Досліди показали, що пересічне значіння для величини K є 6,4. Це означає, що для того, щоб підвищити температуру 1 грам-атома будь якого елементу (в твердому стані) на 1°C треба додати однакову

ТАБЛИЦЯ І.

Елементи	Атомов вага A	Питоме тепло Q	Добуток $A \times Q$	Елементи	Атомов вага A	Питоме тепло Q	Добуток $A \times Q$
Водень H	1,008	6,20	6,2	Бром (твер.) Br	79,92	0,084	6,7
Літій Li	7,00	0,941	6,6	Циркон Zr	90,6	0,066	6,0
Берилій Be	9,1	0,408*)	3,7*)	Молибден .. Mo	96,0	0,072	6,9
Бор (аморф.) .. B	11,0	0,254**)	2,8**)	Рутеній Ru	101,7	0,061	6,3
Графіт, вугіль } C	12,00 {	0,174†)	2,1†)	Родій Rh	102,9	0,058	6,0
Діамант } C	12,00 {	0,143	1,7	Паладій Pd	106,7	0,059	6,3
Азот (ст. теч.) N	14,01	0,43	6,0	Срібло Ag	107,88	0,057	6,1
Натрій Na	23,0	0,293	6,7	Кадмій Cd	112,40	0,054	6,0
Магній Mg	24,32	0,250	6,1	Індій In	114,8	0,057	6,5
Алюміній .. Al	27,1	0,214	5,8	Цина Sn	119,0	0,054	6,5
Силіцій(крист) Si	28,3	0,165††)	4,6††)	Антимон Sb	120,2	0,051	6,1
Фосфор (жов.) P	31,0	0,189	5,9	Телур Te	127,5	0,047	6,0
Сірка (ромб.) S	32,07	0,178	5,7	Йод I	126,92	0,054	6,8
Калій K	39,10	0,166	6,5	Лантан La	139,0	0,045	6,2
Кальцій Ca	40,09	0,170	6,8	Церій Ce	140,25	0,045	6,3
Скандій Sc	44,1	0,153	6,7	Вольфрам .. W	184,0	0,033	6,1
Хром Cr	52,0	0,121	6,3	Осмій Os	190,9	0,031	5,9
Манган Mn	54,93	0,122	6,7	Іридій Ir	193,1	0,032	6,1
Залізо Fe	55,85	0,114	6,4	Платина Pt	195,0	0,032	6,2
Кобальт Co	58,97	0,107	6,3	Золото Au	197,2	0,032	6,3
Нікель Ni	58,68	0,108	6,4	Ртуть (твер.) Hg	200,0	0,032	6,4
Мідь Cu	63,57	0,095	6,0	Талій Tl	204,0	0,033	6,7
Цинк Zn	65,37	0,094	6,1	Олово Pb	207,10	0,031	6,4
Галій Ga	69,9	0,079	5,5	Бісмут Bi	208,0	0,030	6,2
Германій Ge	72,5	0,077	5,6	Торій Th	232,42	0,027	6,2
Арсен (крист.) As	74,96	0,082	6,9	Уран U	238,5	0,027	6,5
Селен (крист.) Se	79,2	0,080	6,3				

*) При 257° $Q=0,58$; $A \times Q=5,2$. **) При 400° $Q=0,58$; $A \times Q=6,4$.

†) Вище 900° $Q=0,459$; $A \times Q=5,5$. ††) Вище 200° $Q=0,204$; $A \times Q=5,8$.

кількість тепла, а то власне коло 6,4 мал. калорій; цеб-то для того, щоб різні хемічно-прості тіла, взяті в атомовій їх кількості, довести до певного теплового стану, необхідно для цього вжити однакової роботи. «Для теплових змін атом являється одиницею; всі атоми, не зважаючи на різницю їх ваги й природи, однакові»*).

На стор. 36 наведено значіння атомової ваги (A), питомого тепла (Q) і добутку ($A \times Q$ **)).

Як бачимо з наведеної таблиці, для де-яких елементів (берилій, бор, вугіль, силіцій) значіння $A \times Q$ значно відхиляється від пересічного значіння 6,4. Однак при високих температурах питоме тепло цих елементів наближається до пересічної величини. Навпаки, при низьких температурах число виїмків із цього емпіричного правила все збільшується, розмір відхилень од правила Дюлонга і Пті зростає, а при наближенні температури до абсолютного нуля це правило буде, очевидно, зовсім невірним. При досить низьких температурах всі тверді елементи виявляють себе подібно до вугля.

Все-ж таки не можна вважати за випадок те, що переважна більшість елементів підлягають правилу Дюлонга і Пті (законом його назвати не можна в такому розумінні, як напр., закон кратних пропорцій), і можна загально прийняти за приблизно правдиву формулу:

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

Таким чином, коли ми знаємо, напр., для золота його питоме тепло (0,032), то можемо сказати, що його атомова вага приблизно буде рівна 200 (бо $6,4 : 0,032 = 200$). Це число точно встановлюється шляхом хемічного аналізу. Так у хлораку золота (AuCl_3) на 35,5 гр. хлору (грам-атом хлору) припадає 65,7 гр. золота; значить, атомова вага золота мусить бути числом з одного боку пропорційним до 65,7, а з другого боку близьким до 200. Таким числом є 197,2, ц. т. $65,7 \times 3$, котре й є атомовою вагою золота; тоді формула молекули хлораку золота буде AuCl_3 (встановлена аналізом пропорція тут уповні зберігається: $197,2 : 106,5 = 65,7 : 35,5$).

Молекулярне питоме тепло кухонної соли є 12,8. Це відповідає двох-атомовому складові молекули соли. Через те, що кухонна сіль розкладається тільки на два елементи Na і Cl, то з цього треба зробити висновок, що кожна молекула кухонної соли складається із

*) Менделѣевъ. Основы химіи. Ст. 423.

**) A. Hollemann. Lehrbuch der Chemie. Anorganischer Teil.

одного атома Na і одного атома Cl, ц. т. молекулярна її формула буде NaCl.

Із формули $A = \frac{6,4}{Q}$ визначається *безпосереднє* так звану *термічну* атомову вагу елемента. *Посереднє* атомову вагу можна вивести із величини молекулярної ваги, яка визначається із питомої (спеціальної) ваги газу, про що річ буде далі.

Ще одним, хоч і не таким загальним і певним, допомоговим засобом для визначення атомової ваги є фізичне явище, відоме під назвою *ізоморфізму*.

Поняття про ізоморфізм уперше став прикладати в хемії *Мітчеллі*, який констатував (1819 р.), що відповідні солі арсенової (H_3AsO_4) і фосфорової (H_3PO_4) кислот кристалізуються з однаковою кількістю води, в дуже близьких між собою кристалічних формах і можуть із розчинів кристалізуватись вкупі, ц. т. в одних кристалах, котрі містять у собі мішанину ізоморфних сполучень. Взагалі ізоморфними тілами називаються такі, що мають однакове число атомів у складі молекули, виказують схожість (але не однаковість) в хемічних реакціях, близькість між собою у властивих їм прикметах та мають однакову або дуже близьку кристалізаційну форму; в склад ізоморфних тіл часто входять спільні елементи, із чого роблять висновок, що й решта елементів, які входять в склад молекули, ц. т. різні елементи, також мають між собою схожість.

Відомо, що алкалічні метали (Li, Na, K, Rb і Cs) з галогенами дають сполучення типу RX (R — метал, X — галоген), які всі кристалізуються в правильній системі: у формі октаедрів або кубів, напр. NaCl, KCl, KJ, RbCl і ин.; знов же рубідієві й цезієві солі азотової кислоти ($RbNO_3$ і $CsNO_3$) кристалізуються в таких самих кристалах, як і азотово-калієва сіль (KNO_3); арагоніт ($CaCO_3$), стронціаніт ($SrCO_3$) і вітерит ($BaCO_3$) кристалізуються в ромбічній системі з дуже близькими кутами призми; різні галуни (як наприклад: $KAlS_2O_8 \cdot 12H_2O$, $NaAlS_2O_8 \cdot 12H_2O$, $KCrS_2O_8 \cdot 12H_2O$) кристалізуються в формах правильної системи і т. п.

Один ізоморф може викликати кристалізацію другого, подібно до того, як кристалізацію може спричинити кристал того самого тіла, вкинутий до назиченого розчину.

Значіння явища ізоморфізму для встановлення аналогії між двома чи більшим числом хемічно-схожих тіл трохи зменшилось після того, як стали відомі явища *диморфізму* і навіть *поліморфізму*, які виявляються в тому, що те саме тіло може кристалізуватись у різних формах: напр., сірка кристалізується в формах ромбічної

і моноклінічної систем, а вуглекальцієва сіль (CaCO_3) кристалізується в ромбоєдричній системі (кальцієвий шпат) і в ромбічній системі (арагоніт).

Знов же трапляється й так, що в тій самій системі кристалізуються тіла ріжного хемічного складу (напр. NaNO_3 кристалізується в ромбоєдрах, близьких до ромбоєдрів CaCO_3). Тут навіть склад обох молекул по числу атомів подібний один до одного, але нема тут тієї важливої прикмети ізоморфів, що вони вступають у схожі реакції; бо як раз схожість хемічних властивостей, а не гомеоморфізм (схожість форми), являються головною прикметою ізоморфів.

Однак і сама кристалічна форма тіла, являючись зовнішнім виявленням внутрішнього положення молекул цього тіла, до певної міри дозволяє зробити де-які висновки що-до внутрішніх сил, які діють поміж атомами. Зовнішня схожість кристалічних форм двох хемічно-схожих тіл дає підставу мислити про схожість внутрішніх сил між атомами двох ізоморфів, а значить дозволяє припустити схожість природи різних хемічних елементів та аналогічність будови молекул ізоморфів. Коли метал R дає ізоморфні тіла RCl , RBr і RJ , то є дуже ймовірним, що атоми Cl, Br і J відіграють в них схожі ролі, а їх маси і, значить, атомові ваги відносяться між собою так само, як відносяться між собою ваги цих елементів, сполучені з однаковою ваговою кількістю даного металу. А пропорційність між вагами Cl, Br і J, в якій вони сполучаються з однаковою кількістю того самого металу (або водня) ми знаєм; це є (в круглих числах) 35 : 80 : 127. Таким чином, із всіх можливих рядів пропорційних чисел для означення атомових вагів випадуть ті ряди, де числа для Cl, Br і J не виказували б пропорцій 35 : 80 : 127.

Отже ізоморфізм, поруч з правилом Дюлонга і Пті, являється дуже важливим допомоговим способом визначення атомової ваги елементів.

Приглядаючись до наведених у таблиці II чисел для означення атомової ваги елементів не трудно зауважити, що атомова вага багатьох із них або рівна якомусь цілому числу або відрізняється від нього на величину не більшу 0,1.

Ця обставина звернула на себе увагу вже на початку минулого століття і стала предметом пильних дослідів багатьох видатних учених.

Не можна було припустити, що явище це пояснюється звичайною випадковістю, бо кількість елементів з атомовою вагою, близькою до цілого числа (з точністю до 0,1) або й рівною йому, є значно

більшою за ту, яка повинна була б бути згідно з теорією ймовірності. Так із 63 хемічних елементів, атомова вага котрих визначена була з великою точністю, на основі теорії ймовірності лише 18—19 елементів повинно було б мати атомову вагу, яка відхилялася б від цілого числа не більше, як на 0,1. В дійсності ж таких елементів оказалось не 18—19, а 27*).

Серед 21 елементів можна було б сподіватись знайти тільки один такий, котрого атомова вага буде означатись цілим числом з точністю до 0,2, а їх в справді аж 9**).

Отже в цьому факті заложений, очевидно, більш глибокий зміст, ніж звичайна випадковість, а тому цілком природно, що на цьому ґрунті знов відродилась призабута було вже ідея старовинних натур-філософів про єдність матерії. Цю ідею в новій інтрепретації відновив (1815 р.) лондонський лікар *Проут* (Prout).

Як ми знаємо, вже при кінці XVIII ст. Лавуазьє утвердив у науці поняття хемічного елементу, який являвся свого роду хемічною індивідуальністю і перетворитись на другий якийсь елемент не може. Згідно з Дальтоновим ученням різних сортів атомів існує стільки, скільки є хемічних елементів. Але коли б виявилось, що всі атомові ваги виказуються цілими числами, або принаймні, що вони є числа спільномірні між собою, то можна було б з великою мірою певности думати, що хемічні елементи, не зважаючи на всю їх різницю, утворені із одної якоїсь матерії, котра може до різної степені згущуватись, а через таку її конденсацію утворюються різні комплекси, які ми не можемо роз'єднати жадними відомими в хемії способами. Отже ці конденсовані різним способом комплекси тієї матерії представлялись би для нас «атомами» хемічних елементів.

Проут прийшов до думки, що атоми всіх елементів складаються із «прото-атомів», котрі є, ймовірно, ідентичними з атомами водня, як найлегшого із усіх газів. Цим, на його думку, і пояснювалось те, що багато існує елементів з атомовою вагою, близькою до цілого числа, бо за одиницю міри взятий був як раз атом водня. Відхилення пояснювались просто недосконалістю метод і способів визначення атомової ваги. Однак найточніші аналізи, особливо роботи Берцеліуса і Стаса, показали, що відхилення атомової ваги од значіння цілого числа були настільки великі, що пояснити їх одною неточністю не можна, а це значить, що й водень не може бути тією «праматерією», з якої утворюються всі інші елементи. Але цим не виключена ще можливість існування якоїсь іншої ма-

*) Dr. Leo Grätz. Die Atomtheorie in ihrer neusten Entwicklung. (1925).

**) Jean Perrin. Les Atomes (Die Atome).

терії, а не водня, атомова вага котрої рівна $\frac{1}{2}$ чи $\frac{1}{4}$ атомової ваги водня. Тоді цілком природним було б, що атомові ваги елементів могли б означатись і дробовими числами, як що брати за одиницю вагу атома водня. Та й при цьому припущенні атомові ваги всіх елементів обов'язково мусіли б означатися числами, які між собою спільномірні. Найскрупкульозніші досліди показали однак, що це не відповідає фактичним експериментальним даним.

Але на початку минулого століття ідея Проута мала чимало своїх гарячих прихильників і оборонців, до числа яких в першу чергу відноситься друг Дальтона *Т. Томсон*. Цей останній так високо цинив ідею Проута, що уважав її за основний закон хемії. Щоб доказати правдивість Проутової теорії та підпорядкувати їй усі хемічні елементи, Томсон перевів досліди над атомовою вагою великого числа елементів. Пізніше Берцеліус висловився, що результати тих дослідів не мали жадної вартости що-до встановлення правдивих і точних атомових вагів хемічних елементів.

Наскільки неточними даними користувався Проут, показує слідуєча таблиця атомових вагів де-яких елементів*):

Кальцій — 20, Залізо — 28, Хлор — 36
Натрій — 24, Цинк — 32, Калій — 40

Як видно, атомові ваги цих елементів не тільки всі рівні цілим числам, але й виказують цілком закономірну різницю. Ця закономірність зростання атомової ваги не потвердилась, як уже згадано, при дальших дослідах.

Через те й гіпотезу Проута стали вважати за необґрунтовану, а згодом її і зовсім призабули**).

Пізніші праці *Содді*, *Фаянса*, *Резерфорда* та ин. над радіоактивними змінами показали, що два атоми можуть мати ріжну вагу, але разом з тим мають такі близькі хемічні властивості, що за допомогою тих способів, якими розпоряджає наука, розділити їх ніяк не можна. Це є атоми так званих *ізоіопів*. ц. т. елементів, які стоять на одному місці в періодичній системі. Про це буде мова далі, але тут зауважимо, що з цього погляду те, що ми досі уважали за однородне хемічно-просте тіло, являється иноді мішаниною двох чи більшого числа ізоіопів.

*) Stange. Zeitalt. d. Chem. Стр. 271.

**) Наскільки цей погляд на гіпотезу Проута затвердився був у науці, про це може свідчити хоч би й те, що Д. І. Менделєєв, читаючи (1899 р.) свій реферат у Лондонському Товаристві Хемиків, уважав за необхідне застерігти, що неправильним було б базуватись на його періодичній системі елементів для обґрунтування ідеї про єдність матерії. «Природознавство, казав він, після великої праці дослідження нашло індивідуальність хемічних елементів». (Д. Менделєєв. Два лондонських чтенія.)

Напр., літій (ат. в.=6,94), неон (ат. в.=20,2), магній (ат. в.=24,3), хлор (ат. в.=35,46) є мішаниною ізотопів, із котрих кожен має атомову вагу, рівну цілому числу. Так ізотопи літія мають атомову вагу, рівну в точності цілим числам 6 і 7; ізотопи неона мають атомову вагу 20 і 22; магнія — 24, 25 і 26; хлора — 35 і 37*).

В світлі цих нових наукових дослідів инакше представляється і сама гіпотеза Прюта; на її користь появились нові докази, котрі свідчать, що в ній заложене було здорове зерно наукової правди.

III.

Уже старовинні класичні натур-філософи відрізняли кілька станів фізичних тіл природи. Земля була символом твердих тіл, вода — течива, а повітря — газів. У цьому поділі крились уже елементи тієї думки, яка лежить в основі сучасної класифікації фізичних тіл відповідно до їх *агрегатного стану*: тверді тіла, течива й гази.

Ми розглядали що-йно способи визначення атомових вагів на основі вивчення фізичного явища — ізоморфізму, — яке являється, з одного боку, специфічною властивістю тільки твердих тіл, а разом з тим воно є зовнішнім проявом тих внутрішніх сил, котрі управляють розміщенням у просторі найдрібніших часток даного тіла, в наслідок чого витворюються певні, характеристичні для нього кристалічні форми.

Розглянемо тепер де-які особливості й властивості газів, які не тільки служать для точного визначення атомових вагів хемічних елементів, але й самі вони стають зрозумілими і знаходять своє пояснення при допущенні атомово-молекулярної структури матерії.

З часів *Бойля* (1660 р.) і *Маріотта* (1675 р.) став відомий закон, що обсяги газів і пари**) зменшуються при збільшенні тиску таким чином, що обсяги ці будуть при незмінному стані температури зворотно пропорційні до тиску.

Хоч закон цей в дійсності не є абсолютним і лише з точністю до 1% відповідає експериментальним дослідженням при тискові не вище 10 атмосфер, але при низьких атмосферних тисках він є доволі точний, а в міру зменшення тиску стає ще більше точним.

*) Ф. В. Астон. Изотопы. (Пер. з англ. 1923).

**) Річевої різниці між газом і парою нема. Пару можна згустити до стану течива при звичайній температурі через збільшення тільки тиску, а з газом цього ефекту при звичайній температурі досягти не можна. Навпаки, коли пару нагріти вище певної так зв. *критичної температури*, то згустити її в течиво самим тільки збільшенням тиску також не можна.

Означивши V_0 — обсяг газу при тискові P_0 і V — обсяг його при тискові P , ми можемо цьому закону надати таку формуловку:

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

ц. т. його можна формулювати ще й так: здобуток із обсягу газу й тиску при незмінній температурі для однакової кількості кожного газу є величиною постійною.

З другого боку, *Гей-Люссак* (1810 р.) доказав, що при незмінному тискові обсяг газів при нагріванні збільшується прямо пропорційно до підвищення температури, при чому при підвищенні температури на 1°Ц. обсяг газів збільшується на $1/273$ того обсягу, який вони мають при 0°Ц.

Означивши через V_0 — обсяг газу при 0°Ц. , V — обсяг його при температурі t і через α коефіцієнт $1/273$, надамо цьому законові таку формулу:

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

Коли при зменшенні температури на один ступінь обсяг газу зменшиться на $1/273$, то теоретично виходить, що при -273° газ не повинен мати зовсім ніякого обсягу, і що нижчої за -273° температури взагалі не може бути. Значить температура -273° являється «точкою абсолютного нуля»; її означають звичайно $T = 273 + t$. Напр., хатня температура 17°Ц. рівна 290° абс. температури.

Числити температуру від цієї нулевої точки зручно через те, що коли при цій нульовій точці обсяг рівняється нулю, то при підвищенні температури на один ступінь цей обсяг буде збільшуватись на $1/273$ того обсягу, який займає даний газ при 0°Ц. Це значить, що обсяг газу в точності пропорційний до числа ступнів абсолютної температури.

Із двох попередніх рівнянь виводиться одно загальне газове рівняння:

$$V \cdot P = V_0 \cdot P_0 \frac{T}{273} \text{ або } V = \frac{V_0 P_0}{P} \cdot \frac{T}{273}$$

Цей об'єднаний закон означає, що обсяг газів прямо пропорційний до абсолютної температури і зворотно-пропорційний до тиску.

Оцінюючи ці два закони з погляду кількості матерії в певному обсязі газу, приходимо до таких висновків: припустимо, що n і n_1 означають число молекул двох яких-небудь газів в обсязі 1 куб. сант. при однаковій температурі й однаковому тискові. Відношення між числом молекул цих газів в 1 куб. см. буде $\frac{n}{n_1}$. При збільшенні тиску в п'ять разів (без зміни температури) число молекул в 1 куб. см. обох газів повинно так само збільшитись у 5 разів, але відношення

між цими числами буде те саме $\frac{n}{n_1}$, ц. т. зміна густоти газів на це відношення не впливає.

З другого боку, при збільшенні температури (без зміни тиску) обсяг газів збільшується, а значить густота газів зменшується однаково для обох взятих нами газів, ц. т. число молекул їх в 1 куб. см. повинно зменшитися в однаковій пропорції; значить і тут відношення $\frac{n}{n_1}$ не змінюється.

Отже на основі цих двох експериментально доведених законів можна виставити таку тезу: в однакових обсягах різних газів знаходяться такі числа їх молекул, що відношення між ними буде все однакове, як що будуть також однакові температура й тиск цих обсягів газів.

Дальші досліди того самого Гей-Люссака показали, що синтетичні реакції підлягають двом, встановленим ним законам.

Перший закон: кількості тіл, які вступають між собою в хемічну взаємочинність при однакових фізичних умовах в стані газу або пари, мають рівні обсяги або такі, які знаходяться між собою у кратному відношенні. Це значить, що коли реагують між собою два гази, то їх обсяги будуть або рівні, або обсяг одного газу буде 2, 3 і т. д. разів більший за обсяг другого газу.

Другий закон, який можна вважати за вислід з першого, є такий: обсяг тіла, яке витворюється із кількох складових частин також при однакових фізичних умовах, знаходиться у простих відношеннях до обсягів складових його частин і до суми цих обсягів, цеб-то ці відношення будуть: 1 : 2 : 3 і т. д.

Інакше ці обидва закони можна було б формулювати так, що обсяги газів, які під час хемічної реакції появляються або зникають, знаходяться між собою у простих відношеннях; напр., із чотирьох обсягів, які мають взяті для досліду гази, під час реакції може зникнути два обсяги, ц. т. число, яке знаходиться у простому відношенні до чотирьох.

Так 1 обсяг азоту (N) і 3 обсяги водня (H) дають 2 обсяги амоніаку (NH₃), значить із 4 обсягів N і H витворюється 2 обсяги NH₃.

Із 2 обсягів водня (H) і 1 обсягу кисня (O) витворюється 2 обсяги водяної пари (H₂O). Припустім, що в 1 кб. см. знаходиться n молекул кисня і n_1 молекул водяної пари. Кожна молекула кисня складається із якогось невеликого числа p атомів, а в склад кожної молекули водяної пари входить якесь число p_1 атомів того ж таки кисня. Під час реакції матерія не зникає, отже й кисень не зник.

Тоді виходить, що в 1 кб. см. водяної пари є лише половина тієї кількості атомів кисня, яка є в 1 кб. см. кисня, ц. т. $np = 2n_1p_1$, звідки $\frac{n}{n_1} = 2 \frac{p}{p_1}$. Оскільки числа p і p_1 є невеликі цілі числа, то відношення $n : n_1$ означається простим числом; але яка це простота і чи не зводиться вона до повної рівності, про це ми не могли зробити досі ніякого певного висновку.

Італійський учений Авогадро (1811 р.), оцінюючи закони Гей-Люссака, прийшов до висновку, що $n = n_1$. По його гіпотезі в рівних обсягах газів при однакових умовах температури й тиску міститься однакове число молекул.



Шарль Жерар (1816—1856).

Інакше цю думку можна зформулювати так: однакове число різних молекул у газовому стані при однакових умовах температури, заключені в однакові обсяги, спричиняють однакове тиснення.

Гіпотеза Авогадро підтримана була французьким ученим, фізиком і математиком, Ампером, який (1815 р.) у своїх обчисленнях припустив також, що $n = n_1$.

Але тільки завдяки працям французького хеміка Жерара*) (в 1840-х рр.), ця гіпотеза придбала загальне визнання після того, як він своїми численними дослідями показав, що взаємочинність різних тіл відбувається найпростіше і передусім між такими кількостями тіл, які займають рівні обсяги в стані газів та в однакових фізичних умовах температури й тиску.

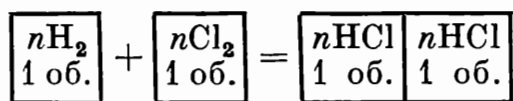
*) Альзасець з роду; писався Gerhardt.

Після робіт Жерара під висловлену Авогадро гіпотезу підведений був серйозний науковий фундамент, і тепер з повним правом можна базуватись на *законі Авогадро-Жерара* для цілей дослідження атомового складу молекул хемічних елементів та їх релятивної ваги.

Досвід показує, що 1 гр. водня (H) і 35,46 гр. хлору (Cl) дають у сполученні між собою 36,46 гр. хлороводня або сіЛЬНОї кислоти (HCl).

Обчислення в обсягах показує, що 11,2 літрів водня (H) і 11,2 літрів хлору (Cl) дають 22,4 літра хлороводня (HCl). Як же можна вичислити звідси, який є атомовий склад молекули H і Cl, ц. т. із кількох атомів складається кожна молекула цих двох хемічних елементів? В кожному разі в молекулі повинно бути не менше одного атома, бо це є найменша часточка елемента, в якій ще зберігаються всі хемічні якості й прикмети даного елемента.

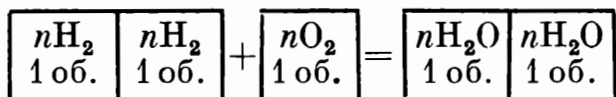
Із досвіду ми бачимо тільки, що з двох однакових обсягів H і Cl витворився подвійно більший обсяг HCl. Значить, згідно з законом Авогадро, коли у взятому обсязі 11,2 літрів було n молекул H і n молекул Cl, то в подвійному обсязі повинно бути $2n$ молекул HCl. Коли-б припустити, що кожна молекула водня й хлору складається тільки з одного атома, то довелось би прийти до висновку, що одна молекула хлороводня складається із $\frac{1}{2}$ атома водня і $\frac{1}{2}$ атома хлора. Але це протирічить поняттю про атом. Отже треба припустити, що кожна молекула водня й хлору складається що-найменше із 2 атомів (H₂) і (Cl₂). Тоді реакція витворення хлороводню представиться так:



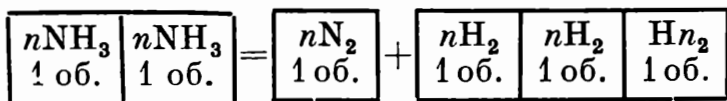
Всі дослідження над хемічними сполученнями, в склад яких входить водень, показують, що хлороводень є таким сполученням, де водня входить найменша процентова кількість у порівнянні з усіма іншими сполученнями. Отже цю кількість треба вважати за ту *найменшу* кількість водня, яка може творити якесь сполучення; це значить, що далі вже молекула водня не ділиться, ц. т. що в сполучення HCl водень входить своїм одним атомом. Також і хлор входить тут своїм одним атомом. Беручи за одиницю ваги вагу одного атома водня, приходимо до висновку, що вага одної молекули водня буде рівна 2, а молекули хлору — 70,92.

Подібно до цього два обсяги водня ($2n$ молекул водня) і один обсяг кисня (n молекул кисня) дають два обсяги води ($2n$ молекул

води). В $2n$ молекул води повинно бути $2n$ атомів кисня; значить $2n$ атомів кисня = n молекул кисня, ц. т. одна молекула кисня складається із двох атомів.



Розглянемо ще один приклад: два обсяги ($2n$ молекул) амоняку під впливом електричної іскри розпадаються на 1 обсяг (n молекул) азоту і три обсяги ($3n$ молекул) водня. Звідси виходить, що й молекула азоту складається із двох атомів.



Досліди показали, що молекули пари де-яких елементів (калій, натрій, цинку, ртуті) і т. зв. благородних газів (неон, аргон, криптон, ксенон) складаються із одного тільки атома; навпаки, молекули де-яких інших елементів складаються із трьох, чотирьох і навіть більшого числа атомів.

Хемічно-прості тіла, молекули котрих складаються із однакового сорту атомів, але із різного числа цих атомів, називаються *алотропічними*. Вони відрізняються між собою фізичними, а в деякій мірі також і хемічними властивостями.

Алотропами будуть напр., кисень (O_2) і озон (O_3), жовтий, червоний і металевий фосфор, вуголь, графіт і діамант та ин.

Вже говорено було про те, що, знаючи склад молекули, ми можемо вчислити атомову вагу складових елементів. Пригадуючи для води формулу $\frac{o}{h} = \frac{8p}{q}$ і підставляючи числове значіння p (рівне 2) і q (рівне 1), будемо мати $o = 16h$ ц. т. атомову вагу кисня є 16, а формулу води треба написати H_2O (формулу перекису водня H_2O_2).

Для амоняку відповідна формула буде $\frac{n}{h} = \frac{14p}{3q}$, при значінні $p=3$ і $q=1$ (n є атомову вагу азоту). Тоді n буде рівне 14, а формула амоняку NH_3 .

Так само для метану: $\frac{c}{h} = \frac{3p}{q}$, де c є вага атому вугля, $p=4$ і $q=1$, c буде 12, а формула метану — CH_4 .

Комбінуючи різні методи, учені знайшли дуже точні числа для означення атомової ваги хемічних елементів, яких тепер нараховується близько 90.

На стор. 48 наведено таблицю цих елементів в порядку зростання їх атомової ваги.

ТАБЛИЦЯ II.
Хемічні елементи.

Е л е м е н т	Символ	Ат. вага	Поряд- кові ч.ч.	Е л е м е н т	Символ
Водень	H	1,008	47.	Срібло	Ag
Гелій	He	4,00	48.	Кадмій	Cd
Літій	Li	6,94	49.	Індій	In
Берилій	Be	9,1	50.	Цина	Sn
Бор	B	11,00	51.	Антимон ..	Sb
Вуголь	C	12,00	52.	Телур	Te
Азот	N	14,01	53.	Йод	J
Кисень	O	16,00	54.	Ксенон	X
Флюор	F	19,00	55.	Цезій	Cs
Неон	Ne	20,2	56.	Барій	Ba
Натрій	Na	23,00	57.	Лантан	La
Магній	Mg	24,32	58.	Церій	Ce
Алюміній ..	Al	27,1	59.	Празеодимій	Pr
Силіцій	Si	28,3	60.	Неодимій ..	Nd
Фосфор	P	31,04	61.	—	—
Сірка	S	32,06	62.	Самарій	Sm
Хлор	Cl	35,46	63.	Європій	Eu
Аргон	A	39,88	64.	Гадоліній ..	Gd
Калій	K	39,10	65.	Тербій	Tb
Кальцій	Ca	40,07	66.	Диспрозій ..	Dy
Скандій	Sc	45,1	67.	Гольмій	Ho
Титан	Ti	48,1	68.	Ербій	Er
Ванадій	V	51,00	69.	Тулій	Tu
Хром	Cr	52,00	70.	Ітербій (Аль- дебараній)	Yb(Ad)
Манган	Mn	54,93	71.	Лютецій (Ка- сіопей) ..	Lu(Cp)
Залізо	Fe	55,84	72.	Гафній (Кель- тій)	Hf(Ct)
Кобальт	Co	58,97	73.	Тантал	Ta
Нікель	Ni	58,68	74.	Вольфрам ..	W
Мідь	Cu	63,57	75.	—	—
Цинк	Zn	65,37	76.	Осмій	Os
Галій	Ga	69,9	77.	Іридій	Ir
Германій ..	Ge	72,5	78.	Платина ..	Pt
Арсен	As	74,96	79.	Золото	Au
Селен	Se	79,2	80.	Ртуть	Hg
Бром	Br	79,92	81.	Талій	Tl
Криптон ..	Kr	82,92	82.	Олово	Pb
Рубідій	Rb	85,45	83.	Бісмут	Bi
Стронцій	Sr	87,63	84.	Полоній	Po
Ітрій	Y	88,7	85.	—	—
Циркон	Zr	90,6	86.	Еманац.Радія (Нітон) ..	Ra Em(Nt)
Ніобій	Nb	93,5	87.	—	—
Молібден ..	Mo	96,00	88.	Радій	Ra
—	—	—	89.	Актиній	Ac
Рутеній	Ru	101,7	90.	Торій	Th
Родій	Rh	102,9	91.	Протактиній	Pa
Паладій	Pd	106,7	92.	Уран	U

Ми вже бачили, що один атом галогених елементів сполучається з одним атомом водня; атом кисня сполучається з двома атомами водня; атом азоту з трьома атомами водня; атом вугля з чотирма атомами водня.

Цим означається їх *валентність*: галогени — одновалентні; кисень і його група елементів — двовалентні; азот з своєю групою — тривалентні; вуголь і його група — чотирьохвалентні.

Валентність інших елементів, які не дають сполучень з воднем, визначається по їх сполученнях з киснем, як елементом двовалентним. Так: калій — одновалентний; кальцій — двовалентний; бор — тривалентний. Звідси виходить, що з однією атомовою кількістю водня з'єднується: одна атомовою кількість одновалентного елементу, $\frac{1}{2}$ атомової кількості двовалентного, $\frac{1}{3}$ атомової кількості тривалентного і $\frac{1}{4}$ атомової кількості чотирьохвалентного.

Тепер стає цілком очевидним і зрозумілим обчислення еквівалентних кількостей різних хемічних елементів. Щоб вичислити еквівалентну кількість елементу, треба число, яке означає атомову вагу його, розділити на число, котре означає його валентність; напр.: для кисня (O) — $\frac{16}{2}=8$; для азоту (N) — $\frac{14,01}{3}=4,67$; для вугля (C) — $\frac{12}{4}=3$ і т. д.

Кількість грамів даного хемічного тіла, рівна його молекулярній вазі, називається *молекулярною кількістю* або *грам-молекулою* цього тіла (напр., грам-молекула води — 18 гр.).

Грам-молекула всякого тіла в стані газу чи пари при нормальних фізичних умовах (при температурі 0°C. і тискові 760 мм.) займає однаковий обсяг, рівний 22,4 літра (22400 кб. см.) при умові, що коли в склад тіла входить кисень, то його кількість у грам-молекулі не повинна бути меншою 16 грамів.

Грам-атомом або *атомсою* кількістю називається кількість грамів даного хемічно-простого тіла рівна атомовій його вазі (напр. грам-атом хлору — 35,46 гр., азоту — 14,01 гр.).

Питома вага газу чи пари якогось тіла показує, скільки разів певний обсяг цього тіла важчий за такий самий обсяг водня. Через те, що в однакових обсягах є однакове число молекул, то питома вага разом з тим показує, скільки разів одна молекула даного тіла важча за одну молекулу водня. Означивши молекулу цього тіла через M, молекулу водня через M₁ і питому вагу того тіла через D, маємо таке рівняння:

$$M=M_1D.$$

Але ми знаємо, що молекула водня складається із двох атомів,

ц. т. $M_1=2$, значить для молекули газу чи пари формула буде мати такий вигляд:

$$M=2D.$$

Таким чином, молекулярна вага кожного хемічно-простого тіла завжди буде рівна подвоєному числу, яке означає питому вагу даного тіла, обчислену відносно водня, питома вага котрого взята за одиницю міри.

Зауважимо тут, що слідом за Берцеліусом, який виробив хемічну мову, хемічні елементи стали означати початковими літерами латинської назви відповідного елемента. Ці *символи* означають не лише самі елементи, але також і їхні атомові ваги, а значить і грам-атоми.

Як що грам-молекула якогось тіла має N молекул, кожна із котрих складається із p атомів водня, q атомів кисня і r атомів вугля то це значить, що у грам-молекулі буде pH грамів водня, qO грамів кисня і rC грамів вугля.

Молекулярною формулою цього тіла буде $H_pO_qC_r$, яка одночасно показує, із скількох атомів кожного сорту складається кожна молекула, а також скільки грам-атомів різних складових хемічно-простих тіл заключається в одній грам-молекулі хемічного складного тіла.

Із наведеної вгорі формули $M=2D$ дуже легко вивести молекулярну вагу тіла, коли ми маємо значіння D , ц. т. питомої ваги цього тіла в стані газу чи пари.

Однак є тіла, котрі трудно переходять у стан пари, але дуже легко натомісць дають розчини. Для знайдення величини молекулярної ваги таких тіл, користуються *кріоскопічною* чи *ебуліоскопічною* метою, основаною на тому, що характеристична для певного течива температура замерзання чи температура вару змінюється в тому разі, коли ми в тому течиві розчинимо якесь тіло, котре з ним не вступає в хемічну взаємочинність. Окремі молекули розчиненого тіла, рухаючись у різних напрямках, зрештою рівномірно розподіляються в даному обсязі того течива; через те, що вони порівнюючи досить далеко одна від одної плавають в цьому течиві, то взаємне їх притягання стає рівним величині, близькій до нуля. Коли при понижуванні температури вона доходить до того ступня, де дане течиво переходить уже звичайно в стан твердості, то це течиво при розчиненні в ньому иншого тіла на цій точці ще не замерзає, а для переведення його в стан твердості треба температуру понизити ще на кілька ступнів. Це є явище *депресії*. Так само й при нагріванні розчину: течиво, в котрому розчинене якесь друге тіло, не переходить в стан пари при

тій висоті температури, при якій воно нормально перетворюється вже на пару.

При цій висоті температури *дисперсна* (розчинна) система не може ще перебороти атмосферного тиску, бо пружність пари розчину зменшується. Для того, щоб перемогти силу атмосферного тиску та зрівняти з ним силу пружності пари розчину, треба додати цьому розчинові ще певну кількість теплової енергії. Це значить, що точка вару течева, коли в ньому розчинено інше тіло підвищується супроти нормальної для даного течева температури вару. Для прикладу можна вказати, що чиста вода замерзає при 0°C ., а вариться при 100°C ; а морська вода, в котрій розчинені різні тверді тіла (NaCl , KCl , MgCl_2 , MgSO_4 , CaSO_4 і ин.), замерзає при -2°C . і вариться при $100,6^{\circ}\text{C}$.

Спостережено, що при розчиненні в воді солей розчин добре проводить електричність; це є так звані *електроліти*. Натомісць при розчиненні у воді цукру й інших вуглеводанів (формула $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_n$) такого явища не буває: це *неелектроліти*.

Досліджуючи розчини неелектролітів, *Рауль* (1884 р.) сконстатував слідує: а) на температуру замерзання і вару даного течева вплив розчиненого в ньому тіла виявляється в прямій пропорційності до концентрації, цеб-то, коли в літрі води розчинено 100 гр. цукру, то пониження точки замерзання і підвищення точки вару буде в 10 разів більше, ніж тоді, коли в тій самій кількості води розчинено 10 гр. цукру; б) при однаковій молекулярній концентрації вплив на температуру замерзання й вару різних тіл буде однаковий, ц.т., коли в однакових обсягах того самого течева розчинена однакова кількість грам-молекул різних тіл, то точка замерзання, тиск пари й точка вару тих всіх розчинів будуть однакові; інакше це можна ще формулювати так: еквімолекулярні розчини*) замерзають і варяться при однаковій температурі.

Розчини не повинні бути дуже концентровані, а навпаки, їх концентрація мусить бути слабою (1 грам-молекула на 1 літр); тут до певної міри виявляється аналогічність з газами, бо, як ми вже бачили, закону Бойля-Маріотта газу підлягають найточніше в стані найбільшої розріжености.

Як що в N грам-молекулах якогось течева, котре має тиск пари p , розчинити n грам-молекул якоїсь матерії, при чому тиск пари встановиться p_1 , то величина відносного пониження тиску стає дуже близь-

*) Еквімолекулярні розчини — це такі, коли в певному обсязі течева розчинені вагові кількості тіл, пропорційні до молекулярної ваги розчинених тіл, напр., коли в 1 літрі води розчинено 342 гр. цукру (мол. форм. — $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) або 46 гр. алкоголю (мол. форм. — $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$).

кою до відношення між числом грам-молекул розчиненої матерії («дисперсна фаза» — «dispersum») і числом грам-молекул взятого течива («дисперсійне середовище» — «dispersgens»).

$$\text{Це є закон Рауля: } \frac{p-p_1}{p} = \frac{n}{N}.$$

Коли до таких висновків Рауль прийшов на основі експериментів з хемічними тілами, яких молекулярна вага була відома, то цілком природним буде також припущення, що й тіла з невідомою поки-що молекулярною вагою підлягають такому самому закону. Отже в такому разі можна вчислити й молекулярну вагу цих останніх тіл. Наприклад, коли буде встановлено, що якась вагова кількість m хемічного тіла з невідомим молекулярним складом, розчинена в певному обсязі якогось течива, впливає на підвищення точки вару таким чином, що це підвищення є в 5 разів менше за те підвищення, котре викликає розчинена в такому обсязі того самого течива грам-молекула хемічного тіла з відомим уже молекулярним складом, то можна зробити висновок, що на основі експериментальних даних грам-молекула першого тіла буде в 5 разів більша за число m , бо тільки збільшивши взятую порцію в 5 разів, матимем однакові підвищення, ц. т. невідома нам грам-молекула буде рівна $5m$.

Для кожного течива, в котрому розчиняються інші тіла, емпірично знаходиться «молекулярне пониження (зг. підвищення) температури», ц. т. на скільки ступнів понижується (зг. підвищується) температура, коли в 100 гр. певного диспергенту розчиняється грам-молекула будь-якого неелектролітичного тіла. Значіння величини цих «молекулярних підвищень» для різних диспергентів знайдені такі: для води — $5,2^{\circ}$, для спірту — $11,5^{\circ}$, для етеру — $21,2^{*}$.

«Молекулярні пониження» для різних диспергентів знайдено такі: для води — $18,4^{\circ}$, для оцтової кислоти — $39,0^{\circ}$, для бензола — $50,0^{\circ}$.

Означивши цю емпірично знайдену величину для кожного зокрема течива через A , вагу (в грамах) тіла, над котрими ведеться дослідження (dispersum) через g , температуру замерзання (зг. температуру вару) даного течива через t_1 , температуру замерзання (зг. температуру вару) розчину через t і вагу (в грамах) того обсягу даного течива (dispersgens), в якому розчинено досліджуване тіло, через G — молекулярну вагу M цього тіла при довільній концентрації розчину вчисляється на основі такої формули:

$$M = A \frac{g \cdot 100}{(t - t_1) \cdot G}$$

*) Беркенгейм. Осн. теорет. хим. Стр. 200, 202.

Знайдені Раулем емпіричні закони у відношенні до розчинів *Вант-Гоффа* зв'язав із законами, котрим підлягають ріжні тіла в стані газів і пари. До такої думки Вант-Гофф (1887 р.) прийшов, виучуючи явища т. зв. *осмотичного тиску*.

Загально відоме явище, що коли дві посудини, в котрих знаходяться два ріжні течива, з'єднати між собою, то через якийсь час в обох тих посудинах будуть вже знаходитися не чисті течива, а мішанина тих двох течив, при чому ця мішанина буде цілком однакова в обох посудинах (повна аналогія з газами). Молекули одного течива ступнево переходять із своєї посудини до другої і навпаки. Це є *диффузія* течив (і газів). Те саме явище буде і в тому разі, коли в одній посудині буде чисте якесь течиво, а в другій розчин певного тіла у цьому течеві: через якийсь час в обох посудинах буде розчин того тіла цілком однаковий, але вже менше концентрований.

Але може бути так, що чисте течиво й розчин розділені між собою перетинкою (напр., середина клітинки живого організму відділена від зокільних ріжних течив особливою оболонкою).

Тоді вже явище просочування набуває іншої форми і відбувається однобоко: тільки чисте течиво просочується через перетинку до посудини з розчином, а не навпаки. Це є явище *осмосу*. Через це й в середину живої клітинки із зовні і навпаки, із середини в зовнішнє оточення, через оболонку клітини вода просочуватись може, а розчинене в ній тіло (цукор, сіль, селітра) не може просочитись. Чи буде вода просочуватись у середину клітини чи із середини, — це залежить од осмотичної сили розчину, в який жива клітина попадає. При просочуванні водив середину клітини її внутрішній тиск збільшується, а її оболонка розтягується (явище *тургору*).

Подібні до цього явища стало можливим утворити штучно та докладніше їх виучити після того, як *Пфефферу* пощастило винайти штучні перетинки (із залізо-ціянової міді), котрі цілком так само, як оболонка живої клітини, перепускають воду і не перепускають розчиненого в ній тіла. Отже, коли відповідно приготовану череп'яну посудину, наповнену розчином, поставити в другу посудину з чистою водою, то вода почне просочуватись крізь перетинки в шпарах першої посудини в середину цієї посудини, а через це осмотичний тиск у ній буде збільшуватись. За допомогою прилаженого манометра можна зміряти цей тиск.

Дослідження явищ осмотичного тиску привели до встановлення таких законів: коли взяти розчин одного якогось неелектроліта, то

а) осмотичний тиск при постійній температурі прямо пропор-

ційний концентрації розчину (закон аналогічний до закону Бойля-Маріотта);

б) при постійному обсязі осмотичний тиск прямо пропорційний температурі і збільшується на $\frac{1}{273}$ своєї величини при підвищенні температури на 1°C . (закон аналогічний до закону Гей-Люссака).

Як що маємо розчини кількох неелектролітів, то

а) при однаковій концентрації (однакове число грамів) і при рівних обсягах розчинів осмотичний тиск зворотно-пропорційний до молекулярних вагів розчинених тіл;

б) еквімолекулярні розчини виявляють однаковий осмотичний тиск (аналогія з законом Авогадро-Жерара).

Отже в розчинах різні хемічні тіла є в стані дисперсії, аналогічним зі станом газів.

Аналогії між законами, котрим підлягають розчини слабої концентрації, і тими законами, яким підлягають розріджені гази, привели *Вант-Гоффа* до встановлення такого закону: в розчинах слабої концентрації хемічні тіла виявляють у формі осмотичного тиску такий самий тиск, який вони виявляли б у стані газів при тому самому обсязі і при тій самій температурі.

Нав'язуючи до закону Авогадро-Жерара, на основі що-йно сформулованих законів Вант-Гоффа можна зробити такий висновок: однакове число молекул в стані розчину і в стані газу виявляють однаковий тиск, коли вони займають однакові обсяги і знаходяться в однакових температурних умовах.

Грам-молекула всякого хемічного тіла в стані газу при 0°C . і одній атмосфері тиску (760 мм. ртутної колони) займає обсяг 22,4 літра. Стиснена до обсягу 1 літра грам-молекула при тій самій температурі буде мати 22,4 атмосфери тиску ($760 \text{ мм.} \times 22,4$), а значить стиснена до 100 кб. см. грам-молекула всякого тілу в стані газу має тиск рівний 224 атмосферам.

Так само й грам-молекула кожного неелектролітичного тіла, розчинена в 100 кб. см. диспергента, має осмотичний тиск, рівний 224 атмосферам.

Осмотичний тиск не так легко визначити шляхом безпосередніх змірювань його сили, але про силу його можна судити на основі спостережень підвищення температури вару й пониження температури замерзання розчинів у порівнянні з нормальною температурою вару і температурою замерзання чистого якогось диспергента. Ми вже бачили, що як осмотичний тиск, так і температура вару збільшуються (а температура замерзання понижується) в прямій пропорційній залежності від концентрації розчину і що еквімолекулярні розчини

спричиняють однаковий осмотичний тиск та однакове підвищення температури вару (і пониження температури замерзання) цих розчинів.

Не грає тут жадної ролі якість розчинених тіл (оскільки, звичайно, не береться електролітичних тіл), а виключно лише їх кількість, котра власне і являється детермінатором величини осмотичного тиску та зміни температур замерзання й вару розчинів.

Який же внутрішній зв'язок між обома категоріями явищ, характеристичних для різних ступнів концентрації розчинів?

Молекули всякого течива, подібно, як і молекули всякого газу, постійно рухаються; їх рух зростає в міру підвищення температури. Коли температура течива підвищиться до певного ступня (ріжного, але цілком точно означеного для кожного тіла в стані течива), то окремі його частки-молекули починають одриватись од його поверхні і в формі пари летять од нього геть. Кількість пари, яка утворюється з одиниці обсягу (1 кб. см.) в одиницю часу (1 сек.) являється *мірилом пружності пари*.

Кожне течиво вариться при такій температурі, при котрій пружність пари зрівнюється з тиском атмосфери.

Цілком очевидно, що в 1 кб. см. розчину буде менша кількість якого-будь диспергенту, ніж в 1 кб. см. того самого чистого розчинника (диспергенту). Напр. в 1 кб. см. водяного розчину цукру води буде менше, ніж в 1 кб. см. чистої води. Отже, коли нагрівається до певної температури розчин і чистий диспергент, то 1 кб. см. розчину в 1 сек. буде викидати кількість пари меншу за ту, яку викине за той самий час така сама кількість чистого диспергенту. Це зменшення викиненої кількості пари буде все зростати в міру збільшення концентрації розчину, ц. т. чим більша концентарція розчину, тим менша пружність його пари, а значить тим вищим буде той ступінь температури, при якому пружність пари розчину дорівнюється до атмосферного тиску.

Таким чином, по підвищенню точки вару розчину можна знати його концентрацію, а по концентрації визначити осмотичний тиск.

Так само до пізнання сили осмотичного тиску можна дійти на основі дослідження пониження точки замерзання.

Температурою топлення (і замерзання) є та температура, при котрій одночасно існують три фази даного тіла: тверда, течиво й пара. Напр., коли при 0°Ц. топиться лід, то одночасно є лід, вода й водяна пара, при чому встановлюється рівновага, так що пружність пари води й льоду будуть рівні. Коли береться замість води розчин, то пружність пари води, як ми бачили, зменшується, ц. т. став при 0°Ц. меншою за пружність пари льоду. Рівновага зрушиться і лід пере-

творюється цілком на воду. Щоб задержати фазу льоду, треба зменшити пружність пари льоду, ц.т. треба понизити температуру настільки, щоб знов прийшло до рівноваги між пружностями пари, води та льоду. Тоді будуть одночасно знов існувати три фази, як і при топленні чистого льоду, і рівновага в цілій цій системі трьох фаз відновлюється. Подібно до попереднього, чим більше концентрованим є розчин, тим більше треба понижувати температуру, щоб досягти рівноваги в тій системі. Отже і в цьому разі (при замерзанні розчину) із того, наскільки треба понизити температуру для переведення розчину в твердий стан, можна зробити висновок відносно концентрації його, а значить і відносно сили осмотичного тиску.

Теорія Вант-Гоффа характеризує *фізичний* напрям вияснення суті розчинів і тої характеристичної для розчинів прикмети, яка виявляється в формі осмотичного тиску. Згідно з цією теорією існує повна аналогія між розчиненим тілом і газом; ця аналогія наводить своє пояснення в однаковості причин. Молекули розчиненого тіла, як і молекули газу, мають певну кінетичну енергію, яка примушує їх постійно рухатись і рівномірно розміщатись в даному обсязі диспергента; рухаючись в різних напрямках, з різною швидкістю, молекули вдаряються о всякі перепони, котрі зустрічаються по шляху їх руху; вони вдаряються також і об стінки посудини чи площу манометру і цим спричиняють певний тиск на стінки посудини чи манометричну колонку ртуті. Це і є власне осмотичний тиск. По цій теорії молекули розчиненого тіла цілком вільні і з молекулами диспергента не сполучаються.

Інший напрям пояснення суті розчинів є *хемічний*, згідно з яким молекули розчиненого тіла творять з молекулами течива, в якому воно розчиняється, або певні постійні гідрати, по думці одних учених, або несталі, слабо між собою зв'язані комплекси молекул, по думці других. Ці *молекулярні комплекси* постійно розпадаються і знов утворюються, так що кожна молекула розчиненого тіла являється осередком, навкруги которого осідають молекули диспергента в несталій кількості, постійно міняючи місце свого осідку й перескакуючи з одної молекули розчиненого тіла на другу. Навпаки, *гідрати* або *сольвати* являються певними хемічними сполученнями молекул розчиненого тіла з молекулами диспергента, ц. т. утворюються так само, як і всі інші хемічні тіла по закону постійності складу і кратних пропорцій. В залежності від кількості диспергента до молекул розчиненого тіла приєднується більша чи менша кількість молекул того диспергента; через це в розчинах утворюються й існу-

ють одночасно гідрати й сольвати найрізноманітнішого, але все постійного складу.

Приймаючи за правдиву хемічну концепцію пояснення сути розчинів, чи то в формі першого, чи в формі другого її варіанта, і зробивши відповідні обчислення, приходять до тих самих висновків щодо пружности пари розчину, до яких приходять і на підставі фізичної теорії розчинів Вант-Гоффа.

«Обидва напрямки таким чином зовсім не протирічають один одному, а навпаки — один одного доповнюють»*).

Отже в формі кріоскопічного способу визначення молекулярної ваги хемічно-складних тіл фізико-хемічна наука придбала ще одну, в ряді інших, поважну методу дослідження внутрішньої будови матерії, бо ж по величині ваги молекули легко дійти до встановлення атомової ваги кожного зокрема елемента, із яких складається молекула досліджуваного хемічного тіла.

Змірювання осмотичного тиску розчину цукру, зроблені Пфєффером, цілковито відповідають тим обчисленням, які можна зробити на основі закону Вант-Гоффа. «Ця вражаюча однаковість вислідів могла б бути, розуміється, випадковою. Але Вант-Гофф усунув всякі можливі з цього приводу сумніви, довівши, що його закон з необхідністю впливає із різних уже давно відомих законів. Зокрема, як що правдивими є закони Рауля, то точним являється також і закон Вант-Гоффа (і навпаки)**).

Значіння кріоскопії не обмежується самою лише її ролю, як певної методи визначення молекулярної ваги де-яких хемічно-складних тіл (неелектролітів), котра не надається до визначення її іншими способами, уживаними в фізико-хемічній науці. Її теоретичне значіння полягає в тому, що в основі її лежить експериментально обґрунтована й доказана ідея ідентичности законів, яким підлягають тіла в стані газів і в стані дисперсної системи, власне в стані слабо концентрованих розчинів.

В цій ідентичності законів осмотичного тиску й пружности тіл в агрегатному стані газів чи пари криється ще один посередній експериментально-науковий доказ правдивості атомістично-молекулярної теорії структури матерії, на користь правдивості котрої прямих і безпосередніх доказів фізико-хемічна наука тим часом дати ще не могла.

Встановлення точної молекулярної ваги має часто рішаче значіння при вирахуванні молекулярної формули певного хеміч-

*) А. Беркенгейм. Осн. теорет. хим. Стр. 209.

**) Perrin. Atom. Стр. 36.

ного сполучення. Особливо це відноситься до органічних сполучень, серед яких є чимало таких, що складаються з однакової *проценто-вої* кількості тих самих хемічних елементів. Так, напр., ацетилен складається на 92,3% із вугля і на 7,7% із водня; така сама пропорція вугля та водня аналітично встановлена також і в бензолі. Однак відповідні дослідні показують, що молекулярна вага ацетилену рівна 26, ц. т. його дійсна емпірична формула є C_2H_2 ; молекулярна вага бензолу (або «триацетилену») три рази більша, ц. т. його емпірична формула є C_6H_6 . Так само молочна кислота, оцтова кислота і формальдегід мають цілком однаковий процентовий склад вугля, водня й кисня, але їх молекулярна вага різна: молек. вага молочної кислоти — 90, молекул. вага оцтової кислоти — 60 і молекул. вага формальдегіда — 30. Отже їхні емпіричні молекулярні формули відповідно будуть такі: $C_3H_6O_3$, $C_2H_4O_2$ і CH_2O .

Як серед органічних, так і серед неорганічних сполучень є такі, що не тільки мають однаковий процентовий склад тих самих хемічних елементів, але крім того, вони легко перетворюються одно на друге, при чому молекулярна вага одного такого сполучення буде два, три чи й більше разів більша за молекулярну вагу другого сполучення. Прикладом таких сполучень можуть служити згаданий уже ацетилен (C_2H_2), який при сильному нагріванні ніби конденсується та перетворюється на бензол (C_6H_6), або ізобутилен (C_4H_8), який перетворюється на діізобутилен (C_8H_{16}). Подібно до цього діоксид азоту (NO_2) при охолодженні перетворюється на тетроксид азоту (N_2O_4), який при нагріванні знов перетворюється на діоксид. Такі сполучення називаються *полімерними*, а саме це явище *Берцеліус* (1831 р.) назвав *полімерією*.

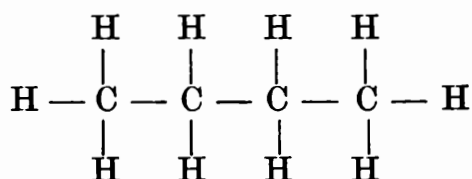
Є й такі хемічні сполучення, що мають однаковий процентовий склад і однакову молекулярну вагу, але все-ж таки характеризуються цілком різними фізичними й хемічними властивостями та прикметами. Це явище називається *ізомерією*.

Ізомерними сполученнями є, напр., нормальний бутан і триметилметан, інакше ізобутан (C_4H_{10}); або триметилбензол, метилетилбензол, пропілбензол та ізопропілбензол (C_9H_{12}) або етилалкоголь і метилетер (C_2H_6O) і т. д. Неоднаковість хемічних і фізичних властивостей ізомерів пояснюється тим, що атоми, які входять у склад молекули ізомерних хемічних сполучень, різним способом між собою зв'язані, або ріжно розміщені в простороні. «Субстанції ізомерні, у власному розумінні цього слова, які мають цілковито однакову молекулярну формулу, Берцеліус означив як *метамерні* сполучення в противність до полімерних; неоднакові властивості

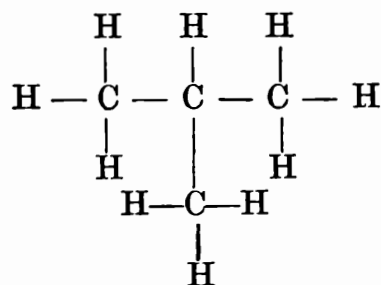
таких сполучень, на його думку, можна пояснити *різним зв'язанням та різним положенням атомів*, — або як тепер кажуть — *ріжною конституцією та ріжною конфігурацією молекул**)).

Основоположниками теорії про внутрішню будову молекулярних сполучень являються *Кекуле, Купер та Бутлеров*; із них останній вперше (1861 р.) впровадив до науки означення «структура молекули»**).

Згідно з цією теорією вугіль є 4-валентний елемент, при чому всі його валенції цілком ідентичні і рівномірно розложені в просторі (атом вугля міститься ніби в середині тетраедра, 4 валенції йдуть до кожного з 4-х кутів тетраедра). Кожен атом вугля може сполучатись як з атомом иншого якогось елемента, так і з другим вуглевим атомом, утворюючи ланцюги або кільця. З погляду цієї теорії двом ізомерним сполученням, які мають однакову *емпіричну формулу* C_4H_{10} , надаються різні *структурні формули*:

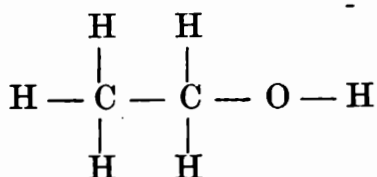


Нормальний бутан

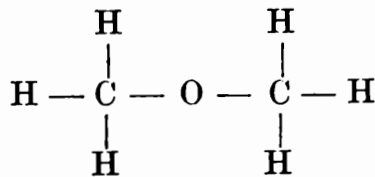


Ізобутан (триметилметан)

Два инших ізомери, які мають однакову емпіричну формулу C_2H_6O , знов таки мають різні структурні формули, в яких показано, як кисень (O) зв'язаний з вуглем в кожному із цих сполучень; власне в етилалкоголі він зв'язаний з одним атомом вугля і одним атомом водня, а в метилетері — з двома атомами вугля.



етилалкоголь

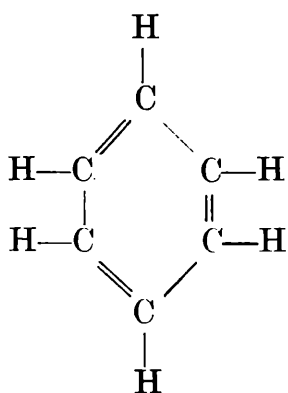


метилетер

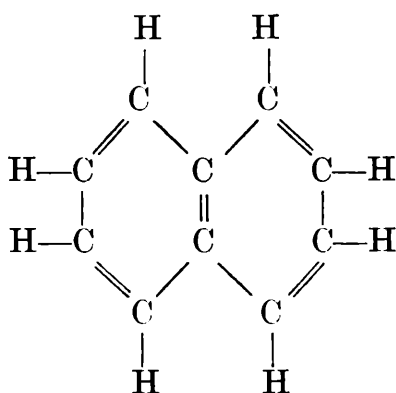
*) Dr. F. Krafft. Organische Chemie. Стр. 39 (1901).

**) Слово «структура» може викликати помилкову думку, ніби-то Бутлеров хотів цим означити конфігурацію, ц. т. положення атомів у просторі. В дійсності він уживав цього слова в розумінні певної «конституції», ц. т. певного способу зв'язання між собою атомів, які утворюють молекулу. Так його й тепер розуміють.

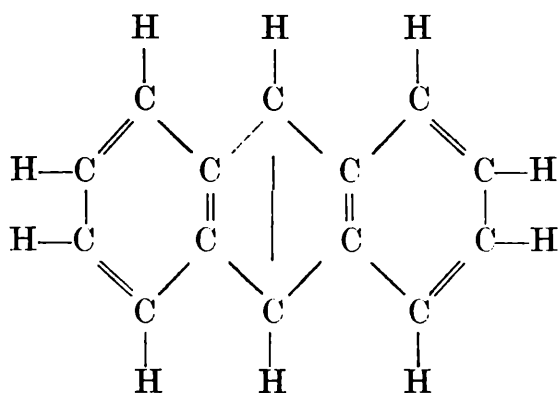
Як уже згадано, атоми вугля можуть утворювати не тільки ланцюги з різними розгалуженнями, але можуть в'язатись також і до кола, утворюючи вуглеве кільце одно або й більше. Зразками такої структури можуть служити структура бензолу, нафталіну й антрацену:



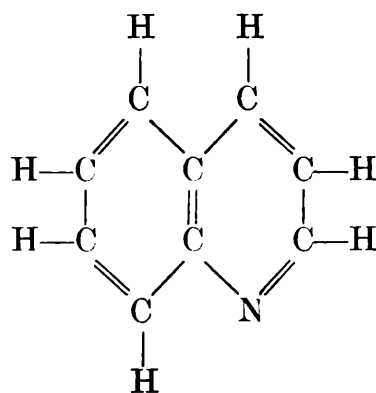
бензол



нафталін



антрацен



хинолін

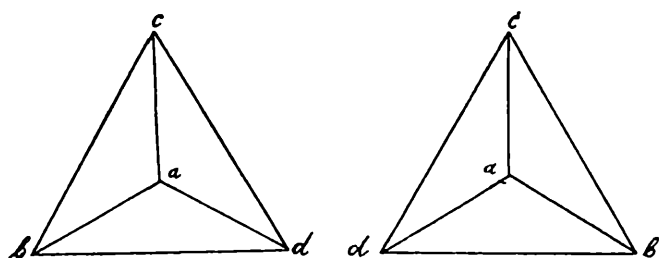
Помимо того, подібні кільця можуть утворитись також в'язанням до кола вуглевих атомів та атомів інших елементів. Це є т. зв. *гетероциклічні* сполучення; напр., хинолін, у якого одно кільце складається з вуглевих атомів, а друге з углевих і азотового. Взагалі наука про структуру молекулярного комплексу незвичайно обширна і складна.

Ми тут згадаємо ще тільки про явище т. зв. *оптичної ізомерії*. При досліджуванні структури органічних сполучень було встановлено, що існують такі сполучення, які мають однакову молекулярну вагу, однакову емпіричну формулу, однакову навіть хемічну структуру, але все-ж таки ці сполучення в деяких своїх властивостях не є однаковими. Це в першу чергу відноситься до оптичної діяльності таких сполучень. Сконстатовано, що два якихось сполучення

можуть різнитись між собою тільки тим, що одно з них має здатність повертати площину поляризації вліво, а друге повертає її вправо. Напр., є дві молочних і дві винних кислоти, які різняються тільки противною оптичною діяльністю і більше нічим.

Оптичну ізомерію пояснюють тим, що два таких сполучення є *стерео-ізомерами*, ц. т. молекули їх побудовані так, що окремі атоми не ідентично розміщені в простороні. Коли уявити собі, що вуглевий атом знаходиться в центрі тетраедру, а його 4 афінітети направлені до 4 кутів такого тетраедру, то структуру двох оптичних ізомерів можна уявити собі так, як показано на оцій схемі:

Схема енантіоморфних кристалів:



Тут під літерами *a*, *b*, *c*, і *d* можна розуміти як окремі атоми хемічних елементів, так і атомові скупчення елементів.

Отже із цієї схеми видно, що при всій подібності двох молекулярних структур, вони все-ж таки не є ідентичними, бо різняються між собою так, як різняються рукавиця з правої руки від рукавиці з лівої руки, або інакше: структури ці являються дзеркальним образом одна другої; вони є *енантіоморфні*.

Ми не будемо тут займатися детальним розглядом і характеристикою різних встановлених уже типів молекулярної структури органічних сполучень. Дослідження в цьому напрямі є предметом спеціальної обширної галузи науки.

Висвітлення справжньої структури молекулярного комплексу має величезне значіння для розуміння багатьох фізико-хемічних явищ і характеристичних особливостей певних сполучень.

«Структурна теорія сталася для хемії дуже важною: вона встигла не лише висвітлити знані ізомери, але навіть передвиджує існування нових ізомерних злук, дотепер ще незнаних, і рівночасно вказує на спосіб, яким можливо виробити їх штучно. Незвичайно великі успіхи органічної хемії в другій половині мин. віку були можливі передусім завдяки цій теорії»*).

До цього часу при всякого рода обчисленнях ми все виходили

*) Проф. др. І. Горбачевський. Органічна хемія. Ст. 13. (Прага, 1924).

від водня, беручи певну його кількість або обсяг за одиницю міри. Через це всі ці обчислення носять характер цілковитої релятивності і не можуть показувати нічого іншого, як тільки те, що напр., атом кисня в 16 разів тяжчий за атом водня, а молекула амоняку в 17 разів тяжче за атом водня. Однак ці числа зовсім не показують, яка ж є в дійсності вага атому кисня або молекули амоняку, бо ми не знаємо, скільки грамів (власне яку частину грама) важить сам атом водня.

Зміряним (у простороні, по вазі, чи в часі) уважається щось тоді, коли відповідні дані про це буде означено в одиницях т. зв. абсолютної системи міри, ц. т. в сантиметрах, грамах і секундах (C, G, S).

Виникає питання, чи є взагалі якась підстава думати про те, щоб можна було зробити подібні обчислення, коли об'єктом такого досліду є атом, ц. т. така безмірно-дрібна часточка матерії, яку не можна побачити за допомогою найсильнішого оптичного інструменту і не можна зважити на найбільш точній вазі.

Коли нема можливости визначити обсяг і вагу атома шляхом безпосередніх змірювань, то до цього треба підходити з методами посереднього обчислення цих величин.

Ми вже знаємо, що лише де-які хемічні елементи мають одно-атомову молекулу, так що для цих елементів поняття «атом» і «молекула» являються цілком ідентичними поняттями. А подавляюча більшість хемічних елементів мають молекули складені із кількох окремих атомів.

Отже визначити обсяг чи вагу атома того чи іншого елементу (за винятком тих, що мають одно-атомову молекулу) не можна, не обчисливши попередю обсягу чи ваги молекули. Але ж і ця остання є такою малесенькою часткою тіла, що й її можна обчислити хіба тільки за допомогою посередніх метод.

Одна з таких посередніх метод базується на принципах, положених в основу *кінетичної теорії газів*, розвиненої (в 1850-х рр.) *Клаузіусом*.

Суть цієї теорії полягає в слідуючім: густота якогось тіла є ріжною в залежності від агрегатного його стану. Це повстає з того, що окремі молекули цього тіла, коли воно є в твердому стані, щільно прилягають одна до одної і більш-менш компактно заповнюють певний обсяг простороні. Коли тіло переходить у слідуючу фазу та перетворюється на течиво, то молекули його вже не так щільно прилягають одна до одної й не так уже компактно заповнюють просторинь. Значить, в одиниці обсягу (1 кб. см.) буде більше число молекул, коли тіло є в твердому стані, і менше буде число тих са-

мих молекул, коли вони трохи розійдуться одна від одної, а тіло перейде в стан течива. Через це й питома вага тіла в ріжних його станах мусить бути ріжною, а власне, в твердому стані більшою, а в стані течива меншою.

Ще меншою буде ця густота й питома вага тіла тоді, коли воно перейде в стан пари чи газу, бо в цьому стані окремі молекули тіла настільки віддаляються одна від одної, що в одиниці обсягу число їх буде вже значно меншим у порівнянні з числом молекул в тому самому обсязі твердого тіла. Згадаймо, що 1 грам-молекула тіла в стані газу чи пари займає обсяг 22.400 куб. см., в той час як у твердому стані 1 грам-молекула того-ж самого тіла займає всього лише кілька кб. см. (напр. вода — всього коло 18 кб. см.).

Тверде тіло має певну зовнішню форму. Збереження твердим тілом певної конфігурації являється наслідком незмінного розпологу складових його частин одної відносно другої. Як що під впливом якихсь зовнішніх сил цей розполог часток до де-якої міри змінюється, то він знов одновлюється, коли перестають діяти ці зовнішні сили. Молекула твердого тіла більш-менш міцно звязана з іншими сусідніми молекулами; але цей звязок не виключає того, що кожна молекула твердого тіла рухається відносно інших, не відриваючись, однак, од них. Єдиною можливою формою такого відносного руху є колихання молекул коло постійного стану рівноваги.

Думку про те, що молекули всякого фізичного тіла не є в стані покою, але постійно рухаються, уперше висловив французький учений *Данієль Бернуїлі* (1738 р.).

Про внутрішній молекулярний рух течива свідчить уже те, що течива не зберігають якоїсь постійної форми, приймаючи форму посудини, в якій містяться. Однак на рух кожної окремої молекули течива інтенсивно впливають сусідні молекули. Але постійного звязку між молекулами течива нема, так що окремі молекули то зближуються одна до одної, то знов оддаляються, рухаючись по цілому обсягу, який займає течиво. В цьому відношенні безладний рух молекул течива виказує аналогію з таким самим молекулярним рухом тіла в стані пари чи газу.

Молекули газу в порівнянні з їх величиною віддалені одна від одної настільки, що притягання, яке існує між ними в твердому стані тіла і в стані течива, наближується до нулевого значіння, бо сили, котрі діють між ними, зменшуються в міру збільшення віддалі між окремими молекулами тіла.

Згідно з кінетичною теорією, молекули газу не є в стані спокою, а без перерви рухаються. А що ці молекули знаходяться одна

від одної на так великій дистанції (відносно їх величини), що взаємне притягання між ними зникає, то вони рухаються простолінійно й рівномірно. Однак в невеликому обсязі молекул так багато, що вони обов'язково зустрічаються між собою, зударюються, відскакують одна від одної, як біліярдні кулі, знов рухаються по простій лінії, знов зударюються з іншими, відскакують і т. д. Те саме буде, коли молекула дістається до стінки посудини. Таким чином кожна молекула рухається не все в тому самому напрямку, а постійно його змінює, роблячи кривульки (зигзаги), довжина коліна яких залежить від того, як скоро певна молекула по шляху свого лету зустріне якусь другу. Але в межичасі між двома зудареннями молекула рухається все по простій лінії.

З цього погляду можна пояснити всі особливості газів. Тиск газу на стінки посудини є наслідком колосально великого числа ударів молекул, котрі долітають до стінки. Отже, чим більше буде молекул в даному обсязі газу, тим більший буде й тиск газу. Густота газу (ц. б. кількість його молекул в 1 кб. см.) зворотно пропорційна до його обсягу; отже й тиск газу мусить зростати в такому самому пропорційному відношенні, ц. т. він мусить зростати в міру зменшення обсягу газу.

Швидкість, з якою рухаються молекули, не є все однаковою і та сама молекула в різний час рухається з різною швидкістю в залежності від того, з якою силою вона вдариться о другу молекулу чи о стінку посудини та відлетить від них в інший бік.

Однак пересічне значіння для всіх одночасно існуючих швидкостей — *пересічну швидкість* — всіх молекул газу при певному температурному стані можна знайти, бо сумарна сила ударів молекул у даному обсязі, ц. т. величина тиску, залежить не тільки від маси молекул, але й від пересічної їх швидкості. Змірюючи тиски, вичисляють і пересічну швидкість молекул, котра є характеристичною для кожного газу, при чому вона оказується більшою у легких газів і меншою у газів тяжких. Коли означити пересічну швидкість через u , тиск газу через p , число молекул через N і масу молекули через m , то пересічна швидкість відповідає такій формулі:

$$p = \frac{1}{3} N \cdot m \cdot u^2$$

Пересічна швидкість газових молекул надзвичайно велика і міряється кількомастами метрів на 1 сек. Так напр., при 0°C. і 760 мм. атмосферного тиску вона має такі значіння: двоокис вугля — 362 м/сек, повітря — 447 м/сек., водень — 1692 м/сек*).

Пересічна швидкість не залежить од тиску, але вона збіль-

*) R. Schmid. Das Atom. Стр. 10.

шується, при постійному обсягові, пропорційно до абсолютної температури. Отже пропорційно до тієї-ж температури зростає також і кінетична енергія $\left(\frac{mu^2}{2}\right)$ ц. т. «пересічна кінетична енергія все зростаючого руху є пропорційною до абсолютної температури і, навпаки, пересічна кінетична енергія газу являється мірою температури»*).

В умовах теплової рівноваги між різними газовими тілами швидкості різних молекул зворотно-пропорційні до квадр. коріня з їх мас. Через те, що в однакових обсягах газів число їх молекул (N) однакове, можна написати таке рівняння:

$$mu^2 = m_1 u_1^2, \text{ звідки } \frac{u}{u_1} = \sqrt{\frac{m_1}{m}}$$

Що-до тих самих молекул, то в однакових температурних умовах їх швидкість пересічно зостається все однаковою, як в стані газу, так і в стані течива. Таким чином, напр., молекули води (течива) і водяної пари, яка над нею утворюється, мають однакову пересічну швидкість.

Як вже було сказано, шлях кожної молекули іде зигзагом; довжина кожного коліна цього зигзага є різна. Але й тут, як раніш було це відносно швидкостей, можна обрахувати *пересічну довжину* всіх шляхів.

Пересічна довжина шляхів означає характеристичну для кожного газу теплопровідність. Відомо, що коли певний обсяг газу має в різних своїх частинах різню температуру, то через якийсь час температура в усіх частинах даного обсягу цілком вирівнюється.

З погляду кінетичної теорії це пояснюється тим, що молекули газу мають більшу швидкість у теплішій частині, ц. т. вони мають тут більшу живу силу, більшу кінетичну енергію, ніж у частині холоднішій. Через це із частини теплішої більш енергійні молекули переходять у холоднішу, звідки навпаки — менш енергійні молекули витискуються в теплішу частину. Таким чином жива сила зрівноважується в обох тих частинах даного газу, і температура в них вирівнюється.

Цей процес вирівнювання температури відбувається тим швидче, чим більша пересічна довжина шляхів молекули (при постійній швидкості), бо тим глибше тепліші молекули проникають в холодну частину. Через те, змірюючи теплопровідність (і тертя газів), обчислюють пересічну довжину їх шляху, яка вичислена напр., для

*) Werner Nernst. Theoretische Chemie. Стр. 203 (1909).

водня — 0,000185 мм., для метану — 0,000085 мм., для двоокису вугля — 0,000098 мм., амоняку — 0,000074 мм.*).

Отже ця пересічна довжина є настільки незначна, що молекула, хоч і рухається, але залишається майже на одному місці.

Вона залежить од густоти газу, а значить і від його тиску: що рідчий газ, то довший пересічний шлях молекули, бо тоді вони більше віддалені одна від одної і можуть вільніше рухатись.

Маючи ці дані про пересічну швидкість і про пересічну довжину шляху молекул, можна поставити питання про те, скільки є молекул в одиниці обсягу (1 кб. см.) газу при нормальному тискові (760 мм.).

Коли уявити собі кожну молекулу в формі кулі, то обсяг такої кулі можна вичислити, знаючи її луч (r) по формулі: $v = \frac{4}{3}\pi r^3$.

Сума всіх цих окремих молекулярних обсягів всіх молекул, які містяться в 1 кб. см. газу, є приблизно рівною тому обсягові, який займає 1 кб. см. газу при перетворенні його в інший агрегатний стан (течива або твердого тіла), бо, як ми знаємо, молекули тіла в стані течива чи твердому його стані більш-менш компактно наповнюють даний обсяг. Правда, сума обсягів усіх молекул в даному обсязі газу не буде цілком рівною обсягові тої самої маси газу, переведеного в стан течива чи твердий, бо молекули течива не абсолютно компактно наповнюють ту частину простороні, яку воно займає; крім того, обсяг течива в дійсності є трохи більший за обсяг тої самої маси тіла в твердому агрегатному стані. Але в кожному разі ці дві величини (обсяг течива і сумарний обсяг молекули) є дуже близькі одна до одної.

Молекули газу постійно рухаються і відлітають одна від одної на різні дистанції. Однак можна собі уявити, що в певний момент всі молекули газу цілком рівномірно розподілені по всьому простору, який займає цей газ; це значить, що кожна окрема молекула однаково віддалена від усіх сусідніх з нею молекул. Зафіксувавши цей момент, ми можемо сказати, що дистанція між сусідніми молекулами є не що інше, як пересічна довжина шляху молекул L . Тоді центр одної молекули від поверхні другої молекули буде на віддалі $L+r$, де r є луч молекули.

Стиснувши газ настільки, щоб він перейшов у стан течива, ми зблизимо сусідні молекули так, що їх поверхні торкатимуться одна до одної, ц. т. від центру одної молекули до поверхні другої буде дистанція рівна лучу молекули.

*) Там же. Стор. 209.

Із всього цього випливає, що відношення між величиною луча молекули (r) і довжиною пересічного шляху молекул + луч молекули ($L+r$) буде приблизно рівним відношенню між обсягом певної маси тіла в стані течива (v) та її обсягом в стані газу (V): $\frac{r}{L+r} = \frac{v}{V}$.

Але обсяги тіла зворотно-пропорційні до його густоти. Означивши густоту тіла (питому вагу його) в стані газу через d і в стані течива через D , будемо мати таке рівняння відношень: $\frac{v}{V} = \frac{d}{D}$;

значить $\frac{r}{L+r} = \frac{d}{D} = K$.

Відношення $\frac{d}{D}$ є коефіцієнт згущення (K), величина котрого встановлюється емпірично для кожного тіла. Так питома вага (ц. т. густота) кисня в стані газу (при норм. тиску і 0°Ц.) є 0,001429, а в стані газу (при норм. тиску і -184°Ц.) є 1,124; питома вага азоту в стані газу — 0,00125, а в стані течива (при -194°Ц.) — 0,885.

Звідси вичисляєм: для кисня $K = \frac{0,001429}{1,124} = 0,0012$; для азота $K = \frac{0,00125}{0,885} = 0,0014$. Із рівняння $\frac{r}{L} = \frac{K}{1-K}$ можна вчислити r , коли відомо значіння величини L .

За допомогою цієї методи були вчислені лучі молекул різних елементів. Величини ці при точнішому обчисленні оказались такими:

ТАБЛИЦЯ III*).

Назва елементу чи сполучення	Луч молекули	Назва елементу чи сполучення	Луч молекули
Водень	$2,56 \cdot 10^{-8}$ см.	*Аргон	$3,41 \cdot 10^{-8}$ см.
*Гелій	$2,20 \cdot 10^{-8}$ см.	Хлор	$5,04 \cdot 10^{-8}$ см.
Азот	$3,51 \cdot 10^{-8}$ см.	*Ртуть	$5,86 \cdot 10^{-8}$ см.
Кисень	$3,38 \cdot 10^{-8}$ см.	Етер	$7,30 \cdot 10^{-8}$ см.

Для одноатомових (*) молекул ці величини будуть також і величинами лучів їх атомів; але в двоатомових молекулах луч атома повинен бути меншим за луч молекули. Внаслідок всіх цих обчислень можна сказати, що *луч атома* (коли уявляти його в формі кулі) є *величина порядку* 10^{-8} см., ц. т. він може бути кілька разів більший або менший за $\frac{1}{100.000.000}$ см.

Було б помилкою уявляти собі молекулу, як малесеньку мате-

*) Grätz. Atomtheorie.

ріяльну кульку, котра, займаючи певний обсяг, не допускає иншу таку саму матеріяльну кульку зайняти ту саму просторінь, яку в даний момент вона сама займає. Коли мова йде про «діаметр» молекули, то мають на увазі найменшу віддаль між центрами двох сусідніх систем, якими являються ті складові частки матеріяльних тіл, що ми їх називаємо молекулами. Ці, як ми побачимо далі, доволі складні системи-молекули притягаються взаємно все з більшою силою в міру того, як вони наближаються одна до одної. Але на певній близькій віддалі двох сусідніх молекул поруч із силою притягання виникає поміж ними протилежна сила взаємного відштовхування. В наслідок цих двох противно діючих сил встановлюється нарешті рівновага, так що одна молекула не може наблизитись до другої ближче певної межі, бо ця відштовхне її від себе. Цей стан відповідає тій найменшій віддалі між центрами двох сусідніх молекул, яку вважається за діаметр молекули. Отже ця величина має сенс скорше динамічний, ніж геометричний. «Як що в дійсності молекула й не є точка, то в кожному разі вона може не мати нічого спільного з суцільною матеріяльною кулькою певного діаметру. Розглядаючи молекулу як такого роду кульку, ми вводимо геометричну фікцію, яка відповідає, однак, певній динамічній реальності»*).

Знаючи луч молекули, можна вичислити її розмір, а також число молекул газу, що містяться в 1 кб. см. Це число називається числом Лошмідта. Воно вичисляється по таких міркуваннях: кожна молекула, рухаючись, займає певну просторінь; ця просторінь є циліндричної форми з висотою, рівною пересічній довжині шляху, і лучем, рівним лучу молекули; в кожному такому циліндрі може міститись лише одна молекула; скільки буде в 1 кб. см. таких циліндрів, стільки міститься там молекул. Обчислення показують, що при нормальному тиску і 0°C. це число рівне $27,1 \cdot 10^{18}$. Згідно з законом Авогадро це число є однаковим для всіх газів при нормальному тиску і 0°C., ц. т. в 1 кб. см. при цих умовах міститься $27.100.000.000.000.000.000$ молекул кожного газу. Значить кожна

молекула займає просторінь, рівну $\frac{1}{27,1 \cdot 10^{18}}$ кб. см., або такий ку-

бик, ребро котрого рівне $\frac{1}{3 \cdot 10^6}$ см., инакше $0,33 \cdot 10^{-6}$ см. Віддаль

одної молекули від другої є приблизно 3—4 мільйонових частини міліметра; вона є в 10—30 разів більшою за луч молекули.

Як ми знаємо, грам-молекула кожного газу займає обсяг 22,4

*) Я. И. Френкель. Строение материи. Ч. 1. (Расчленение материи). Стор. 9. (1923).

літра (точніше 22378 кб. см.). Значить одна грам-молекула кожного газу при нормальних умовах містить в собі $27,1 \cdot 10^{18} \times 22378 = 60,6 \cdot 10^{22}$ молекул. Це число називається *Авоґадрове число*.

Знаючи це число, не трудно вичислити масу одної молекули водня, а значить і кожної іншої молекули. Як що грам-молекула водня важить 2 гр., то одна молекула його важить $\frac{2}{60,6 \cdot 10^{22}}$ або $3,30 \cdot 10^{-24}$ гр. Молекула кисня важить в 16 разів більше, азоту — в 14 разів більше і т. д. Атом водня важить у два рази менше, ц. т. $1,65 \cdot 10^{-24}$ гр. (Обчислення Перрена, зроблені на основі його методи, дають близьку до цього величину $1,47 \cdot 10^{-24}$ гр.).

Все це є величини такого порядку, що уявити їх собі надзвичайно трудно, а навіть неможливо. Приближне уявлення про них ми можемо собі скласти, коли зробимо порівняння з якоюсь більш приступною для нашого зрозуміння величиною. Наприклад: коли-б ми взяли за одиницю міри 10 кілометрів, то луч атома був би рівний 1 мм. З другого боку, вага атома водня відноситься до 1 гр. так само, як 1 кгр. відноситься до ваги цілої земної кулі. Що-до обсягу, то про нього можна собі скласти уявлення із такого порівняння: якби на кульку дробу (шроту) насадити атом, то він виглядав би на цій кульці дробу так, як виглядав морський буй на земній кулі.

Але кожна із цих безмірно-маленьких часточок матерії, як уже було згадано на початку, не є чимсь одноцілим і однородним, а навпаки — являється внутрі себе складним механізмом, побудованим на взір соняшної системи в мініатюрному вигляді.

Що це є іменно так, доказом тому можуть бути де-які оптичні явища. Спектр окремих хемічних елементів характеризується цілком певним числом різних, але для кожного газу постійних ліній певних барв: водень дає 4 ясні лінії (червону, зелену, синю й фіолетову), а при певних умовах навіть 5, гелій — 7, інші гази ще більше число, а в спектрі пари заліза спостережено понад 5000 ліній. Через те, що світло різних барв характеризується певним числом колихань в секунду, то доводиться зробити висновок, що у внутрішній будові кожного атома газу заложена причина різного числа колихань в секунду, котре й дає в результаті оптичне явище *перерваного спектру*. А коли так, то значить атом не є суцільною масою матерії, а складений він, очевидно, із ще більше дрібних часточок, які своїм рухом спричиняють хвилястий рух світла різних, але цілком певних барв.

Перед тим, як перейти до ознайомлення з природою цих складових часточок атома та їх ролі в системі внутрішньої будови атома, нам ще треба познайомитись з класифікаційною системою хемічних еле-

ментів, в котрій знайшла свій вираз ідея про залежність якостей даного елементу від його атомової ваги та його місця в тій системі, ц.т. ідея про те, що якості хемічних елементів являються функціями їх атомових вагів.

IV.

Класифікацію тих чи інших фактів чи феноменів не можна вважати задовольняючою, коли вона переведена на підставі самих лише зовнішнь-формальних прикмет тих фактів і феноменів і не дає виразу внутрішнього органічного звязку їх між собою. Класифікаційна система, побудована на основі використання, для усталення певних груп, самих лише зовнішніх прикмет та особливостей, з'являється звичайно на початку спроб внести якусь систему в ту масу фактичного матеріалу, яким на певній стадії розвитку розпоряджає та чи інша галузь науки. Але згодом такого роду систематизація визнається невиспачальною, і на зміну їй появляються все нові, аж поки нарешті висувається така система, в котрій знаходить уже своє виявлення принцип звязку зовнішніх проявів та прикмет цих фактів чи феноменів з їх внутрішньою суттю.

Ці фази розвитку перейшла також і класифікація хемічних елементів. Насамперед всі елементи, що мають подібні де-які прикмети, поділені були на дві категорії: метали й металоїди. З часів *Берцеліуса* (1811 р.) цей поділ зберігся майже без змін аж до тепер. Головними прикметами, на основі яких зроблено цей поділ, були такі: метали не сполучаються з воднем; дають тривкі основного характеру сполучення з киснем; реагують з кислотами, утворюючи солі відповідних кислот; в гідратах їх водень не заміщається на метал. Із фізичних прикмет металів головніші такі: вони всі переважно тверді тіла; в твердому стані і в стані течива непрозорі; мають особливий «металевий» блиск; добре проводять тепло й електричність; при електролізі осідають на катоді (електропозитивні).

Натомісць металоїди характеризуються тим, що з воднем дають тривкі сполучення; з киснем (за винятком флюора і «благородних» газів) дають сполучення кислотного характеру, які з водою утворюють кислоти; водень кисневих сполучень металоїдів заміщається на метал в утворенням соли певної кислоти. Фізичні прикмети їх протилежні прикметам металів: вони не мають блиску, тепло і електричність проводять слабо, виділяються на аноді (електронегативні).

Однак прикмети, котрі служать для поділу елементів на метали й металоїди, в цілком релятивні й умовні, так що, користуючись ними,

де-котрі елементи (напр. цину, антимон і олово) можна одночасно уважати і за метали і за металоїди. Цей поділ не задовольнив учених, і вони пішли далі в своєму шуканні основ для усталення класифікаційної системи. З дальшим розвитком хемічної науки звернено було увагу на зв'язок між певними якостями елементів і числами, котрі означали їх атомову вагу; це й було використано для цілей систематизації хемічних елементів.

На початку минулого віку *Деберайнер* (1829 р.) зауважив, що в певні групи елементів, серед яких один елемент має атомову вагу, середню між атомовими вагами двох других. Наприклад: літій — 6,94, натрій — 23, калій — 39,10; атомова вага натрія майже рівна середньому арифметичному атомових вагів літія і калія; $\frac{6,94+39,10}{2} = 23,02$; сірка — 32,06, селен — 79,2, телур — 127,5; середнє арифметичне $\frac{32,06+127,5}{2} = 79,78$ — близьке до атомової ваги селена. *Деберайнер* установив кілька таких трійок, які він назвав *тріадами*.

Трохи пізніше *Дюма* розділив елементи на 6 груп; ця групування, що в своїй основі збереглась аж до тепер, була така: I група — водень; II група — флюор, хлор, бром, йод; III група — кисень, сірка й селен; IV група — азот, фосфор і арсен; V група — вугіль і силіцій; і VI група — бор.

На початку другої половини минулого віку опублікували свої роботи по класифікації хемічних елементів *де-Шанкуртуа* (1862 р.) і *Нюлендс* (1864 р.), в яких уже були цілком ясно висловлені думки про зв'язок властивостей елементів з їх атомовою вагою та про періодичність їх. Було вже спостережено, що кожний восьмий член ряду елементів, розміщених за їх атомовою вагою, нагадує собою перший. Цю періодичність *Нюлендс* назвав «законом октав».

Остаточно завершену й точну формуловку ідея про функціональну залежність хемічних (а почасти й фізичних) властивостей елементів від їх атомових вагів знайшла в працях *Л. Майера*, але головним чином розвинув та обґрунтував її *Д. І. Менделєєв* (1869 р.).

За основу класифікації *Менделєєв* узяв атомову вагу, як найбільш важливу й постійну прикмету елементів. У своїй, вже згадуваній, капітальній праці «Основы химии» він говорить: «... елементи мають одну прикмету, котру можна точно вміряти й котра жадному сумніву не підлягає, — це атомова вага. Величина її вказує на релятивну масу атома... Згідно-ж з усіма нашими фізико-хемічними відомостями маса матерії є тією саме її властивістю, від котрої залежать всі інші властивості матерії... Через це найбільш природним

є шукати залежність між властивостями подібних елементів з одного боку, та їх атомовими вагами з другого боку.

Така є основна думка, що спонукала упорядкувати всі елементи по величині їх атомової ваги»*)).

Коли-ж зробити такий розполог хемічних елементів, то зразу виступав наяво *періодичне повторювання властивостей*, котре й на-ходить свій вияв у *законі періодичности*, зформулованім так: «вла-стивості простих тіл, а також форми й властивості сполучень елемен-тів, знаходяться в періодичній залежності (або, висловлючись ал-



Д. І. Менделєєв (1834—1907).

гебраїчно, творять періодичну функцію) від величини атомових вагів елементів»**).

Згідно з цими принципами укладена була Менделєєвим *періодич-на система елементів*, яка прийнята тепер у хемічній науці. Ми тут наводим її (у формі таблиці) з де-якими змінами супроти того вигляду, який вона мала первісно, через те, що пізніше до восьми груп додана була ще дев'ята (0), в котру вміщено (1901 р.) відкриті пізніше «бла-городні гази». Крім того, перед символом кожного елементу поставле-но порядкове його число; під символом стоїть атомова вага елементів; товстою лінією обведені елементи рідких земель, місця яких у пе-ріодичній системі точно ще не встановлені; рисками означені місця (43, 61, 75, 85 і 87) ще не відкритих елементів***).

*) Мендел'євѣ. Осн. хим. Стор. 459.

**) Там же. Стор. 459.

***)) В час друкування книжки опубліковано відомості (див. Die Naturwissen-schaften. 1925, Heft 26) про відкриття невідомих раніше двох хемічних елемен-

Г р у п п и х е м і ч н и х е л е м е н т і в

	0	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b			
1.H 1,008	2.He 4,00	3.Li 6,94		4.Be 9,1		5.B 11,0		6.C 12,0		7.N 14,01		8.O 16,00		9.F 19,0				
	10.Ne 20,2	11.Na 23,0		12.Mg 24,32		13.Al 27,1		14.Si 28,3		15.P 31,04		16.S 32,06		17.Cl 35,46				
	18.A 39,88	19.K 39,10		20.Ca 40,07		21.Sc 45,1		22.Ti 48,1		23.V 51,0		24.Cr 52,0		25.Mn 54,93		26.Fe, 55,84	27.Co 58,97	28.Ni 58,68
		29.Cu 63,57		30.Zn 65,37		31.Ga 69,9		32.Ge 72,5		33.As 74,96		34.Se 79,2		35.Br 79,92				
	36.Kr 82,92	37.Rb 85,45		38.Sr 87,63		39.Y 88,7		40.Zr 90,6		41.Nb 93,5		42.Mo 96,0		43.— —		44.Ru 101,7	45.Rh 102,9	46.Pd 106,7
		47.Ag 107,88		48.Cd 112,4		49.In 114,8		50.Sn 118,7		51.Sb 120,2		52.Te 127,5		53.J 126,92				
	54.X 130,2	55.Cs 132,81		56.Ba 137,37		57.La 139,0		58.Ce 140,25	59.Pr 140,9	60.Nd 144,3	61.— —	62.Sm 150,4	63.Eu 152,0	64.Gd 157,3	65.Tb 159,2			
	66.Dy 162,5	67.Ho 163,5	68.Er 167,7	69.Tu 168,5	70.Yb 173,5	71.Lu 175,0		72.Hf 178,6		73.Ta 181,5		74.W 184,0		75.— —		76.Os 190,0	77.Ir 193,1	78.Pt 195,2
		79.Au 197,2		80.Hg 200,6		81.Tl 204,0		82.Pb 207,10		83.Bi 208,0		84.Po 210,0		85.— —				
	86.Em 222,0	87.— —		88.Ra 225,97		89.Ac (226)		90.Th 232,4		91.Pa (230)		92.U 238,2						
	R	R ₂ O		RO		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₅		RO ₃		R ₂ O ₇		RO ₄		
	—	(RH)		(RH ₂)		(RH ₃)		RH ₄		RH ₃		RH ₂		RH				

Таким чином, крім водня, який займав в періодичній системі елементів окреме місце, і хемічно недіяльних т. зв. «благородних» газів, всі інші елементи зібрані у восьми вертикально поставлених групах (I—VIII).

Не вдаючись у детальну характеристику періодичної системи елементів, зазначимо лише, що такою групуванням їх досягнуто те, що всі хемічні елементи, зібрані по окремих групах, творять, так би мовити, природні семейства елементів; кожний член семейства виявляє однакові з другими членами того самого семейства характеристичні в хемічному відношенні властивості. Менделєєв виразно вказує, що періодичний закон відноситься до хемічних елементів, а не до простих тіл, бо елемент характеризується атомовою вагою, а тіло (просте чи складне) характеризується молекулярною вагою. Через це, коли вважали властивості залежать од атомової ваги, то цілком природно й зрозуміло, що вони повинні бути в першу чергу характеру хемічного, а не фізичного, бо ж фізичні властивості зв'язані з молекулою тіла.

Розглядаючи з погляду хемічних властивостей розміщені у восьми групах діяльні хемічні елементи, не трудно констатувати, що зміна їх відбувається у двох напрямках, як що за вихідний пункт дослідження взяти лівий верхній кут наведеної таблиці IV.

Одною із головніших примет і властивостей хемічних елементів являється їх валентність, яка цілком означає форми можливих сполучень даного елемента з іншими. Аналізуючи таблицю, ми зауважувемо зразу, що валентність елементів, поміщених у таблиці, зростає в напрямі від лівого боку до правого; натомість вона є однаковою для всіх елементів тієї самої групи, починаючи з гори аж до низу. Зростання валентности відбувається в дуже обмежених рядах,

тіл, які в періодичній системі Менделєєва займають місця 43 і 75. В природі ці елементи знаходяться в дуже малій кількості; через те ближчого дослідження їх хемічних і фізичних властивостей тимчасом ще не зроблено. Однак, т. зв. рентгеноскопічні досліді німецьких учених Ноддака, Таке і Берга (N o d d a c k, T a s k e, B e r g), які відкрили ці два елементи, показують, що нововідкриті елементи мають всі примети, характеристичні для елементів з порядковими числами 43 і 75. Ці нововідкриті елементи є вищі гомологи мангану і за Менделєєвим мали б носити назви ека-манган (43) і дві-манган (75); але згадані вчені, що їх відкрили, запропонували назвати їх мазурій (Ma) і реній (Re) на честь східньої та західньої Німеччини.

Аж в останній момент перед закінченням друку книжки в загальній пресі появилася звістка про те, що Чеській Академії Наук представлена праця двох чеських учених Гейровського і Долейшка (H e u r o v s k ý, D o l e j š e k), в якій ніби-то доводиться, що досліді названих німецьких учених науково не досить обґрунтовані; натомість ці два що-йно згадані чеські вчені ніби-то безсумнівно відкрили елемент з порядковим числом 75, якому і дали за Менделєєвим назву дві-манган.

власне в межах від 1 до 8, що й виявляється в різних типах кисневих сполучень елементів окремих груп таблиці. Типи цих кисневих сполучень символізовані поставленими під таблицею формулами, в яких R означає кожний із елементів, приналежних до даної групи. Як бачимо, різних варіацій кисневих сполучень є в точності 8 (від R_2O до RO_4); номер тої чи іншої групи елементів означає їх валентність відносно кисня.

Під групами елементів, починаючи з IV аж до VII включно, поставлені символи найвищих газових сполучень, які дають з воднем елементи відповідної групи. Ці символи показують, що валентність елементів відносно водня зменшується в напрямі зліва направо, так що в групі VIII вона рівна вже 0, ц.т. елементи VIII групи з воднем сполучень не дають. Під першими трьома групами символи сполучень з воднем поставлені в дужках через те, що сполучення елементів цих трьох груп з воднем або цілком невідомі, або вони нетривкі й цілком для даної групи елементів нехарактеристичні, в той час як водневі сполучення елементів IV—VII груп тривкі й для відповідної групи елементів характеристичні.

Порівнюючи валентність елементів кисневу з валентністю водневою, бачимо, що в міру зросту кисневої валентності падає валентність воднева. При тому це збільшення одної валентності і зменшення другої відбувається в той спосіб, що сума чисел, які означають валентності обох родів елементів певної групи, завжди рівна 8.

Валентність елементів відносно галогенів досягає найвищого ступня в IV групі і рівномірно спадає направо й наліво; в групах I і VII вона рівна 1, в групі недіяльних газів рівна 0, а в VIII групі має різне значіння.

З погляду властивостей металічних (ц.т. основних) і металоїдних (ц. т. кислотних) елементи, розміщені в таблиці періодичної системи, виявляють себе так: основність у кожній групі зростає згори на долину, а кислотність збільшується по групах зліва направо. Таким чином у I і II групах стоять елементи з явно означеним характером металів, а в VI і VII згруповані елементи з характером енергійних металоїдів, при чому найбільш різко виявляється це в протилежних двох (I і VII) групах, а де-які елементи середньої групи (IV) виказують навпаки, утравістичний характер і реагують раз як метали, а другий раз як металоїди (Sn, Pb). Елементи VIII групи також виказують переходовий характер між двома екстремами. В кожній окремій групі елементи, які положені нижче, ц.т. мають більшу атомову вагу, сильніше виявляють характер основности (ц. т. металічності), ніж елементи тієї самої групи, положені вище, ц. т. ті, що

мають меншу атомову вагу. Збільшення атомової ваги настільки помітно впливає на збільшення основного характеру елемента, що навіть у V і VI групах елементи з великою атомовою вагою являються в значній мірі основними (Bi і U), хоч правда, вони тоді не виявляють своєї максимальної валентності (напр., Bi_2O_3 замість Bi_2O_5 і UO_2 замість UO_3). Це показує, що поділ елементів на метали й металоїди є дуже умовний, бо точної границі між ними встановити не можна.

Отже місце якогось елемента в таблиці періодичної системи вповні означає його хемічний характер. Через це, знаючи атомову вагу елемента і помістивши його на тому місці, яке відповідає величині цієї атомової ваги, не трудно передбачити всі його головні хемічні властивості. А ця обставина має надзвичайне значіння, бо дає в руки хемиків засіб для передбачування властивостей де-яких ще не відкритих елементів, коли відомо, на якому місці в системі має стояти той чи інший елемент.

Так воно в дійсності й було. Коли Менделєєв укладав свою періодичну систему, то ті її місця, де тепер стоять скандій (Sc), галій (Ga) і германій (Ge), не були заняті, бо згадані елементи ще не були тоді відкриті. Однак самі місця в системі вказували вже на те, які хемічні властивості повинні бути характеристичними для тих трьох ще не відкритих елементів. Згідно з їх положенням Менделєєв назвав їх: ека-бор ека-алюміній і ека-силіцій (*ека* означає по-санскритськи *один*), і теоретично описав їх головні властивості. Коли пізніше були відкриті й досліджені згадані три елементи, то виявилось, що їх характеристика цілком відповідає тій, яку дав їм Менделєєв виключно на основі свого закону періодичності. Мало того, коли був відкритий галій, і появилася про це публікація, в якій де-які властивості галія описані були не так, як це передбачував Менделєєв, то цей останній висловив думку, що галій не був очищений від сторонніх домішок, і через те його властивості одріжняються від тих, які передбачувались для «ека-алюмінія». Дальші досліди показали, що автор періодичної системи мав повну рацію.

Із періодичної функціональної залежності властивостей хемічних елементів од їх атомової ваги можна зробити ще один надзвичайно важливий висновок, а саме: як що хемічні властивості якогось елемента відомі, то можна знайти йому відповідне місце в системі елементів, а тим самим дійти до визначення його атомової ваги. Таким чином періодична система дає ще один засіб для визначення цієї важливої для елемента прикмети.

Менделєєв стояв на тому становищі, що «закони природи винятків не знають і цим відрізняються від правил і правильностей, подібних,

напр., до граматичних». На його думку, закон може утвердитись лише в тому разі, коли сам закон і всі зроблені з нього висновки підтверджуються експериментальними даними. Отже, коли він установив закон періодичности, то, рахуючи цей закон за закон природи, він зробив із нього висновки, які, по його думці, або повинні були знайти собі підтвердження в експериментальному досвіді або опрокинули б сам цей закон. Висновки ці торкались в першу чергу визначення атомової ваги де-яких елементів, котрі творили б аномальність, якби їх поставити на те місце в періодичній системі, яке вони повинні займати відповідно до своєї атомової ваги. Менделєєв зробив інший висновок: аномальности бути не може; відповідний елемент треба поставити на те місце, яке визначають його властивості, а атомову вагу слід уважати за неправильну і внести в її величину необхідний коректив. На цій основі він запропонував подвоїти атомову вагу урана (U) та виправити величину атомової ваги цезія (Cs).

Пізніші праці показали, що зроблені Менделєєвим поправки були цілком оправданими.

Звичайно вважають за творця періодичного закону нарівні з Менделєєвим також і Л. Майєра. Цей останній, бувши ознайомленим з опублікованою Менделєєвим (1869 р.) запискою, в якій викладалась коротко суть періодичного закону, засвоїв цілком цю ідею і своїми працями сприяв її обґрунтуванню фактичними експериментальними даними.

Але в протилежність до Менделєєва він ставився до відкритої періодичної функціональної залежності властивостей хемічних елементів од їх атомової ваги не як до «закону природи», а добачав у цьому явищі не більше того, що Менделєєв називає «правильністю». А через це Л. Майєр не припускав, щоб можна було корегувати атомові ваги елементів на основі того, які властивості має відповідний елемент, і яке місце в періодичній системі йому належить відповідно до цих властивостей. На думку Майєра, «було б нерозважливим братись за змінювання атомових вагів, котрі були досі прийняті, опираючись на таку непевну підставу».

Твердо дотримуючись погляду, що закон періодичности має подібність до «закону природи», Менделєєв сміло й консеквентно робив звідси свої логічні висновки, котрі, як ми бачили, знаходили належне підтвердження у відкриттях пізнішого часу.

Коли детермінатором властивостей хемічних елементів являється їх *маса*, яка виявляється у величині атомової ваги, то очевидно, що ця маса мусить впливати також і в тому разі, коли атом входить у склад молекули певного тіла; отже фізичні властивості тіл мусять

так само виказувати залежність од атомової ваги складових елементів, а це значить, що й фізичні властивості тіл мусять залежати від місця складових елементів у періодичній системі та що вони мусять виявляти певну закономірну періодичність. Така залежність дійсно існує і виявляється в тому, що фізичні властивості в цілому ряді простих тіл (температура топлення, питома вага, атомовий обсяг, електромагнетизм) періодично міняються, зростаючи до певного максимуму та спадаючи також до певного мінімуму.

Менделєєв талановито довів існування залежності хемічних (а посереднє й фізичних) явищ од маси; він установив у цій залежності повну закономірність, але він не показав, *чому ж* власне різні маси мають різні впливи; який *є* внутрішній зв'язок між масою та тою чи іншою властивістю; чому залежність властивості від маси *не є* простою, а виявляється в *періодичній функціональній* залежності.

«Однак величезною заслугою Менделєєва слід уважати те, що він взагалі констатував самий факт існування системи елементів. Бо-ж власне це відкриття привело до цілковитого переконання в тому, що між елементами повинно бути більше спільного, ніж тільки те, що вони не піддаються зусиллям хеміка розкласти їх на складові частини»*).

До розв'язання питання про те, від яких глибших причин залежить періодичне повторювання властивостей хемічних елементів, фізико-хемічна наука наближається тільки в останній час, півстоліттям пізніше від часу відкриття Менделєєвим самого закону періодичности та встановлення ним періодичної системи елементів, які в історії розвитку хемічної науки мали, без сумніву, епохальне значіння.

Вступом до ознайомлення з поглядами сучасної науки на причини цієї періодичности в системі хемічних елементів повинно послужити ознайомлення з де-якими явищами з царини електро-хемії та теоретичним поясненням цих електрохемічних явищ, а також ознайомлення з явищами т. зв. радіоактивности елементів.

Але раніше, ніж перейти до ознайомлення з цими явищами, варто застановитись над одним питанням. Із сказаного про основну ідею, на котрій побудована періодична система хемічних елементів, видно, яку роль в ній відіграє поняття про атомову вагу елементів. Ми вже знаємо релятивні атомові ваги елементів; обчислена навіть з великою степенню імовірности абсолютна їх вага, їх обсяги та число молекул в одній грам-молекулі. Ці обчислення зроблено на основі кінетичної теорії газів. Однак виникає питання, чи не можна знайти способу

*) Fajans. Radioaktivität. Стр. 17

пересвідчитись в реальному існуванні молекул та молекулярного руху фізичних тіл. З першого погляду така думка здається не тільки надзвичайно сміливою, але й носить в собі ніби немало безнадійности в розумінні неможливости здійснити її з огляду на те, що обчислення відносно розмірів молекул показують, якими безмірно-малими являються ті об'єкти, над котрими мали б вестись досліди що-до реальности їх існування або їх руху в простороні. В порівнянні з найменшою мірою простороні або ваги, якими розпоряджає сучасний учений дослідник, величини ваги й обсягу молекул так безмірно малі, що цілком неоправданою може показатись сама спроба наочного доказу існування й руху тих часток матерії, величина котрих відноситься до порядку 10^{-8} чи 10^{-24} .

Однак наука знайшла шлях до розв'язання цього питання.

Ще на початку минулого віку англійський ботаник *Броун* (1827) запримітив, що течиво «в стані рівноваги» зовсім не є в стані цілковитого спокою. Це в мікроскопі видно по тих дрібнесеньких частках, які знаходяться в стані суспензії в тому течиві. Ці суспендовані частки постійно рухаються в найрізномордніших напрямках: підносяться вгору, крутяться, рухаються в різні сторони, падають на долину, знов підносяться вгору і т. д. Характер цих рухів цілком одрізняється від того руху порошинок, який можна спостерігати в проміні сонця. Тут порошинки рухаються, захоплені течією повітря, яка тягне їх з собою в тому чи іншому напрямі в залежності від різниці температури чи тиску повітря в різних його частинах. Отже тут порошинки рухаються в якомусь певному напрямку.

Звичайно, що такого роду масові рухи часток можна запримітити також і в течивах, але їх не трудно відрізнити від того безладного руху суспендованих у течиві часток, який не залежить ні від температури, ні від світла, ні від роду течива чи його густоти, ні від якогось зовнішнього імпульса, чи якихось взагалі зовнішніх причин. Причина цього руху, котрий названо *броуновим рухом*, лежить в самому течиві. Він ніколи не припиняється; його можна спостерігати протягом місяців, років; навіть у течивах, включених у кварці, відбувається броунів рух, хоч з часу утворення тих течивних кварцових включень минуло багато тисяч років.

Протягом кількох десятків років зроблене Броуном спостереження не звертало на себе більшої уваги учених та не було належно оцінене з погляду тих перспектив, які воно відкривало для дослідження молекулярного руху і самого існування молекул.

Однак всі дані відносно броунового руху дали підставу *Вінерові* (1863 р.) виставити таке твердження: «цей рух не може мати при-

чин ні в самих частках, ні в зовнішніх впливах на течиво, а пояснити його треба внутрішніми рухами, характеристичними для стану течива». Суспендовані в течиві частки тим більше відповідають отим внутрішнім рухам в течиві, чим меншого вони є розміру.

Отже зовнішнє вражіння, ніби-то «стан рівноваги» течива означає повний його внутрішній спокій, являється цілковитою ілюзією, бо справді це є лише певний сталий режим швидких і безладних рухів.

Якого ж походження ті внутрішні сили, що спричиняють складний комплекс отих рухів суспендованих у течиві часток? Відповідь на це може бути одна: цей безладний рух спричиняється рухом молекул течива. Як говорить кінетична теорія, рух молекул газів відбувається без жадного ладу; молекули рухаються по зигзагах різної форми, з різною довжиною колін зигзага. Теж саме в суті речі діється і в течиві, лише з тією різницею, що окремі молекули течива не мають стільки простору для свого руху, як молекули газів. Молекули течива рухаються на всі сторони, б'ються одна об одну, о стінки посудини, а також і о ті дрібненькі частки матерії, які знаходяться в стані суспензії в течиві. Через те, що сила ударів молекул течива о ті частинки не урівноважується, то ці суспендовані частки цілком неправильно, без жадного ладу рухаються в різних напрямках в залежності від того, в яку сторону направлена буде рівнодіюча сила ударів рухливих молекул.

Коли в течиво помістити якийсь предмет більших розмірів, то очевидно, що число ударів молекул зо всіх боків буде безконечно великим, хоч може й не абсолютно однаковим. Але по закону великих чисел число ударів о протилежні сторони предмету загально треба вважати однаковим; отже сили протилежно-діючі на даний предмет, урівноважуються і він не рухається. Інше діло, коли поверхня даного тіла має такі малі розміри, що закон великих чисел не може бути примінений. Тоді протилежні сили не урівноважуються, і тіло починає рухатись. Цей ефект і має в дійності місце, коли у вирі молекулярних рухів течива опиняться дрібнесенькі частинки матерії, як напр., в емульсіях.

Все ж таки пояснення броунового руху тим, що його спричиняє комплікований рух молекул течива, носить характер гіпотези, дуже правдоподібною і логічно випливаючою із уявлення про стан течива, але не сконтрольованою експериментальним дослідом.

Завдяки спостереженням над броуновим рухом було сконстатовано, що стан рівноваги в емульсіях наступає тим швидче, чим енергійніший був рух. Однак більша чи менша активність руху не впливає на остаточний вислід при встановленні рівноваги, так що вернятка

(дробинки) емульсії однакової величини й однакової питомої ваги в результаті все однаково розміщаються незалежно від швидкості руху.

Теоретичний аналіз механізму встановлення рівноваги зробили *Айнштайн* (1905 р.) і *Смолуховський* (Львів, 1906 р.). Свої теоретичні висновки *Смолуховський* potwierдив де-що пізніше також і статистичними своїми дослідями над емульсіями. Шведський хемік *Сведберг* при своїх дослідях над колоїдальними розчинами прийшов до таких самих висновків, як і ці два вчені, хоч він і не був знайомий з їхніми теоретичними працями*).

Обчислення *Айнштайна* і *Смолуховського* та дальші досліді над емульсіями надали ще більшого значіння кінетичній теорії, як то й доводили обидва ці вчені у своїх теоретичних працях.

Експериментальними дослідями над емульсіями наука зобов'язана у великій мірі французькому вченому *Перренові*, який при своїх дослідях виходив із того становища, що «коли справді молекулярний рух являється причиною броунового руху, коли це явище є ніби-то посередником, який зв'язує видимий для нас світ зі світом молекул, то повинні існувати способи, котрі дали б нам можливість безпосереднє наблизитись до них. Такі можливості, розуміється, існують, і є кілька способів скористуватись ними**).

Провідна ідея *Перрена* була така: як доказав *Вант-Гофф*, закони, яким підлягають гази, мають повне примінення також і що-до розчинів слабої концентрації, в котрих осмотичний тиск грає ту саму роль, яку грає у газів їх звичайний тиск. Але закон *Вант-Гоффа* має однакове значіння для всіх тих розчинів, які підлягають закону *Рауля*, ц. т. незалежно від того, яку молекулярну вагу і молекулярний склад мають розчинені тіла. Всі розрахунки бувають однаково правдиві, чи береться до уваги молекула цукру, що складається із 45 атомів, чи молекула сірчанокислого хініну, що складається з 103 атомів, чи рухлива молекула води в складі всього лише 3 атомів. Значить ніякої різниці між молекулами ріжного (по числу атомів) складу нема; звідси виникає питання, чи в такому разі взагалі існує якась межа для примінення цих законів; чи не можна припустити, що цим законам підлягають також і ті частки, які ми можемо вже бачити, хоч би й за допомогою оптичних приладів. Отже, чи не можна прикласти до частки, яка є у броуновому русі, тих самих розрахунків, що й до молекули газу; взагалі, чи не можна прикласти

*) В. Кучер. Сучасна атомістика. Ст. 44. Збірн. мат. прир. лік. секц. Н. Т. ім. Шевч., т. XVIII—XIX. Наук. хрон.

**) Perrin. Atom. Stop. 81—82.

газових законів до емульсій, які складаються із видних у мікроскоп зерняток?

Перрен почав шукати в цьому напрямкові якого-небудь «*experimentum crucis*», котрий повинен був або остаточно збити принцип кінетичної теорії, або дати підставу обороняти її до кінця.

Для такої експериментальної перевірки примінення газових законів до емульсій Перрен порівнював стан рівноваги в атмосфері зі станом рівноваги емульсій.

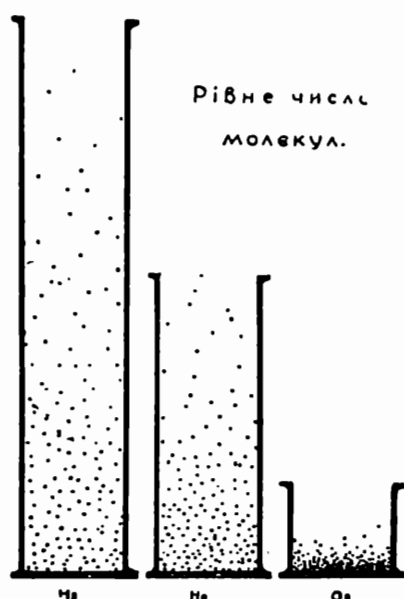
Відомо, що атмосфера земної кулі вгорі рідче, ніж при самій поверхні землі. На височині 6 кілометрів повітря розріджене вдвоє. В кожній точці атмосфери (в стані спокою) встановлюється повна рівновага противних сил тиску, величина котрого вчисляється цілком точно для кожної точки над земною поверхнею. Через те, що число молекул у певному обсязі газу зворотно-пропорційне тискові, то можна вчислити також і це число.

Отже розрідження газів відбувається цілком закономірно в міру піднесення над земною поверхнею і при тому так, що це розрідження буде тим меншим, чим легше є газ; напр., коли-б атмосфера складалась тільки із кисня, то вона була б (при 0°C.) уполовину рідчою на височині 5 кілометрів, а у водневій атмосфері (при тій самій температурі) треба було б підвестись уже на 80 кілометрів для того, щоб досягти уполовину меншої густоти цього газу. В залежності від цього й розполог молекул відповідного газу буде такий, що чим тяжчий є газ, тим більше молекул скупчується коло споду, і навпаки. Перрен ілюструє це так: як би взяти колосальних розмірів три циліндри (найбільший 300 кілометрів висоти) і припустити, що в них знаходиться однакове число молекул водня, гелія та кисня, то ці гази розмістились би так, як показує малюнок. 1.

Цей хід думок можна поширити і на емульсії, як що газові закони виправдуються й на них, цеб-то, коли після встановлення стану рівноваги в емульсіях, в наслідок протилежно діючих сил (земного тяжіння в одного боку і броунового руху, котрий підкидає зернятка емульсії вгору, — з другого боку), розполог зерняток емульсії на різних висотах відповідатиме тій самій закономірності, з якою розміщуються молекули газів, то це означає, що газові закони мають свою силу й відносно емульсій.

Само собою зрозуміло, що зернятка емульсії в кілька сот мільйонів більше за молекулу газу; отже для того, щоб спостерегти різницю густоти емульсії (ц.т. число зерняток у певному обсязі) на ріжній висоті, треба почислити зернятка емульсії в двох площинах, котрі

положені одна над другою на віддалі не тисяч метрів, а всього лише на віддалі якоїсь невеликої частини міліметра.



Мал. 1.

Перрен разом із своїми співробітниками зробив ряд надзвичайно дбайливо й точно поставлених експериментів над емульсією гумігута й мастики. Ця точність, навіть скрупульозність, просто дивовижна. Не будемо спинятись на деталях експериментування; вкажем лише, що різними методами встановлено було специфічну вагу матерії, з якою оперувалось (для гумігута: 1,1942 — 1,194 — 1,195); визначений був обсяг зерняток. Їх луч, означений в мікронах, при окремих експериментах мав таке значіння*):

ТАБЛИЦЯ V.

Експерименти	По розпологу в лінії	Зважуванням	Із швидкості падання
I.....	0,50	—	0,49
II.....	0,46	0,46	0,45
III.....	0,871	0,8667	0,8675
IV.....	—	0,212	0,213
V.....	—	0,14	0,15

При дослідах підраховувалось десятки тисяч цих мікроскопічних зерняток та обчислялось їх розміри; робилось фотографічні знімки і т. д.

Було переведено цілу серію спостережень над зернятками гумігута, які мали луч $0,212\mu$. В кюветці глибиною 100μ **)) підрахову-

*) Perrin. Atom. Стр. 90.

**)) $1\text{ мм.} = 1000\mu$; $1\mu = 1000\text{ м}\mu$.

валось число зерняток на чотирьох рівнях: 5μ , 35μ , 65μ і 95μ . Перераховано було 13.000 зерняток. Теоретично їх числа на цих чотирьох рівнях глибини кюветки мали б бути такі (числючи, що на споді 100):

100 48 23 11 1

Безпосередні підрахування показали числа:

100 47 22 6 12

Другу серію спостережень зроблено було над зернятками мастики (луч їх був $0,52\mu$). Фотографування показано, що на чотирьох рівнях, на віддалі 6μ один од другого, було зерняток:

1800 940 530 305.

Теоретично їх треба було сподіватись:

1800 995 528 280.

Ряди чисел, теоретично вираховуваних і знайдених експериментально, дуже між собою близькі.

Всі ці дослідження з повною науковою бездоганністю довели, що розполог зерняток емульсій дійсно відповідає тому законові, якому підлягають і молекули газів. Отже всі міркування й обчислення, які прикладаються до газів, уповні можна прикласти й до емульсій. На цій підставі Перрен зробив обчислення для числа Авогадро, котрі дали такі числа: $65 \cdot 10^{22}$ — $72 \cdot 10^{22}$, ц. т. близькі до $60,6 \cdot 10^{22}$, вичисленого на основі кінетичної теорії. Цією самою методою вичислені також подані раніше ваги газових молекул.

«Ця повна подібність результатів, каже Перрен, не залишає вже жадного сумніву що-до причин броунового руху... Стає дуже трудною річчю заперечувати об'єктивну реальність молекул. В той самий час нам став видний і самий рух молекул: броунів рух є точною його копією, або, ще точніше сказавши, є справжнім молекулярним рухом, так само, як інфрачервоне проміння є світляним промінням. Нема жадної принципіальної різниці між рухом молекул азота, який можна розчинити в воді, і рухом тих видимих «молекул» що існують в образі зерняток емульсій, для котрих величина грам-молекули досягає порядку 100.000 тон ваги.»*)

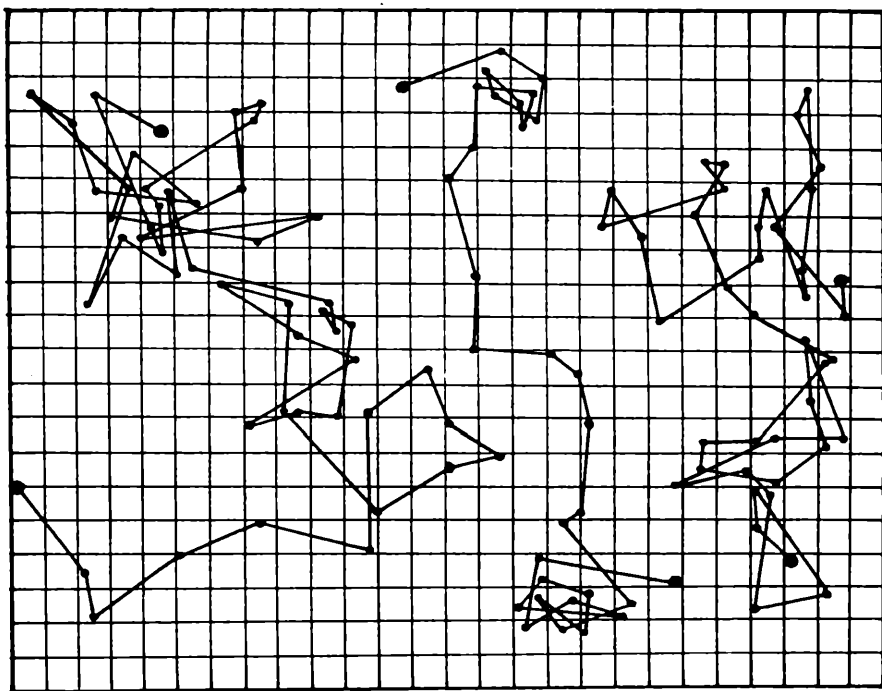
При експерименті з емульсіями досить підвестись на $\frac{1}{20}$ мм., ц. т. в 100 мільйонів разів менше, ніж при досліді з киснем, для того, щоб в одиниці обсягу емульсії стало вдвое менше число зерняток, ніж раніше. Звідци треба зробити висновок, що вага кожного зернятка емульсії в 100 мільйонів разів більша за вагу молекули кисня. Ці

*) Perrin. Ibid. Стор. 96—97.

мікроскопічні, але ще видні зернятка служать посередніми кільцями в тому ланцюгові, яким звязуються маси звичайного нашого масштабу з масами невидного для нас молекулярного світу.

В наслідок дослідів Перрена та його учнів з'явилась можливість не приблизно гадати про вагу атомів, а впрост зважувати їх. Як ми вже бачили, «зважений» по методі Перрена атом водня виказав вагу, дуже близьку до вичисленої на основі кінетичної теорії газів.

Шлях, який переходили окремі зернятка емульсії при броуновому русі, був графічно записаний; при дослідженні руху зерняток (лучем $0,53\mu$) відмічалось положення зернятка через кожні 30 сек. Це дало картину руху, з'ображену на малюнку 2.



Мал. 2.

Звичайно, що цей малюнок не вповні відповідає дійсному шляхові, по якому рухаються зернята, бо це є лише горизонтальні проєкції їх пересувань з одного місця на друге, в той час, коли справді рух зерняток відбувається в усіх трьох змірах простороні. Крім того, в межах 30 сек. зернятка рухаються не по простій лінії, а також зигзагом зі ще дрібнішими колінцями. Отже зображені на мал. 2 складні рухи зерняток емульсії ще більш ускладнюються. Але все-ж таки і цей малюнок дозволяє нам з великою мірою правдивості скласти собі уяву про характер того молекулярного руху, в реальності існування котрого, як і самих молекул, сумніватись нема більше підстави.

Одиноким фактором, який впливає на енергію броунового руху є температура течива, при підвищенні котрої показується більша інтенсивність цього руху.

«Ці висновки цілком відповідають експериментальним фактам. Хаотичність, дезорганізованість броунового руху є наслідком або, коли хочете, відображенням безладности того теплового руху, який його спричиняє»*)).

Завдяки дослідям Перрена та його співробітників (Домбровського, Б'єррума, Брюа) фізико-хемічна наука зробила великий поступ в напрямі до пізнання таємниць внутрішнього стану матерії, котра при макроскопічному досліджуванні її не виказує жадних прикмет якогось руху чи неспокою, але котра при глибшому її аналітичному досліджуванні виказується в дійсності нічим иным, як станом найбільш комплікованої комбінації найрізномордніших рухів її безмірно-маленьких часток-молекул.

Постійно рухаються не лише молекули даного тіла, але й окремі атоми, із котрих складається кожна така молекула. Як ми вже знаємо, згідно з кінетичною теорією, швидкість молекулярного руху збільшується при підвищенні температури. Збільшується також і рух атомів в міру підвищення температури; але що більшої швидкості набирає рух атомів, то збільшується також і тенденція атомів одірватись од центру молекули та відлетіти від неї геть. Проти цієї тенденції діє *сила споріднености (affinitas)* звязаних у молекулу атомів, але коли зрештою центр-відбіжна сила перевищить силу споріднености, то де-які атоми молекули відірвуться від неї. Згідно з тією ж кінетичною теорією при певній температурі встановлюється певна пересічна швидкість молекул; але не всі молекули рухаються з однаковою швидкістю: де-які з них рухаються повільніше за пересічну швидкість, а знов інші рухаються швидче за неї. Через те ці останні раніше, ніж інші, переходять ту межу, при котрій удержується ще рівновага між силою споріднености і центр-відбіжною силою; від цих молекул атоми починають одриватись раніше, ніж од тих, що рухаються повільніше за пересічну швидкість. Що більше підвищується температура газу, то більше буде й таких молекул, від котрих одриваються атоми.

Це явище називається *диссоціацією* газів; отже гази диссоціюють тим більше, чим вищою є температура їх. Поняття про диссоціацію впровадив у науку французький хемик *Сен-Клер-Девіль*, який екс-

*) Френкель. Строек. матер., ч. 1. Стор. 25.

периментально довів це, нагріваючи пару води до високої температури і перепускаючи її через неполив'яну рурку. Розклад водяної пари на кисень і водень починається вже при 1000°C ., а при 2500° половина водяної пари розкладається цілком на складові елементи, при тому молекули водня, рухаючись швидче за кисневі молекули, скоріше проходять через шпари першої рурки і попадають у другу порцелянову рурку, котра обкутує першу, а з неї вже виходять окремо від молекул кисня.

Таким чином водяна пара, введена в одну рурку, виходить двома окремими рурками розкладена вже на водень і кисень, які при охолодженні знов можуть утворити водяну пару.

Подібно до водяної пари розкладаються також і різні гази. Напр. PCl_5 при 300°C . цілком розкладається на PCl_3 і Cl_2 . 2HCl розкладається при 1300°C на H_2 і Cl_2 .

Коли почати нагрівати PCl_5 то вже при 200° він починає розкладатись; що сильніше його нагрівати, то більше він розкладається, при чому для кожної висоти температури *диссоціаційний тиск* досягає певного свого максимуму. Як що цей тиск збільшити тим, що до певного обсягу, занятого продуктами розкладу PCl_5 , додати якусь кількість одного чи обох продуктів розкладу, то частина тих продуктів розкладу (молекули PCl_3 і молекули Cl_2) знов з'єднається в молекули PCl_5 , а диссоціаційний тиск установиться все таки на висоті того максимального тиску, який відповідає даній температурі.

Як же цей процес диссоціації відбивається на питомій вазі тіла? Сила тиску залежить від кількості молекул в даному обсязі. Візьмім, напр., грам-молекулу H_2 і грам-молекулу PCl_5 ; при однакових температурах, поки ще PCl_5 не почав розкладатись, в однакових обсягах вони матимуть однаковий тиск. Однак при температурі вище 200°C частина молекул PCl_5 розпадеться і загальне число молекул уже трьох сортів (PCl_5 , PCl_3 і Cl_2) в тому самому обсязі збільшиться; значить збільшиться й тиск. Щоб зрівняти цей тиск з тиском водня при тій самій температурі і при тому самому обсязі, треба відповідно збільшити обсяг, який займають PCl_5 та продукти його розкладу. Отже в попередньому обсязі загальна кількість фосфору і хлору (в виді молекул PCl_5 , PCl_3 і Cl_2) зменшиться, ц. т. зменшиться й вага їх. Припустім, що ми не знаємо про причину збільшення тиску PCl_5 , при нагріванні його вище 200°C . Тоді, при обчисленні питомої ваги сумішки PCl_5 , PCl_3 і Cl_2 , знайдено було б для неї величину меншу за ту, яку в дійності має питома вага PCl_5 . Ми знаємо, що молекулярна

вага рівна подвійній питомій вазі газу: $M=2D$. Значить, коли б прийнято було питому вагу сумішки за питому вагу PCl_5 , то й молекулярна вага його була б вчислена менша, ніж вона повинна була б бути. При температурі вище 300°C , цеб-то коли PCl_5 цілком розкладається, питома вага стає наполовину меншою, а значить і обчислена по ній молекулярна вага PCl_5 також вийшла б наполовину меншою. Так воно в дійсності й було, коли *Kaup* (*Sahours*) вчислив був питому вагу PCl_5 відносно повітря рівною 3,65, ц. т. відносно водня рівною 52,6, а вона в дійсності повинна бути 104,2. Отже що більше диссоціює це тіло, то меншою буде його питома вага, все наближаючись до половинного значіння дійсної. При повній диссоціації вона рівна як раз половині.

Підвищення температури спричиняє більшу швидкість руху молекул газу, тим самим збільшує також і сумарну кінетичну енергію всіх молекул, які містяться в даному обсязі. Це збільшення кінетичної енергії виявляється в збільшенні тиску газу на стінки посудини, пропорційному до підвищення абсолютної температури. Але крім того, температура є тим фактором, який спричиняє розклад речовини, ц. т. викликає розклад більше складних часток на менше складані (H_2O на H_2 і O , PCl_5 на PCl_3 і Cl_2 , J_2 на J і J і т. д.). Ми вже знаємо, що кінетична енергія не залежить од природи часток. Через це при розкладі складнішої частки (молекули) на частки простішого складу число цих простіших часток збільшується, а значить збільшується й сумарна кінетична енергія, яка виявляється в ненормально високій степені тиску. Цей тиск, при підвищенні температури виказує тенденцію наблизитись до певної міри, яка є в ціле число разів (2—3 рази) більшою за ту, котру повинен був би мати даний газ в даних температурних умовах. Це означає не що інше, як те, що число часток, які містяться в певному обсязі, також збільшується з тенденцією наближення до подвійного чи потрійного значіння відносно первісного числа газових часток. Нарешті при досить високій температурі це збільшення числа часток досягає свого граничного значіння. Для йоду картина розкладу його молекул представляється так (T — абсол. темп., N_0 — первісне число молекул і N — число молекул при відповідній висоті температури):

T	700	900	1100	1300	1500	1700	1900	2100
$\frac{N}{N_0}$	1	1	1,06	1,27	1,83	1,99	2,00	2,00*)

*) Френкель. Строен. матер., ч. 1.

Це значить, що молекула йоду при температурі вищій за 900° починає вже розкладатися; число розкладених молекул збільшується в міру підвищення температури; при 1900° всі молекули розпадаються на простіші частки, число котрих *два рази* більше за первісне число молекул йода; при вищих температурах дальшого розпаду вже не відбувається, і число газових часток (атомів) залишається постійним.

Сказане тут про дисоціацію газів при високих температурах допоможе вияснити в дальшому явище, відоме під назвою *електролітичної диссоціації*.

Коли йшла мова про закони Рауля й Вант-Гоффа, то тоді виразно було підкреслено, що цим законам з точністю підлягають лише т. зв. неелектроліти, ц. т. такі розчини тіл, котрі не проводять електричності. Натомість розчини тіл, котрі добре проводять електричність, т. зв. електроліти, виказують цілком очевидне відхилення від тієї закономірності, яка формулована в вазначених законах Рауля й Вант-Гоффа. До числа електролітів відносяться кислоти, основи й солі. Відхилення від нормальної величини осмотичного тиску та температури замерзання (і вару) відбувається так, що характер цих змін супроти норми нагадує собою відступлення, які спостерігаються при диссоціації газів при високих температурах.

Як що взяти 1 грам-молекулу кухонної соли (NaCl) вагою 58,46 гр. (грам-атом натрія = 23 гр. + грам-атом хлору = 35,46 гр.) і розпустити їх в певному обсязі води, то цей розчин NaCl замерзає при температурі нижчій за ту температуру, при котрій замерзає розчин, напр., 1 грам-молекули цукру в такому самому обсязі води. В міру того, як рідчають розчини кухонної соли й цукру при добавленні води, відношення між пониженням температури замерзання розчину кухонної соли й температури замерзання цукрового розчину все збільшується, наближаючись до значіння 2. Зрештою при дуже слабій концентрації 1 грам-молекула кухонної соли (електроліт) спричиняє таке саме пониження температури, як 2 грам-молекули цукру (неелектроліт). Коли пригадаємо собі, що закон Рауля стоїть у тісному звязку з законом Вант-Гоффа, то стане цілком очевидним, що в міру зменшення концентрації розчинів 1 грам-молекула кухонної соли буде спричиняти відносно все більший осмотичний тиск у порівнянні з тим осмотичним тиском, який спричиняє 1 грам-молекула цукру, розчинена в такому самому обсязі води і при тій самій температурі. Зрештою і тут при дуже слабій концентрації 1 грам-молекула кухонної соли виказує такий самий осмотичний тиск, як 2 грам-молекули цукру (в однакових, звичайно,

температурних умовах). Повна аналогія з явищами диссоціації газів при нагріванні їх до високих температур, коли газова молекула розкладається на складові елементи, виявляється тут цілком ясно.

Теорія електролітичної диссоціації, виставлена шведським ученим *Арреніусом* (1887), так власне й пояснює відхилення електролітів од законів Рауля й Вант-Гоффа. Згідно з цією теорією при розчині електролітів у воді молекули їх розпадаються, диссоціюють. Чим меншою буде концентрація розчину, тим більшою стає диссоціація, котра буде повною при дуже слабій концентрації. Отже в сильно розбавленому розчині NaCl не буде вже кухонної соли, а натомість в ньому будуть тільки свободні атоми Na і атоми Cl, котрі відносно пониження температури замерзання та збільшення осмотичного тиску грають таку саму роль, як і цілі молекули кухонної соли.

Таким чином, коли-б 1 грам-молекула кухонної соли при певній концентрації спричиняла таку саму зміну тиску пари, яку спричиняє $\frac{5}{3}$ грам-молекули цукру, то із цього на підставі теорії Арреніуса треба зробити такий висновок: значить у розчині NaCl дійсно є стільки-ж окремих часток (молекули NaCl + атоми Na + атоми Cl), скільки їх є в $\frac{5}{3}$ грам-молекули цукру. При яких умовах це буде? Очевидно, що тоді, коли $\frac{2}{3}$ молекул кухонної соли розпадуться на атоми натрія та хлору і дадуть число два рази більше ц. т. $\frac{4}{3}$, а $\frac{1}{3}$ молекул залишиться недиссоційованою. Разом це й складе число ($\frac{4}{3} + \frac{1}{3} = \frac{5}{3}$) атомів і молекул, рівне числу молекул цукру в $\frac{5}{3}$ грам-молекули. Величина $\frac{2}{3}$ означає ступінь *диссоціації* тіла.

Хоч, здавалось, ідея Арреніуса була проста і так просто пояснювала відступлення електролітів від норми, хоч навіть у самій номенклатурі, вживаній для означення солей, містилась уже думка про двоїстість їх складу, але все-ж таки теорія електролітичної диссоціації в колах учених не зустріла відразу співчуття й признання. По ній виходило, що молекули солей, утворених із найбільш сильних кислот і найбільш сильних основ, найлегше розпадались; навпаки, найбільш тривкими молекулами являлись ті, що витворювались із слабіших кислот та основ. Знов же, як аргумент проти правдивості теорії Арреніуса, висувалось таке міркування: коли кухонна сіль справді розкладається при розчині на Na і Cl, то Na одразу мусів би реагувати з водою, витискуючи із неї один H, а цього не відбувається; і далі, коли б у розчині одночасно існували вільні атоми Na і Cl, то їх очевидно можна було б одділити один від одного, але й цього не вдається, як не вдається також відокремити елементи інших електролітів.

На ці заперечення Арреніус відповів, що електролітичний диссоціації підпадають ті розчини, які відхиляються від норми і які разом з тим добре проводять електричність. Цю добру електропровідність легко можна пояснити, коли припустити, що атоми Na і Cl, які появляються в наслідок розпаду молекули кухонної соли, заряджені електричністю протинного знаку (+ чи —), подібно до того-як заряджаються електричністю також протинного знаку два кружки, один цинковий, а другий мідний, коли їх стулити до купи, а потім роз'єднати.

Такі заряджені електрично атоми (чи навіть групи атомів) називаються *іонами*. Всі іони одного роду заряджені цілком однаково; напр., коли NaCl розпадається, то всі іони Na мають однакові заряди і всі іони Cl також мають однакові заряди, але протинного знаку; таким чином сільний розчин є електрично-невтральний. Число атомів, котре в невртральному стані складає 1 грам-атом, в іонізованому стані представляє собою 1 *грам-іон*.

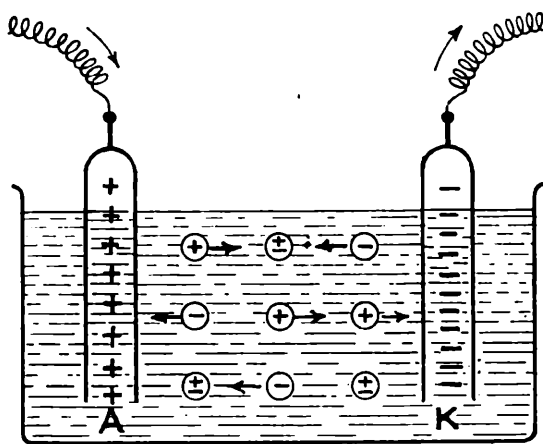
Коли в хемічно-складне електропровідне течиво (розчин солей, основ чи кислот) встромити два електроди та почати пропускати через це течиво електричну струю, то розчин починає розпадатись, при чому цей розпад відбувається так, що метал (і водень), який входить у склад молекули електроліту, виділяється на негативному електроді — на *катоді*, а решта складної молекули виділятиметься на позитивному електроді — на *аноді*. Це є процес *електролізу*, при котрому одні іони, заряджені позитивно, рухаються в напрямкові до катоду, — це є *катіони*, а другі, заряджені негативно, рухаються до аноду — це є *аніони*. (Звідси повсталала й назва іонів: по грецькому *ἰών* — той, що йде, пересувається).

На мал. 3. схематично показані два електроди: анод (A) і катод (K), які встромлені в розчин. Кружками означені іони, заряджені позитивно (+) чи негативно (—); стрілки при них показують напрям їх руху до того чи иншого електроду. Кружки з двома знаками ($\pm$) означають навртральні молекули, які ще не розпались на іони і не рухаються до жадного електричного бігуна.

Доходячи до електроду (протинного знаку), іони віддають йому свій заряд і обертаються у звичайні хемічні атоми з усіма властивими їм прикметами, в протинність до іонів, котрі таких властивих цим елементам прикмет можуть і не виявляти. Через те, що іони заряджені електричним зарядом протинного знаку, вони між собою розділитись цілковито не можуть; отже їх через це неможливо відділити окремо із розчину, як того хотіли протинники теорії Арреніуса. Коли-б, напр., у якомусь місці розчину скупчилась

більша кількість іонів позитивного знаку, то негайно вони потягли б за собою туди відповідну кількість іонів негативного знаку. До іонів легших і більш рухливих причеплені силою взаємного притягання іони тяжчі, подібно до того, як до ноги невольника прикована тяжка куля, від котрої він не може віддалитись далі, як на довжину ланцюга, і котра тягається за ним всюди, куди-б тільки він не рухався.

Отже розділити іони противних знаків не можна инакше, як тільки пропускаючи через розчин електричну струю. Тоді позитивно й негативно заряджені іони направляються до відповідних електродів і несуть їм з собою певну кількість електричності, котру віддають тим електродам, а самі обертаються у звичайні атоми. Звідси



Мал. 3.

ясно, що кількість перенесеної іонами електричності буде тим більшою, чим більше буде число іонів в даному обсязі розчину, через котрий проходить електрична струя.

Припустім, що ми маємо якийсь обсяг, в котрому міститься в стані розчину рівно 1 грам-молекула електроліту. Очевидно, що коли диссоціація не є повною й доходить лише до степені $\frac{2}{3}$, то й електропровідність розчину буде також неповною і буде рівною $\frac{2}{3}$ того значіння, яке вона мала б при повній диссоціації даного електроліта, котра настає при дуже слабій концентрації розчину. Це й потверджується експериментами.

При досліді різних солей і різних концентрацій їх розчинів установлено, що ступень диссоціації, обчислена по закону Рауля, завжди буває рівна тій степені диссоціації, яка вичисляється на під-

ставі досліджень над електропровідністю розчину певного тіла. Це й є формуловка закону Арреніуса.

Ця надзвичайно важна обставина вказує на той глибокий внутрішній зв'язок, який існує між фізичними явищами двох порядків, котрі на перший погляд здаються цілком різної природи, нічим між собою не зв'язаними (температура замерзання розчинів та їх електропровідність), але котрі в дійсності являються нічим іншим, як зовнішнім проявом атомово-молекулярного стану електроліта; точніше сказавши, це є показчик кількості молекул тіла, що розпались на окремі вільні іони, ц. т. степені диссоціації даного тіла.

Ця обставина, розкриваючи перед нами той внутрішній зв'язок між явищами ніби-то різної природи, являється серйозним аргументом на користь правильності теорії Арреніуса про електролітичну диссоціацію.

V.

Досі йшла мова про квалітативну сторону електролізу, в процесі котрого позитивно й негативно заряджені іони відкладаються на відповідних (іпротивного знаку) електродах.

Досліджуючи це явище з квантитативного боку, *Фарадей* (1831) встановив таку залежність між кількістю іонів та кількістю електричності: вага іонів, які відкладались на електродах при електролізації яко гось розчину, є пропорційна до здобутку із еквівалентної ваги відповідного елементу, помноженої на кількість електричності, котра пройшла через розчин.

Еквівалентна вага рівна, як ми бачили, атомовій вазі даного елементу, поділеній на його валентність. Отже вагову кількість іонів, котрі відкладаються на електроді, можна зміряти також і числом еквівалентів даного елементу. Коли, напр., на катоді відкладається 14,59 гр. маґнія, то, знаючи величину його грам-еквіваленту (12,16), знаходять, що всього відклалось $(14,59 : 12,16) 1,2$ еквівалентів. Значить, закон Фарадея можна спрецизувати ще й так: число еквівалентів, які відложились при електролізі є пропорційне до кількості електричності, яка пройшла через даний електроліт, і навпаки, ця кількість електричності пропорційна до числа відложених еквівалентів відповідних елементів.

Приймаючи наведену в попередньому розділі концепцію про квалітативну сторону електролізу, треба зробити такий висновок: однакове число еквівалентів зв'язане з однаковою кількістю електричності чи то позитивної чи негативної. А через те, що еквівалентна

вага зворотно-пропорційна до валентности, то це значить, що кожен атом одновалентного елементу (водень, срібло чи хлор) є зв'язаний з якимсь цілком певним зарядом; атом двохвалентного елементу (кисень, магній, цинк) — зв'язаний уже з подвійним таким зарядом; атом трьох-валентного елементу — з потрійним зарядом, а атом чотирьох-валентного — з зарядом чотирі рази більшим, ніж кожен атом одновалентного елементу.



Мих. Фарадей (1791—1867).

На підставі цього Гельмгольц (1880 р.), прийшов до думки, що електричність, подібно до матерії, також складається з окремих електричних атомів, котрі з'єднуються з атомами хемічних елементів в залежності від їх валентности по одному, по два, і т. д., а ніколи по $1\frac{1}{2}$, $2\frac{2}{3}$, і т. п. Отже атом електричності, подібно до атомів хемічних елементів, зв'язується з атомами цих елементів тільки цілими, а не дробовими числами. Атоми електричності являються одновалентними; *Стоней* назвав їх *електронами*.

Таким чином теорія Гельмгольца впровадила в науку, поруч з хемічними атомами, ще два сорти атомів: атоми позитивної й негативної електричності. Ці атоми, позитивної чи негативної електричності, зв'язуючись із атомами певного елементу, перетворюють його в іон відповідного знаку (катіон чи аніон). «Однак атоми електричності значно відрізнялись од звичайних атомів елементів між іншими також і тим, що вони не могли нібито існувати самотійно,

а все виступали тільки в товаристві атомів хемічних елементів. Очевидно, що уявлення про них мусіло-б бути значно точнішим, коли-б можна було їх спостерігати в стані самостійного існування. Що в дійсності це було можливим, відкрито було при дослідах над проходженням електричної струї через повітря*).

Отже ми знаємо поки-що електрони тільки в стані звязаности з ріжними атомами; але при певних умовах вони можуть існувати також і у вільному стані, як це видно буде далі.

Виникає питання, чи не можна визначити величину заряду цих електронів. До розв'язання цього питання можна підійти таким способом: подбати про визначення кількості електричності, котра звязана з одним грам-еквівалентом якого-небудь елементу.

При де-яких наукових дослідах за одиницю електричності приймають таку її кількість, котра на віддалі 1 см. притягає (при ріжних знаках), або відпиhaє (при знаках однакових) рівну собі кількість електричності з силою 1 дини (одиниця сили). Це є *електростатична одиниця*. Але в електротехнічній практиці таке змірювання не вживається. На міжнародньому конгресі в Парижі (1881 р.) встановлені були практичні одиниці, а саме: одиниця сили електричної струї — *ампер* (сила струї, котра в 1 сек відкладає на електроді 1,118 міліграм. срібла); одиниця напруження — *вольт* (напруження одного елементу Данієля); одиниця спротивлення — *ом* (спротивлення колонки ртуті при 15° Ц. з поперечною площею 1 кв. мм. і довжиною 106,3 см.). Умовились також числити за одиницю кількості електричності таку кількість, котра проходить в 1 сек. через поперечну площу електричного ланцюга в струї силою в 1 ампер; цю одиницю кількості названо *кулон*.

Один кулон рівний $3 \cdot 10^9$ електростатичних одиниць.

Коли 1 кулон звязаний з 0,001118 гр. срібла, котрого грам-еквівалент є 107,88, то значить, що 1 грам-еквівалент срібла звязаний з $\frac{107,88}{0,001118} = 96494$ кулонами (або 1 *фарадеєм* F).

Це означає, згідно з законом Фарадея, що таке ж саме число кулонів звязане з 35,46 гр. хлору, 1 гр. водню, 12,16 гр. магнія, 8 гр. кисня, 9,03 гр. трьохвалентного алюмінія і т. д.

Поділивши 96494 кул. на число грамів, з яким звязаний цей заряд, обчислюємо *кількість електричності, звязану з 1 гр. даного елементу, котра називається питомим його зарядом*. Найбільший

*) Н. А. Kramers und Helge Holst. Das Atom und die Bohrsche Theorie seines Baues. Стоп. 59 (1925).

питомий заряд має водень $\frac{96494}{1} = 96494 \frac{\text{кул.}}{\text{гр.}}$; кисень має пит. зар.

$\frac{96494}{8} = 12062 \frac{\text{кул.}}{\text{гр.}}$; пит. зар. срібла $\frac{96494}{107,88} = 894,4 \frac{\text{кул.}}{\text{гр.}}$. Біль-

шого за питомий заряд водня не може бути, бо він має найменшу еквівалентну вагу; решта елементів має тим менший питомий заряд, чим більшою є їх еквівалентна вага.

Грам-молекула водня містить у собі $60,6 \cdot 10^{22}$ молекул (Авогадрове число); значить і грам-атом водня має таке саме число атомів. Із цих даних можна вичислити величину одного електрону, бо ж з одним атомом водня з'єднується один електрон:

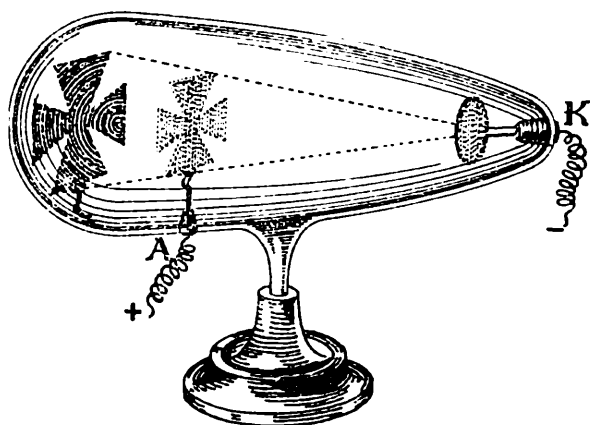
$$e = \frac{F}{N} = \frac{96494 \text{ кул.}}{60,6 \cdot 10^{22}} = 1,59 \cdot 10^{-19} \text{ кул., або } 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ електростатичних одиниць.}$$

Це число називають *елементарним електричним зарядом або елементарним електричним квантом*.

Хоч в явищах електролізу ніби доволі ясно виступає атомістична структура електричності; хоч найпростіше пояснення цього явища дається саме теорією Гельмгольца, але на основі самих тільки даних електролітичних розкладів не можна ще прийти до безсумнівно-вірних висновків відносно дійсного й реального існування електричних атомів двох родів: атомів позитивної й негативної електричності. Серйозний науковий ґрунт під цю теорію підвели досліди над проходженням електричної струї через дуже розріджені гази.

Гітторф (1869 р.) показав, що коли пропускати електричність через гази розріджені до 0,001 мм. тиску (або ще більше), то від катоду починає йти проміння крізь усю рурку, в котрій міститься розріджений газ. Це є т. зв. *катодове проміння*, котре, незалежно від того, де буде поміщений анод, іде від катоду, простолінійно вперед, а коли попадає на скляну стінку рурки, то відповідне її місце починає виявляти флюоресценцію. Поставлені в рурці на дорозі катодового проміння металеві предмети перешкаджають йому проходить далі, а коли на шляху його поставити легенький млинок, то катодове проміння, налітаючи на млинок в напрямі від катоду, починає крутити крила млинка, і навіть сам той легенький млинок відсуває потроху до протилежної катодові стінки. Як що на дорозі катодового проміння поставити металевий хрестик, то він затримує ті частини проміння, котрі на нього падають, і тому на протилежній катодові стінці будуть цілком ясно означені контури

темної фігури в формі такого самого хрестика, який стоїть посередині рурки (мал. 4).



Мал. 4.

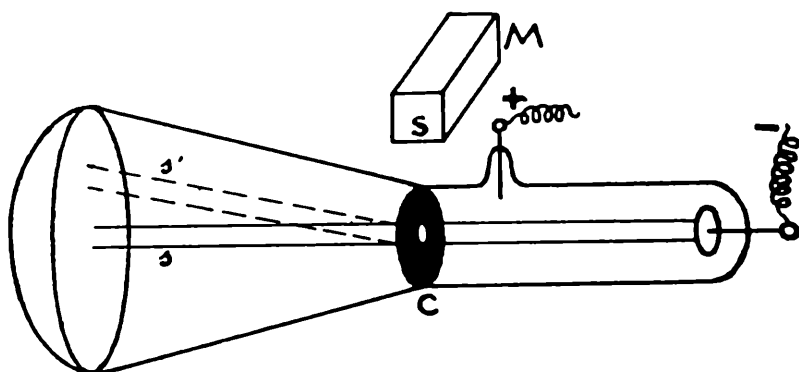
Коли зробити катод у формі угнутого зеркала, то катодове проміння концентрується в певному фокусі; спеціально поставлена в рурці металева ширмочка, на котру припадає цей фокус, сильно нагрівається, коли на неї почне падати сконцентроване на ній катодове проміння.

Ці ефекти *Крукс* пояснював тим, що при проходженні електричності через розріджені гази від катода з великою швидкістю летять молекули розрідженого газу, котрі б'ються або о стінку рурки або о ті металеві предмети, які будуть стояти на шляху їх лету. Власне через це скло рурки починає флюорескувати, млинок молоти, а при скеруванні лету молекул так, що всі вони вдаряються о ширмочку, ця ширмочка нагрівається від великого числа ударів о неї молекул газу.

Однак дальші дослідни над катодовим промінням показали, що воно не є потоком електро-невтральних молекул, бо воно реагує на наближення до рурки бігуна сильного магнету. При наближенні магнету катодове проміння відхиляється від свого попереднього шляху так, як-би само воно було магнетом або як відхиляється в магнетному полі провідник, яким іде негативна електричність.

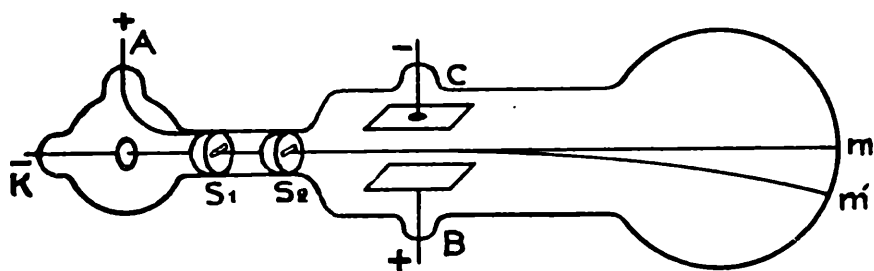
Коли в *Круксовій* рурці (мал. 5) на дорозі катодового проміння поставити ширмочку (с) з кругленькою дірочкою в ній, то тоненьке пасмо проміння (s) упаде на другу ширмочку (С) та спричинить на ній свічення як раз в тій точці, що лежить на продовженні лінії, котра йде від середини катода через центр дірочки. При наближенні

бігуна (S) сильного магнету (M) пасмо катодового проміння змінить свій напрям (s^1) так, що й світла пляма на другій ширмочці з'явиться вже на іншому місці.



Мал. 5.

Явище катодового проміння та його електро-негативну природу легко можна зрозуміти й пояснити, коли припустити, що воно є потоком не нейтральних молекул розрідженого газу, через який пропускається електрична струя, а що це є потік негативно-заряджених часток, які з великою швидкістю летять від катоду. Що катодове проміння справді складається із таких електронегативно заряджених часток, це доводить також характер його відхилення при проходженні через електричне поле.



Мал. 6.

Як що катодове проміння (мал. 6) пропустити через тоненькі щілинки двох ширмочок (S_1 і S_2), то тоненьке його пасмо впаде на стінку рурки в точці m , оскільки два електроди $C(-)$ і $B(+)$ не будуть заряджені.

Однак, як тільки ці електроди заряджаються до високого потенціалу, то пасмо катодового проміння зразу відхилиться у бік *позитивного* електроду та впаде на стінку рурки вже в іншій точці m^1 .

На основі всіх переведених дослідів та наукового аналізу експериментальних даних що-до катодового проміння тепер уже вважається за безсумнівнодоказаний факт, що *катодове проміння є не що инше, як потік негативно-заряджених атомів електричності.*

Спостереження й найточніші змірювання величини магнетного й електростатичного відхилення катодового проміння, переведені *Дж. Дж. Томсоном* дали змогу йому вичислити швидкість лету цих електричних атомів і величину питомого їх заряду. Виявилось, що швидкість лету буває ріжна і залежить від більшої чи меншої розріджености газу, а також від напруження пропущеної через рурку електричної струї; вона доходить до 100.000 кілометрів на секунду, ц. т. рівна $\frac{1}{3}$ швидкості соняшного проміння. Питомий заряд, як ми вже знаємо, найбільший є у водня, бо в нього найменша еквівалентна вага. Але виявилось, що питомий заряд катодового проміння в 1830—1840, а пересічно в 1835 разів більший за питомий заряд водня; він рівняється (96494×1835) 177.000.000 кул./гр., або $1,77 \cdot 10^8$ кул./гр.

Який би не брати газ для дослідження над катодовим промінням, все одно питсмий його заряд не змінється. Отже із цього робиться висновок, що катодове проміння має електричний заряд цілком не зв'язаний з матерією того чи иншого газу, через котрий проходить електрична струя, і що воно складається із цілком вільних і «не зв'язаних з матерією» негативно заряджених електронів.

Треба точно відрізняти два цілком ріжні поняття: «матерія» й «маса». Матерія є реальна річ, об'єкт, котрий може бути предметом фізико-хемічного досліді; маса ж є тільки виявлення певної властивости матерії, вона є атрибут матерії.

Ми не маємо такого мірила, котрим могли б змірювати масу, і через те судимо про неї не просто, а посередньо, вводячи поняття сили. Кожне матеріяльне тіло під впливом сили земного тяжіння падає на землю. Щоб не допустити його впасти, треба вжити певної сили, яка мусить діяти протилежно до сили тяжіння й бути рівною йому. Це явище є причиною *ваги тіла*, бо при вдержуванні тіла на певному рівні, або при здвигненні його вгору треба перемогти силу цього тяжіння. Знов же тіло буде в стані спокою доти, доки на нього не буде впливати якась зовнішня сила. Щоб зрушити тіло з місця, треба прикласти певну силу; тоді це тіло (в умовах абсолютної порожнечі, де нема жадного тертя) буде рухатись в певною швидкістю і в певному напрямі аж до того часу, доки на нього не буде

впливати якась нова сила. Це є явище *інерції маси*. Коли ми оперуємо з двома якимись тілами, при чому виявиться, що для переборення сили земного тяжіння треба вжити різної сили для кожного з цих двох тіл, то це значить, що ці два тіла мають різну масу. Так само, коли для зрушення з місця одного тіла треба прикласти два рази більшу силу в порівнянні з силою, яка потрібна для зрушення другого тіла, то з цього робиться висновок, що перше тіло має масу два рази більшу за масу другого тіла. Отже про масу ми складаємо собі уявлення посередньо, а то власне за допомогою сили.

Як що для зрушення тіла витрачається якусь сума енергії, то ця енергія при певних обставинах виявляється в формі механічної праці, ц. т. кожне тіло, яке рухається, має певний запас т. зв. *кінетичної енергії*. Тіло, здвигнене вгору, має певну *потенціальну енергію*, бо вертаючись на своє попереднє місце, воно виявить (у формі праці) ту саму суму енергії, яка була витрачена перед тим для піднесення його на певну висоту. Із цього видно, що *поняття маси тісно зв'язане з поняттям енергії*, і що ця остання є засобом для нашого уявлення про масу тіла.

Ці міркування слід прикласти також і до електрона, який є в стані руху. Потік летючих електронів є не що інше, як електрична струя. Як відомо, коло електричної струї утворюється магнетне поле; воно представляє собою певну суму енергії, яка може виявитись і в формі механічної праці (притягання або відштовхування предметів). Отже й коло кожного летючого електрону утворюється магнетне поле; значить, такий електрон, окрім своєї кінетичної енергії, має ще й додаткову енергію, що виявляється в магнетному полі, яке коло нього виникає. Через те, що енергія нерозривно зв'язана з масою, то й збільшення енергії летючого електрону понад його кінетичну енергію навні буде нам виявлятися, як збільшення маси електрону. Але це ніби-то збільшення маси електрону є лише уявним збільшенням його маси, бо в дійсності воно визначається енергією магнетного поля, а не кінетичною енергією електрона, яка є просто пропорційною до його маси $\left(= \frac{m u^2}{2}\right)$ Така збільшена маса електрону називається його *електромагнетною масою*.

Електромагнетна маса грає тим більшу роль, чим менший розмір тіла і чим менша *інертна маса тіла*. При звичайних розмірах тіл таке збільшення маси є незначним супроти величини їх інертної маси, але, зважаючи на безмежно-малий розмір електрону, його електромагнетна маса не тільки переважає його інертну масу, але

ця остання впрост не існує, а вся маса електрону виявляється в електромагнетній масі.

Електро-магнетна маса не є постійною, а все збільшується в міру збільшення швидкості електрону, бо при збільшенні швидкості електрону збільшується також і довкільне електро-магнетне поле.

«Після аксіомів звичайної механіки маса матеріяльна важких частинок мусить бути постійна, незалежна від скорости, з якою рух відбувається. Електро-магнетна знов маса, яка бере свій початок в електро-магнетнім полі, буде залежати так само як й само електро-магнетне поле від скорости, з якою електрон перелітає космічний етер.»*)

Через це говорять, що *електрони мають електро-магнетну, або уявну масу*. Ця уявна маса одного електрона (m), на основі математичних обчислень, рівна двом третинам квадрату його заряду (e), поділену на його луч (r) і на квадрат швидкості соняшного проміння (c):

$$m = \frac{2}{3} \frac{e^2}{rc^2}$$

Маса електрона в 1835 разів менша за масу атома водня, яка рівна $1,65 \cdot 10^{-24}$ гр.; отже, маса електрона рівна:

$$m = \frac{1,65 \cdot 10^{-24}}{1835} = 9 \cdot 10^{-28} \text{ гр.}$$

Заряд електрона рівний $4,74 \cdot 10^{-10}$ електростатичних одиниць; квадрат цього заряду буде $22,75 \cdot 10^{-20}$ електр. одиниць. Значить *луч електрона* буде рівний величині:

$$r = \frac{2}{3} \cdot \frac{22,75 \cdot 10^{-20}}{9 \cdot 10^{-28} \cdot 9 \cdot 10^{-20}} = 1,9 \cdot 10^{-13} \text{ см.}$$

Яке ж уявлення можна собі скласти про розмір електрону, коли луч його рівний величині $1,9 \cdot 10^{-13}$? Ми вже говорили, що атом водня виглядав би на кульці дробу так, як виглядає морський буй на земній кулі. Коли уявити собі атом водня завбільшки з земну кулю, то електрон виглядав би тоді так, як куля, завбільшки з високий американський будинок на 40 поверхів, виглядала б коло земної кулі.

На відповіднім місці ми будемо докладніше говорити про ту роль, яку відіграє електрон у будові атомів. Тут лише коротко зазначимо, що він становить складову частину нейтрального атому і при певних

*) В. Кучер. Динаміка електрону. Стор. 2. Запис. мат.-прир.-лік. секц. Н. Т. ім. Шевч. т. XV, вип. 1.

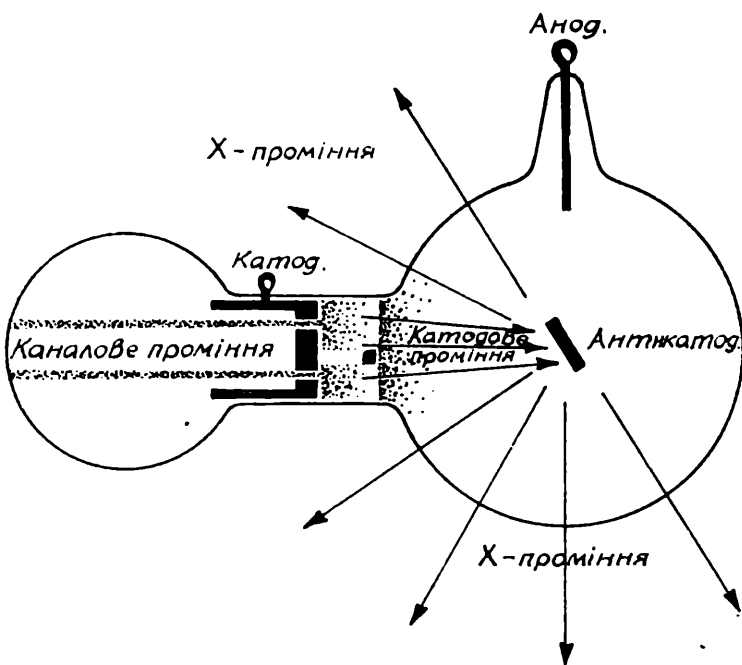
умовах може відірватись від нього та рухатись незалежно від іншої частини атому. В сильному електричному полі легкий електрон рухається з великою швидкістю і тоді спричиняє «катодове проміння».

За Томсоном цю електро-негативну частину атому називають «корпускулою», а ту частину атому, яка залишається після відірвання корпускули (електрона), називають «остатком атому», який власне є не що інше, як позитивно-заряджений іон.

Природу цих атомових остатків пощастило ближче вистудіювати після того, як *Гольдштайн* (1886 р.), ведучи дослідження катодового проміння, відкрив у рурці з розрідженим газом при пропусканні через неї електричної струї існування так званого *каналового* або *закатодового проміння*. Каналове проміння виходить із внутрішньої поверхні оболонки, котра утворюється при виникненні катодового проміння, і, проходячи через дірочки (канали), пороблені в

Схема трьох родів проміння

в Круксовій рурці.



Мал. 7.

катоді, йде в напрямі протилежному до напрямку катодового проміння, як це показано на схемі трьох родів проміння в Круксовій рурці (мал. 7).

Що каналове проміння дійсно йде в напрямі, протилежному до напрямку катодового проміння, це доказується тим, що металевий

предмет, поставлений між ією оболонкою й катодом (на схемі означений чорним квадратом), затримує каналове проміння так що воно вже не поширюється по другий бік перепони, поставленої на шляху його лету.

Досліди Віна (1898 р.) показали, що каналове проміння також реагує на електростатичні й магнетні впливи, але як раз протилежно до того, як на них реагує катодове проміння. Із цього виходить, що каналове проміння заряджене *позитивно*.

Змірювання електростатичного й магнетного відхилення, подібно до того, як це було й при змірюванні цих відхилень у катодового проміння, показали, що швидкість лету каналового проміння різна, але значно менша за швидкість катодового проміння; вона становить від $\frac{1}{1000}$ до $\frac{1}{500}$ швидкості соняшного проміння, ц. т. рівна 300—600 кілометрів на секунду. Питомий заряд каналового проміння або рівний 96494 кул./гр., або менший за цю величину, при чому він змінюється в залежності від того, який розріджений газ береться для досліду над цим промінням. Це показує, що позитивна електричність в каналовому промінні, в протилежність до негативної електричності в катодовому проміні, не є у стані вільному, а все зв'язана з частками відповідного газу, взятого до руки при досліді, ц. т. *позитивних електричних атомів без матерії не знайдено*.

Всі ці дані переведених дослідів знаходять собі пояснення в тому, що природа позитивно-заряджених атомових остатків залежить, очевидно, від природи газу, взятого при досліді. Атомовий остаток значно масивніший за електрон, бо, як ми вже знаємо, маса електрону становить $\frac{1}{1835}$ маси найлегшого з усіх газів водневого атому. Через це, під впливом електричного поля, цей остаток рухається зі значно меншою швидкістю в порівнянні до швидкості електрону. Несучи позитивний заряд, цей іон, ясно, мусить направлятися в бік, протилежний до напрямку лету негативних електронів. Коли електричне поле стає досить сильним, а газ буде настільки розріджений, що окремий іон не часто зустрічається з іншими атомами газу, то тоді іони починають рухатись доволі швидко, і таким чином повстає «позитивне» або каналове проміння.

Електрони можуть одриватись, як від атомів, так і від молекул газів. Значить і атоми, й молекули можуть перетворитись із нейтральних на позитивно-заряджені, ц. т. каналове проміння можуть утворити також як атоми, так і газові молекули.

Під впливом сил магнетного й електричного поля позитивно

заряджені іони й молекули будуть виказувати відхилення більші чи менші в залежності від їх мас, при чому кожна газова частка характеризується *індивідуально* певною степенню такого відхилення, а не якоюсь такою мірою відхилення, що має пересічне значіння для величезної кількості тих газових часток.

Однак по шляху свого лету позитивно-заряджена газова частка може зустрінути один або й більше число електронів. В такому разі вона їх приєднує до себе та або знов перетворюється на електро-неутральну частку або стає навіть електро-негативною в залежності від числа прилучених електронів. Цілком очевидно, що електро-неутральні газові частки в електро-магнетному полі не виказуватимуть жадного відхилення від простолінійного напрямку свого лету, але електро-негативні частки, навпаки, будуть виказувати відхилення, протилежні до тих, які виказують електро-позитивні газові частки, що утворюють каналове проміння.

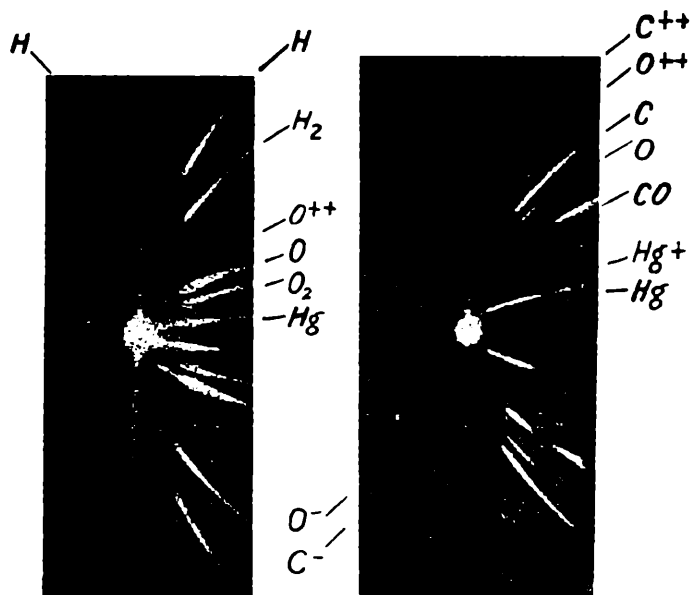
Досліди *Дж. Дж. Томсона* (1913 р.), а особливо *Ф. Астона* (1920 р.) показали, що дійсно носіями позитивних атомів електричності являються не тільки окремі атоми газів, але й їх молекули. Досліджуючи каналове проміння під впливом магнетних та електро-статичних сил, вони констатували, що позитивна електричність зв'язана буває з різними масами, які під впливом цих сил виказують різне відхилення.

Позитивне каналове проміння ні що-до швидкості, ні що-до питомого заряду окремих його часток майже ніколи не буває однородним. По-перше, який би не брати газ для досліду, в ньому завжди будуть хоч незначні домішки інших газів; а по-друге, навіть частки того самого газу можуть бути заряджені звичайним або подвійним чи потрійним зарядом. Отже питомий заряд цих-

часток $\left(= \frac{e}{m} \right)$ не буде однаковий. Крім того і їх швидкості також неоднакові, бо не всі такі частки по шляху свого лету зустрічають однакове число інших часток, з котрими вони зударюються і котрі через це впливають на швидкість їх руху.

Якщо тоненьке кругле пасмо каналового проміння попадає на фотографічну пластинку, то на ній зафіксується темною плямою те місце, куди попало проміння. Коли на каналове проміння не впливає ні електричне ні магнетне поле, то ця пляма буде положена на продовженні осі тонкої рурки, через котру проходить проміння. Це буде т. зв. «неодхилена пляма». Инакше буде справа представлятись тоді, коли на таке тоненьке пасмо каналового проміння

будуть одночасно впливати магнетні й електростатичні сили, що діють у площинах взаємно до себе перпендикулярних. Тоді під впливом електричного поля частки відхиляться вгору, а під впливом магнетного поля вони одночасно відхиляться вбік. Але ступень відхилення в обох напрямках буде залежати з одного боку від швидкості часток, а з другого боку від питомого їх заряду. Частки однакового питомого заряду, але різної швидкості, упадуть на фотографічну пластинку в різних точках, які положені дискретно й утворюють певну криву лінію. Знов же частки иншого питомого заряду утворюють иншу подібну криву лінію, бо й серед цих часток також не всі рухаються однаково швидко. Ці криві лінії мають форму *параболи*. Отже, коли через розріджену мішанину газів пустити електричну струю і потім піддати утворене каналове проміння під вплив електричного й магнетного поля, то на фотографічній пластинці явно зафіксується кілька окремих парабол, відповідно до заряду і швидкості газових часток (мал. 8).



Мал. 8.

Таким способом «електромагнетного» аналізу, котрого творцем треба вважати Дж. Томсона, було встановлено, що одночасно існують, напр., позитивно-заряджені атоми водня H^+ , а також позитивно заряджені молекули його H_2^+ і (навіть H_3^+). Разом з тим, серед позитивно зарядженого каналового проміння констатовано було присутність негативно-зарядженого проміння, так що одночасно існують також і негативно-заряджені атоми водня H^- . Так само знайдено було O^+ і O^- C^+ і C^- , як це видно на наведеному тут (м. 8) фотографічному образі типових парабол позитивного проміння.

Зафіксувавши на фотографії різні відхилення, Астон установив цілу скалку, по котрій можна точно визначати масу тих атомів чи молекул, які являються носіями позитивної електричності в каналовому промінні; таким чином спектрограми мас дають до розпорядження дослідника нову методу аналізу газів. Досліджуючи каналове проміння в хлорі за допомогою цієї методи, Астон виявив, як уже сказано, присутність часток цього газу з масою 35 і 37 (ізотопи), але зовсім не знайшов часток з масою рівною 35,46, котру звичайно вважають за релятивну масу атома хлору. Цей новий методологічний спосіб відкриває широкі перспективи для аналітичного дослідження атомово-молекулярної структури матерії; кажучи словами Томсона, завдяки цій методи відкривається нова хемія. Тепер уже розкладено на ізотопи: літій, магній, силіцій, бром та інші хемічні елементи, котрі до цього часу уважались за «хемічні індивіди», що складаються із цілком тотожних часток.

Треба згадати ще про один рід проміння, котре виникає в рурці з розрідженим газом поруч з катодовим та каналовим промінням. Це є *X-проміння* або *рентгенове проміння*, котре було відкрито Рентгеном (1895 р.), коли він працював над дослідженням катодового проміння і котре названо його іменем. Властивості й природи рентгенового проміння цілком одмінні від інших двох родів проміння, з якими воно разом виникає. Виникає ж воно в той момент, коли катодове проміння вдаряється о якийсь твердий предмет — антікаторд, котрий звичайно робиться із твердого металу (платина, вольфрам). Як показали вже пізніші досліди, воно не є потоком матеріальних часточок, а являється особливою світляною радіацією. Це проміння не реагує на електро-магнетні впливи, ц. т. воно не носить жадного електричного заряду. Натомісць воно проходить через папір, різні матерії, мускульні тканини, і то навіть значної товщини, але не проходить через кістки та не дуже тонкі металеві предмети; фотографічні пластинки воно затемнює. На цьому основане примінення його для різних медико-хірургічних цілей. Показчик переломлювання рентгенового проміння і кут одсвіту його надзвичайно мало відрізняється від 1 (менше одиниці); при проходженні через найдрібнішу решітку воно не виказує явища дифракції, так що довжина його хвилі повинна бути значно меншою за довжину хвиль червоного, фіолетового, а навіть ультра-фіолетового проміння. Це було потверджено дослідами Лауе (1912), котрий скористався для дослідження над дифракцією рентгенового проміння «натуральною дифракційною решіткою», яка в природі утворюється молекулами кристалів.

Ці дослідження показали, що довжина хвиль рентгенового проміння є в дійсності порядку 10^{-8} см., ц.т. приблизно в 1000 разів менша за довжину хвилі ультра-фіолетового і майже в 10.000 разів менша за довжину хвилі відомого для ока проміння.

Гага й Вінд (1899 р.) обчислили довжини хвиль рентгенового проміння такі: для «твердого» проміння $\lambda = 0,18\mu\mu$, а для «м'якого» проміння $\lambda = 0,5\mu\mu$.*)

У своїх дослідках над дифракцією рентгенового проміння Лауе виходив із тієї думки, що коли це проміння являється промінням світляної природи, то його хвилі мусять також підпадати інтерференції, в наслідок дифракції при проходженні його через дифракційну решітку, подібно до того, як це є з промінням соняшного світла.

Із оптики відомо, що коли через вузьку щілинку пропустити проміння певної барви, а значить і з певною довжиною його хвилі (для червоного $\lambda = 800\mu\mu$, для фіолетового $\lambda = 400\mu\mu$, для невидимого ультра-фіолетового $\lambda = 100\mu\mu$), то це проміння проходить через ту щілинку і дає на екрані її образ. Але коли по шляху проміння між щілиною й екраном поставити дифракційну решітку, то на екрані вже буде видно не один, а кілька образів тієї щілинки: один образ просто проти щілинки, а інші вправо і вліво від нього на певній дистанції; ця дистанція залежить од величини λ і буде тим більшою, чим більшою є λ . Це й є дифракція світла. Пояснюється вона тим, що проміння, проходячи через дифракційну решітку, відхиляється від простолінійного шляху, при чому де-які хвилі його через інтерференцію взаємно збавляються і лише тоді, коли різниця між ними буде рівна довжині λ , 2λ , 3λ і т. д. відповідна хвиля усилюється та дає на екрані ясний образ щілинки.

Явище дифракції можна спостерегти тільки в тому разі, коли дифракційна решітка є дуже дрібна. Її приготують звичайно так, що на склі надзвичайно густо робляться нарізи за допомогою спеціальної машини (на 1 міліметр робиться до 200 нарізів).

Як що через таку решітку пропустити біле (мішане) світло, то в залежності від величини λ кожної складової частини білого світла ясні образи щілинки різної барви ляжуть на екрані один за другим в порядку величин λ , і таким чином на екрані з'явиться, замість образу щілинки, повний спектр барв розкладеного соняшного проміння від червоної аж до фіолетової.

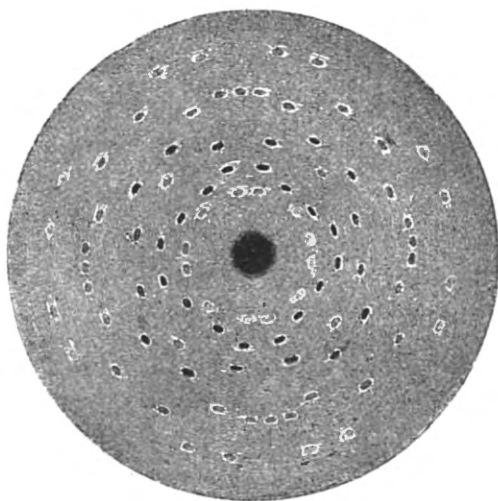
Отже, коли рентгенове проміння досліджувалось також пропу-

*) В. Кучер. Основи електроніки. Ст. 37. Збірн. мат.-прир.-лік. секц. Н. Т. ім. Шевч., том XIII.

сканням його через дифракційні решітки, то воно не виказувало жадних ознак дифракції, хоч для таких дослідів приготувались надзвичайно дрібні решітки (до 2000 нарізів на 1 міліметр); дрібніших технічно не можна вже було виготовити.

Однак всі невдачі спроб спостерегти дифракцію рентгенового проміння Лауе витолкував не як доказ відсутності такої дифракції, а лише як недосконалість засобів, котрі примінявались для досягнення цього явища в рентгеновому промінні. Коли в дифракційній решітці ширина нарізів повинна бути не більшою, як 50λ , для того, щоб появилась дифракція, то очевидно, що коли-б λ рентгенового проміння була в 1000 разів меншою, то й ширина нарізу мусіла б бути відповідно меншою і на 1 мм. їх треба було б зробити яких, може, 500.000 а то й 1.000.000. А цього зробити механічними засобами не можна, ц. т. штучно виготовити таку решітку, яка б спричинила дифракцію рентгенового проміння, також неможливо.

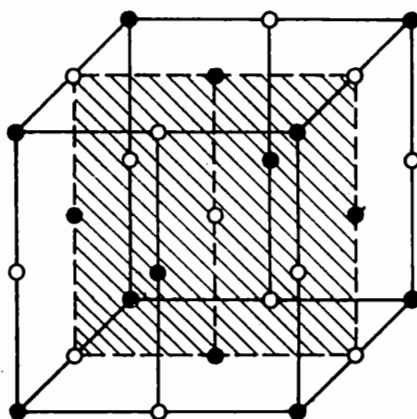
Обставина ця підказала Лауе щасливу ідею — шукати в природі решітку з відповідною дрібною градуїровкою. І він її дійсно знайшов, взявши для своїх дослідів кристал цінкової обманки (Zn S). Пропустивши через цей кристал тонке пасмо рентгенового проміння і зфотографувавши його, Лауе та його співробітники Фридрих і Кніплінг побачили, що навкруги чорної плями в середи-



Мал. 9.

ні фотографії симетрично положені також і дифракційні образи того пасма проміння (мал. 9). Це було блискучим потвердженням правдивості погляду на рентгенове проміння, як на проміння світляної природи, бо його дифракція була доказана.

Коли якась речовина не є аморфна, а, навпаки, здатна до кристалізації, то в процесі кристалізації її молекули розміщуються все однаковим способом (оскільки ця речовина не диморфна чи не поліморфна). Пояснюється це тим, що молекули речовини мають різну силу притягання в різних напрямках. Під впливом цих сил молекули укладатимуться однаково, через це й сама кристалічна форма для певної речовини буде все однаковою. На подібного рода внутрішній зв'язок між взаїмними положеннями молекул і геометричною формою кристалу вказував уже французький учений *Баве* (1850 р.). Він представляв, напр., що кристал кухонної соли NaCl складається із величезної кількості безмірно малих кубиків. В кожному розі такого кубика і в середині кожної зовнішньої площини міститься атом Na ; в центрі кубика та посередині кожної грані міститься атом Cl , як це показано на слідуючій схемі (мал. 10).

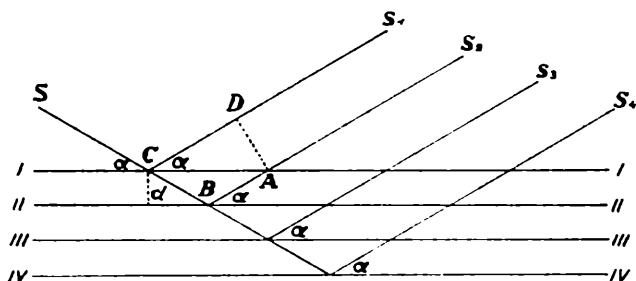


Мал. 10.

З цієї схеми видно, що кожний натрієвий атом (означений точкою) во всіх боків оточений хлоровими атомами і, навпаки, кожен хлоровий атом (означений кружком) міститься серед натрієвих атомів. Передня, середня (закреслена) і задня площина кубика утворюють три паралельні площини, які знаходяться одна від одної на віддалі безмірно-малої величини, відповідно до такого ж безмірно-малого розміру і самих натрієвих та хлорових атомів.

Виходячи з такого уявлення про структуру кристалів, англійці *В. Г.* і *В. Л. Бретті* (батько й син) дали пояснення явищам інтерференції при проходженні рентгенового проміння через кристали. Згідно з їхнім поясненням в кристалі є ряд паралельних сітчастих площин, котрі утворюються відповідно положеними атомами і від котрих одсвічують проміні, що під певними кутами надають на них. В залежності від довжини хвилі проміні ці ін-

терферують, збавляються взаємно, або усилюються, коли різниця між ними буде рівна цілому числу λ .



Мал. 11.

На мал. 11 числами I—IV означені чотири паралельних сітчастих площин: S_1 — S_4 — паралельні проміні рентгенового проміння; α — «кут блиску» — дуже малий кут, під яким падає проміння на ці площини; S — відсвічений промінь, не збавлений через інтерференцію, а навпаки, усилений, бо різниця шляхів промінів S_1 — S_4 рівна цілому числу λ . Ця різниця шляхів S_1 і $S_2 = AB + BC - DC = \lambda$. Коли віддаль між двома сітчастими паралельними площинами означити через d , то $\lambda = 2d \sin \alpha$. (для кристалів, напр., кухонної соли $d = 2,8 \cdot 10^{-8}$).

Отже під певним кутом α проміння відсвічуватиме лише в тому разі, коли воно має певну величину λ . Коли ж у пасмі паралельного проміння змішані проміні з різною довжиною хвилі, то лише проміні з λ відсвічуватимуть під цим кутом α ; інші ж проміні з λ_1 , λ_2 і т. д. не будуть відсвічувати, бо це може статись, як видно з попереднього міркування, лише тоді коли вони впадуть на паралельні сітчасті площини під іншими кутами α_1 , α_2 і т. д.

Навпаки, коли пустити на кристал непаралельні проміні з різною довжиною хвиль, то вони впадуть на паралельні площини під різними кутами і відповідно до величини λ , λ_1 , λ_2 і т. д. відсвітяться в різних напрямках, під кутами α , α_1 , α_2 і т. д. у формі віяла.

Таким способом було не тільки констатовано, що рентгенове проміння є мішаниною промінів світляної природи з різною довжиною хвиль («тверде» й «м'яке» проміння), але було вчислено також і довжину самих хвиль різних складових частин «рентгенового спектру», при чому виявилось, що довжина хвиль проміння зменшується в міру того, як збільшується його «твердість», ц. т. його здатність проникати в глибину твердих тіл.

Ми не будем тим часом задержуватись над детальнішою характеристикою різних складових частин рентгенового проміння. Зга-

даємо тут лише, що досліди *Баркла* показали, що коли взяти за *антикато́д* якийсь хемічний елемент, то під впливом катодового проміння цей елемент починає кидати рентгенове проміння цілком певної твердості, характеристичної для даного елементу. Загально можна сказати, що твердість проміння збільшується в міру збільшення атомової ваги елементів. В елементів з меншою атомовою вагою знайдено т. зв. серію *K*-проміння; в елементів з середньою атомовою вагою знайдено серію *K*-проміння і серію *L*-проміння і нарешті в елементів з великою атомовою вагою знайдено серію *M*-проміння. Кожен сорт проміння (*K*, *L* і *M*) має характеристичну для нього твердість: найтвердішим являється *M*-проміння; *L*-проміння є вже м'якше, а *K*-проміння найм'якше.

Крім того досліди *Мозеля*, а особливо *Зібана* показали, що кожен сорт цього проміння розкладається на кілька окремих, особливо ясно видних ліній, які всі разом утворюють *K*-спектр, *L*-спектр і *M*-спектр, із котрих *K*-спектр складається з п'яти ліній ($K\alpha_1$, $K\alpha_2$, $K\beta_1$, $K\beta_2$ і $K\gamma$), *L* спектр складається з 10—14 ліній і *M*-спектр із 3—5 ліній. Довжина хвиль тих ліній, які відповідають одна одній у різних елементів, знаходиться в цілком певному й постійному відношенні до місця відповідного елемента в періодичній системі, або правильніше буде сказати, числа колихань знаходяться в простому відношенні до порядкового числа елемента в тій системі.

Було спостережено також, що рентгенове проміння розряжує наелектризовані тіла. Як показали дальші досліди, при проходженні рентгенового проміння через газ, утворюються рухливі іони, котрі знов рекомбінуються у неутральні молекули, коли немає електричного поля, або рухаються вздовж силових ліній цього поля так довго, доки зрештою не долітають до провідника електричності, котрий вони розряжають, чи до ізолятора, котрий вони, навпаки, заряджають, сддаючи їм свої заряди. По степені розряджування цими рухливими іонами відповідних провідників визначається степінь іонізації газу.

Коли іони противних знаків під впливом сил електричного поля скупчуються зрештою в різних місцях, то тоді вже більше не виникає явищ рекомбінації.

Підсумовуючи все сказане тут про різні роди проміння, котре виникає в рурках з розрідженим газом. (Круксові рурки) при пропусканні через них електричної струї, ми можемо тепер звести схематично всі ці роди проміння до таких трьох категорій:

А. *Катодове проміння* є проміння «безматеріальне», з не-

гативним зарядом; складається воно з негативно заряджених атомів електричності — з *електронів*.

Б. Каналове проміння — проміння «матеріальної» природи, з позитивним зарядом; складається з атомів чи молекул відповідного газу, зв'язаних з позитивно зарядженими електричними атомами.

В. Рентгенове проміння — проміння світляної природи, не зв'язане з матеріальними частками й не заряджене електричністю.

Всі ці три роди проміння пощастило штучно утворити в умовах кабінетно-лабораторних дослідів подібно до того, як можна так само штучно утворити де-які ефекти (хоч би з тою ж таки електричною струєю), котрі в більш грандіозних розмірах відбуваються навколо нас у природі.

Це як раз має місце що-до описаних вгорі трьох родів проміння, котрі з'являються в Круксових трубках при пропусканні через них електричної струї, ц. т. котрі утворюються в штучно скомбінованих умовах наукових експериментів.

Досліди показали, що всі згадані три роди проміння існують в природі, а невичерпаним їх джерелом являються *радіоактивні хемічні елементи*.

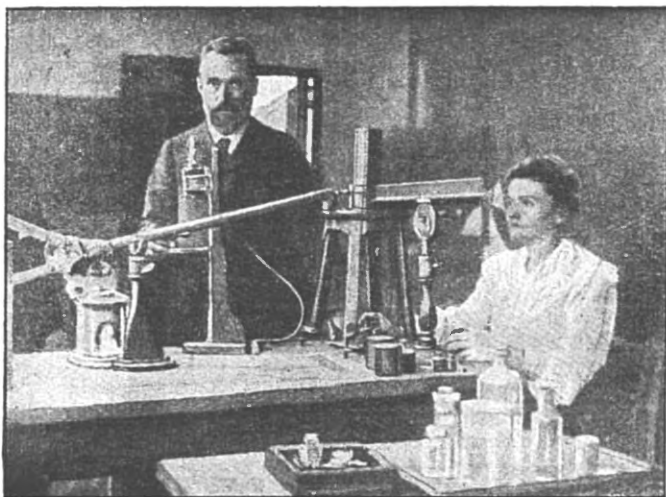
Перший елемент, радіоактивність якого відкрив *Беккерель* (1896), був *уран*, котрий і в виді металу і в різних сполученнях з иншими елементами виявляв специфічні властивості. Вони полягали в тому, що уран спричиняв затемнення фотографічної пластинки (навіть загорненої в темний папір), викликав флуоресценцію де-яких тіл, іонізував гази, так що вони ставали провідниками електричності. Ці специфічні властивості урану пояснювались тим, що він випускав спеціальне проміння, через що всі подібні до урану елементи стали називатись радіоактивними (*radius* по лат. луч, промінь).

Трохи пізніше *Г. Шмідт* і *М. Складовська-Кюрі* (1898 р.) констатували, що і всі сполучення *торія* так само виявляють себе радіоактивними, а через рік *Дебєрн* (1899 р.) відкрив ще один радіоактивний елемент, названий *актинієм*.

Силу іонізації газів, яку спричиняють радіоактивні елементи, можна змірювати через визначення скорости розряду зарядженого електроскопу. За поміччю цієї методи встановлено було, що радіоактивний вплив уранових солей пропорційний до кількості урану в тих солях; із цього виходить, що радіоактивність зв'язана з елементом ураном і являється властивістю його атомів, котра не

залежить зовсім від хемічного звязку їх з атомами інших елементів та від природи цих останніх.

Під час своїх досліджень над радіоактивністю різних мінералів, у склад яких входив уран, *М. Кюрі* спостерегла, що природний халколіт—фосфорно-кисла мідь і фосфорно - кислий уран — виявляє ненормально велику, майже подвійну радіоактивність у порівнянні з чистим ураном, в той час, коли штучно виготовлене сполучення, близьке своїм хемічним складом до натурального халколіта, виявляло цілком нормальну степен ь радіоактивности. Ця обставина навела *М. Кюрі* на думку, що підвищену радіоактивність халколіта спричиняє якийсь невідомий елемент, котрий супроводить уранові сполучення і сам являється більше радіоактивним, ніж уран. Думка ця оказалась правдивою. Невідомий елемент супроводив уранові солі в надзвичайно невеликій кількості, і тому панству *П. і М. Кюрі* прийшлося опрацювати тисячі кілограмів смоляної руди із Йоахимсталю (*Jachymov*, Чехія), в якій був уран у виді U_3O_8 . Ім удалося нарешті виділити (1898 р.) кілька десятих частин грама чистого хемічного сполучення невідомого до того часу елементу, названого *радієм* за його надзвичайну силу радіоактивности.



П. і М. Кюрі в своїй лабораторії.

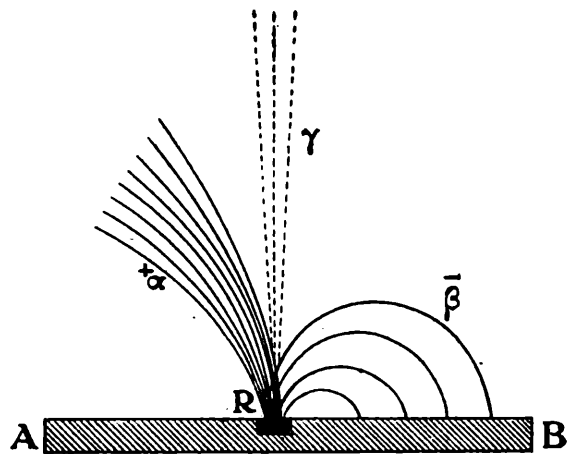
Через 12 років після того (1910 р.) *М. Кюрі* разом з *Дебєрном* добули шляхом електролізу із хлораку радія чистий металевий радій, котрий і оказався носієм усієї радіоактивности тієї солі, із якої його було добуто.

Крім своєї високої степен ь радіоактивности радій нічим не відрізняється від кожного иншого хемічного елементу і його,

очевидно, можна було б знайти звичайними методами хемічного аналізу, коли б його в природі було більше, ніж у дійсності є. Лише надзвичайно мала кількість його (на 1 гр. уранового мінералу приходить лише 0,0003 міліграма радія) не дозволяла відкрити його звичайними хемічними методами, а відкриття його уможливлено було тільки завдяки спектроскопічним змірюванням, котрі виявляють присутність радія навіть в кількості 0,00001 міліграма.

Всі ці радіоактивні елементи оказались з дуже високою атомовою вагою: уран — 238,2; торій — 232,4; актиній — (227?); радій — 225,97. Нововідкриті радіоактивні елементи розміщені були в періодичній системі хемічних елементів відповідно до їх хемічних властивостей. Зокрема радій виявляв властивості подібні до властивостей барія, і тому заняв вільне місце в періодичній системі в II групі, ставши вищим гомологом тієї підгрупи, до якої належить і барій.*)

Як уже сказано, радіоактивність хемічних елементів пояснюється тим, що вони випускають із себе особливе проміння. Точніші досліди над радіоактивним промінням показали, що воно складається із трьох родів і віжних промінів, котрі можна відділити одні від других за поміччю магнету.



Мал. 12.

Коли на підставці АВ (мал. 12) покласти невелику кількість радіоактивного елементу (чи його сполучення) R і наблизити до нього північний бігун сильного магнету, то частина проміння від-

*) Не буде, мабуть, безінтересним побіжно зазначити тут, як впливають радіо-елементи на розвиток рослинного організму. Досліди проф. чеської техніки в Празі *Стокласи* показали, що при домішці до ґрунтової землі урану дуже слабкої концентрації — приблизно $2\frac{1}{2}$ кг. на 1 гектар — не тільки значно підвищується урожайність зеленини, цукрового буряка, овочів та збіжжя (до 43% вище, ніж за звичайних умов), але рослини раніше поспівають та краще спротивляються впливам погоди.

хилиться *направо* (β -проміння), частина відхилиться *наліво* (α -проміння), а частина жадного відхилення не виявляє і йде *просто-вперед* (γ -проміння).

Те, що α і β -проміння під впливом сил магнетного поля відхиляються наліво й направо від простолінійного напрямку, показує так само, як і у випадкові каналового й катодового проміння, що ці два роди проміння радіоактивних елементів складаються із часток, які несуть певні електричні заряди. Напрямок відхилення свідчить про те, що α -проміння несе позитивний заряд, а β -проміння заряджене негативно.

Виникає питання про природу цих часток заряджених електричністю протилежного знаку. Відповідь на це питання дають змірювання магнетного й електростатичного відхилення, аналогічні до таких самих змірювань катодового й каналового проміння, на підставі котрих дається визначити швидкість і питомий заряд часток обох родів проміння.

Ці змірювання показали, що β -проміння являється нічим іншим, як негативно зарядженими електронами; відрізняється воно від катодового проміння тільки більшою швидкістю своїх часток. Частки β -проміння мають здібність проходити в глибину твердих тіл на кілька міліметрів. На певній глибині воно вже на половину втрачає свою інтенсивність, і тому ця глибина носить назву «товщини половинного проникання промінів». Товщина половинного проникання (Halbwertsdicke) β -проміння різних радіоактивних елементів у глибину напр. алюмінієвої пластинки є різною: так для радія = $2,2 \cdot 10^{-3}$ см., для радіоактинія = $4 \cdot 10^{-3}$ см.; для торія = $4,5 \cdot 10^{-3}$ см. *)

Швидкість руху часток β -проміння лежить в межах між 100.000 і майже 300.000 кілометрів у секунду, ц. т. $1 \cdot 10^{10}$ — $3 \cdot 10^{10}$ см/сек.

Питомий заряд β -проміння оказався рівним приблизно $1,7 \cdot 10^8$ кул./гр., ц. т. він має величину рівну величині заряду катодового проміння. Але ж при визначенні питомого заряду β -проміння виявилось, що в міру того, як швидкість часток цього проміння наближається до швидкості соняшного проміння, величина питомого заряду все падає. При різних швидкостях він є такий: **)

*) K. Fajans. Radioaktivität.

**) Grätz. Atomtheorie, стор 28 і Я. Френкель. Строение материи, ч. 1, стор. 85—86.

ТАБЛИЦЯ VI.

Швидкість (в абсолютн. одиниц.)	Питомий заряд (в кулон/грам.)	Швидкість (в % швид. со- няш. пром.)	Питомий заряд (% норм. вел.)
$1,00 \cdot 10^{10}$ см./сек.	$1,77 \cdot 10^8$ кул/грамм.	33	100
$1,50 \cdot 10^{10}$ „	$1,77 \cdot 10^8$ „	50	100
$2,36 \cdot 10^{10}$ „	$1,31 \cdot 10^8$ „	79	73
$2,48 \cdot 10^{10}$ „	$1,17 \cdot 10^8$ „	83	66
$2,59 \cdot 10^{10}$ „	$0,97 \cdot 10^8$ „	86	55
$2,72 \cdot 10^{10}$ „	$0,77 \cdot 10^8$ „	91	43,5
$2,83 \cdot 10^{10}$ „	$0,63 \cdot 10^8$ „	94	35,5

Отже, коли швидкість β -проміння становить 94% швидкості соняшного проміння, то питомий заряд його зменшується тоді майже в три рази. Це мало б ніби-то означати, що відповідно до збільшення швидкості часток β -проміння збільшується також і їх маса; але в дійсності це свідчить лише про те, що частки β -проміння мають уявну, електромагнетну масу і являються «безматеріальними», негативно зарядженими атомами електричності цілком подібними до тих, із яких складається також і катодове проміння. Заряд кожної частки β -проміння $(e) = 1,59 \cdot 10^{-19}$ кул., ц. т. є тим самим елементарним електричним квантом. Але, аналогічно до маси електрону, уявна маса β -частки не є інваріантною (незмінною): вона збільшується в міру збільшення її швидкості.

Серед усіх трьох родів проміння, яке випускають радіоактивні елементи, найбільший інтерес представляє α -проміння, котре становить коло 90% цілої радіоактивної енергії тих елементів. Відповідні досліди й змірювання показали, що частки α -проміння мають швидкість, котра варіює в межах 15.000 — 60.000 кілометрів на секунду, або $0,15 \cdot 10^{10}$ — $0,6 \cdot 10^{10}$ см./сек. Із трьох родів проміння α -проміння має найменшу здібність проникати в товщу твердих тіл, при чому α -проміння з певною швидкістю проникає на цілком певну глибину такого тіла, далше котрої воно вже себе ніяк не виявляє і цілком зникає. Так само й у газах α -проміння пробігає тільки на певну віддаль, а потім раптом зникає. Шлях, котрий пробігають α -частки в певному осередкові (метал чи газ), є пропорційний до кубічної степені швидкості їх руху. Так у повітрі вони пробігають шлях 2,7—8,6 см., а в алюмінієвій пластинці α -проміння найбільшої швидкості цілком зникає вже на глибині 0,06 мм.

Дуже характеристичним для α -проміння є те, що після пробігу певного шляху воно раптом зникає. Ця дистанція пробігу називається «найдовший шлях» (Reichweite). На протязі всього цього

шляху α -проміння виказує себе здатним іонувати гази та впливати на фотографічну пластинку, але за певною границею ця його здатність різко зникає, ц. т. його активність не зменшується ступнево, як то буває, коли проміння потроху тратиться в зокільному оточенні, а впрост обривається.

Безпосереднє змірювання питомого заряду α -проміння дало величину 48.200 кул./гр., ц. т. величину такого самого порядку, як і в іонах при електролізі. Значить із цього треба зробити висновок, що й тут позитивний заряд зв'язаний з матеріяльними частками, як це є і в каналовому промінні. Ми бачили, що питомий заряд атома при електролізі рівний числу 96494, поділеному на еквівалентну вагу елементу; отже в даному випадкові (96494:48200) еквівалентна вага мала б бути (відносно водня) рівною 2. Але таких атомів з еквівалентною вагою 2 невідомо. Однак, можливо, що атом несе не один, а подвійний заряд; тоді його вага була б рівною 4, ц. т. була б рівна атомовій вазі гелія.

Це питання було розв'язане на основі таких даних. *Крукс* (1903 р.) і інші дослідники спостерегли, що коли α -частки падають на екран із сірчаного цинку або діаманту, то вони спричиняють на ньому світляні ефекти в виді іскринок, які можна бачити крізь лупу. Це явище носить назву *сцинтиляції* (scintilla — іскра). *Крукс* одразу припустив, що кожна іскринка означає те місце, де об екран ударяється одна α -частка, так що тут є можливість безпосередньо спостерігати ефект, викликаний окремою часткою. «Іншими словами, каже *Перрен*, ми не бачимо гранати, але бачимо пожеж у тому місці, куди ця граната поцілила».

Резерфорд (Rutherford) а також *Ретенер* та *Гайтер* (1908 р.) підраховали, з одного боку, число таких сцинтиляцій (n), котрі спричиняє певний радіоактивний препарат в одиницю часу, а з другого боку, визначили заряд позитивної електричності (E), котрий переноситься α -промінням того самого препарату, і також в одиницю часу. Значить $\frac{E}{n}$ відповідає зарядові одної сцинтиляції; він виказався рівним як раз $2e$. Звідси цілком очевидно, що α -частка має подвійний заряд у порівнянні з іоном водня, ц. т. стало цілком правдоподібним, що α -частка являється нічим іншим, як атомом гелія, зарядженим подвійним позитивним зарядом. Але це треба було ще доказати безпосередніми дослідями, що власне й зробили раніше *Рамзей* і *Содді* (1903 р.), а пізніше *Резерфорд* і *Ройдс* (1909 р.). Експеримент був переведений так: рурка, в якій поміщено було препарат радія, останніми двома вченими приго-

тована була так, що крізь її стінки могли проходити α -частки, котрі рухаються з великою швидкістю, але звичайні атоми гелія крізь них не проходили. Через кілька днів, коли радій виділив еманцію радія, а ця остання розпалась, знов виділивши α -проміння, то виявилось, що на стінках зовнішньої муфти, в яку була поміщена згадана тонкостінна рурка, осів гелій, присутність якого легко могла бути сконстатована за допомогою спектрального аналізу по його характеристичному спектрові.

Еманція радія недовго існує і скоро розпадається, але її все знаходять разом з радієм, із якого вона виникає. Коли розчин радієвої соли нагріти, то еманція радія видалюється, але й сама та радієва сіль виділяє α -частки, і знов таки появляється гелій.

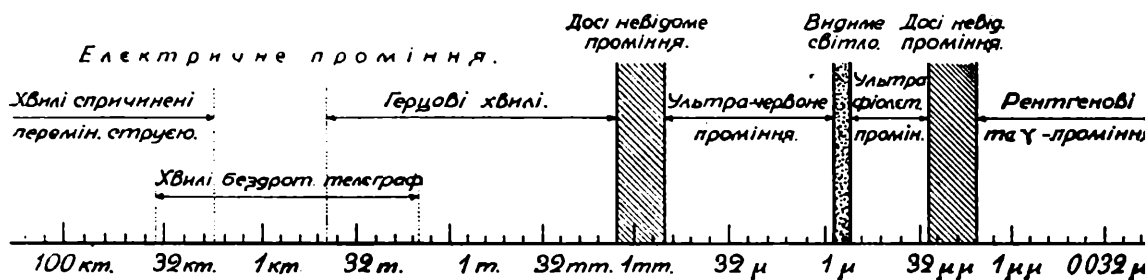
Отже повстання гелія зв'язане з виділенням α -часток при розпаді радіоактивних елементів. Значіння цього факту стане ясним, коли в дальшому буде мова про розпад атомів хемічних елементів,

Резерфорд вичислив, що 1 гр. радія (разом з продуктами свого розпаду) в 1 секунду викидає 136 мільярдів атомів гелія, в тому числі на сам радій припадає 34 мільярди. Також він і два вже згадані вчені знайшли, що атом гелія несе заряд ($2e$) рівний $9,3 \cdot 10^{-10}$; звідки заряд 1 електрона (e) рівний $4,65 \cdot 10^{-10}$ електр. одиниць, ц. т. отримано було величину, близьку до елементарного електричного заряду.

Як β -проміння, так і α -проміння іонізують гази і роблять їх електропровідними.

Переходимо до характеристики того із трьох сортів проміння радіоелементів, котре носить назву γ -(*гамма*)-проміння. Гамма-проміння являється найактивнішим із усіх цих трьох сортів; воно може проходити крізь тверді тіла, течива й гази, а коли радіоактивний елемент поміщений в закритій посудині, то воно проходить крізь стінки цієї посудини та виявляє свій вплив поза нею. На цьому власне й основане примінення радія в медицині, чим завдячуємо майже виключно γ -промінню радія. Загально можна сказати, що γ -проміння має всі властивості рентгенового проміння; хоч своїм походженням воно й відрізняється від цього останнього, але в дійсності природа обох їх цілком однакова. Власне, коли говорять про випускання проміння радіоактивними тілами, то це в суті речі може відноситись тільки до γ -проміння, бо тільки це проміння, подібно до рентгенового, являється електромагнетним хвилястим рухом, який треба поставити в один ряд із світляним промінням. Від інших родів світляного проміння γ -проміння відрізняється тільки значно меншою довжиною своїх хвиль.

Графічно відношення різних родів проміння світляної природи можна було б представити в такій схемі в залежності від довжини їх хвиль*).



Мал. 13.

Отже все те, що було раніше сказано про рентгенове проміння, в повній мірі відноситься також і до характеристики γ -проміння, в тому числі й що-до появи K , L і M -спектрів.

Уже вище було сказано про те, що довжина хвиль тих ліній, які в різних елементів відповідають одна одній, коли ці елементи під впливом рентгенового проміння (а значить і при випусканні γ -проміння) дають K , L чи M -спектр, знаходиться в цілком певному простому відношенні до порядкового числа відповідного елементу. Довжина хвиль знаходиться в зворотному відношенні до числа коливань. Таким чином і число коливань на секунду, котре рівне $3 \cdot 10^{10}$ см./сек., поділеному на довжину хвилі, також знаходиться в простому відношенні до порядкового числа елементу в періодичній системі елементів. Цей простий зв'язок між ними був знайдений *Мозелем* (1913 р.), котрий відкрив, що квадратіві корні із чисел коливань являються лінійними функціями порядкових чисел елементів. Наведем числові дані відносно α -ліній K , L і M -спектрів деяких хемічних елементів.**)

Коли назначити на осі абсцис порядкові числа наведених у табл. VII хемічних елементів, а на осі ординат одкласти квадратіві корні із числа коливань $K\alpha_1$ тих самих елементів, то виявиться, що всі назначені точки лежать на одній простій лінії, ц. т. квадратіві корінь із числа коливань стоїть у лінійній залежності від порядкового числа елементів. Це й показано на мал. 14.

*) Схема подана за Běhounek'ом (Radium a paprsky X). Кожен слідуєчий відтинок (від права наліво) означає збільшення довжини хвиль у два рази. Для скорочення замість 1024μ поставлено $1000 \mu = 1 \mu$; таксамо замість 1024μ поставлено $1000 \mu = 1 \text{ m.m.}$ і т. д.

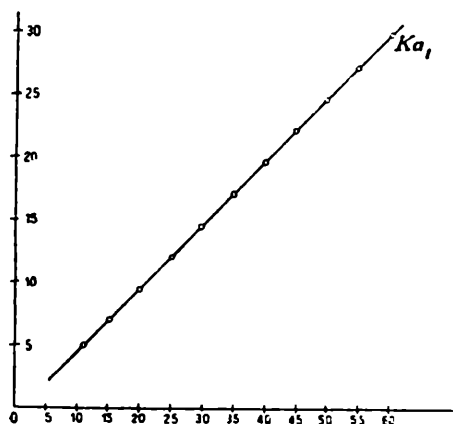
**) В таблицях VII, VIII і IX значіння довжини хвиль, числа коливань і квадр. корня із числа коливань наведені за Grätz'ом. (Atomtheorie...).

ТАБЛИЦЯ VII.

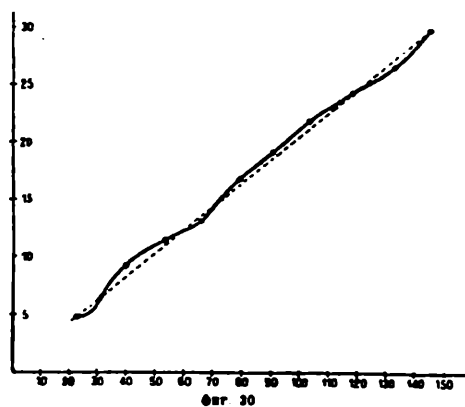
Проміння $K\alpha_1$.

Пор. число	Назва елементів	Атомова вага	Довжина хвиль $K\alpha_1$	Число колихань	Квадрат. корінь із числа колихань
11.	Натрій	23,00	11,8836 . 10^8	0,2524 . 10^{18}	05,024 . 10^8
15.	Фосфор	31,04	6,1417 . „	0,4885 . „	6,989 . „
20.	Кальцій	40,07	3,3517 . „	0,8971 . „	9,472 . „
25.	Манган	54,93	2,0973 . „	1,4304 . „	11,960 . „
30.	Цинк	65,37	1,4320 . „	2,0950 . „	14,474 . „
35.	Бром	79,92	1,0377 . „	2,8910 . „	17,003 . „
40.	Циркон	90,6	0,7841 . „	3,8261 . „	19,560 . „
45.	Родій	102,9	0,6120 . „	4,9120 . „	22,140 . „
50.	Цина	118,7	0,4894 . „	6,1300 . „	24,759 . „
55.	Цезій	132,81	0,398 . „	7,537 . „	27,450 . „
60.	Неодим	144,3	0,330 . „	9,090 . „	30,150 . „

Коли спробувати знайти подібним способом залежність числа колихань від атомової ваги елементів, то картина буде вже інша: замість простої лінії матимемо криву, котра (як показано на мал. 15) хоч і йде загалом у тому самому напрямкові, але в де-яких місцях відхиляється від простої лінії то в один, то в другий бік. Відхилення правда не дуже великі, але в кожному разі помітні.



Мал. 14.



Мал. 15.

Це показує, таким чином, що квадратів коріні із числа колихань знаходяться у безпосередній і простій залежності від порядкових чисел елементів, але не від їх атомової ваги.

Наведемо ще відповідні дані про $L\alpha$ -проміння.

ТАБЛИЦЯ VIII.
Проміння $L\alpha_1$.

Пор. число	Назва елементів	Атомова вага	Довжина хвиль $L\alpha_1$	Число колихань	Квадрат. корінь із числа колихань
30.	Цинк	65,37	$12,222 \cdot 10^{-8}$	$0,2454 \cdot 10^{18}$	$4,954 \cdot 10^8$
35.	Бром	79,92	8,357 . „	0,3590 . „	5,991 . „
40.	Циркон	90,6	6,056 . „	0,4954 . „	7,038 . „
45.	Родій	102,9	4,588 . „	0,6539 . „	8,086 . „
50.	Цина	118,7	3,592 . „	0,8352 . „	9,139 . „
55.	Цезій	132,81	2,886 . „	1,039 . „	10,20 . „
60.	Неодим	144,3	2,365 . „	1,269 . „	11,26 . „
74.	Вольфрам	184,0	1,473 . „	2,040 . „	14,28 . „
80.	Ртуть	200,6	1,238 . „	2,423 . „	15,57 . „
82.	Олово	207,2	1,172 . „	2,554 . „	15,98 . „
88.	Радій	226,0	1,010 . „	2,970 . „	17,23 . „
90.	Торій	232,15	0,953 . „	3,148 . „	17,74 . „
92.	Уран	238,2	0,908 . „	3,304 . „	18,18 . „

Ці дані потверджують попередній висновок. Про те ж свідчать так само і дані відносно $M\alpha$ -проміння.

ТАБЛИЦЯ IX.
Проміння $M\alpha$.

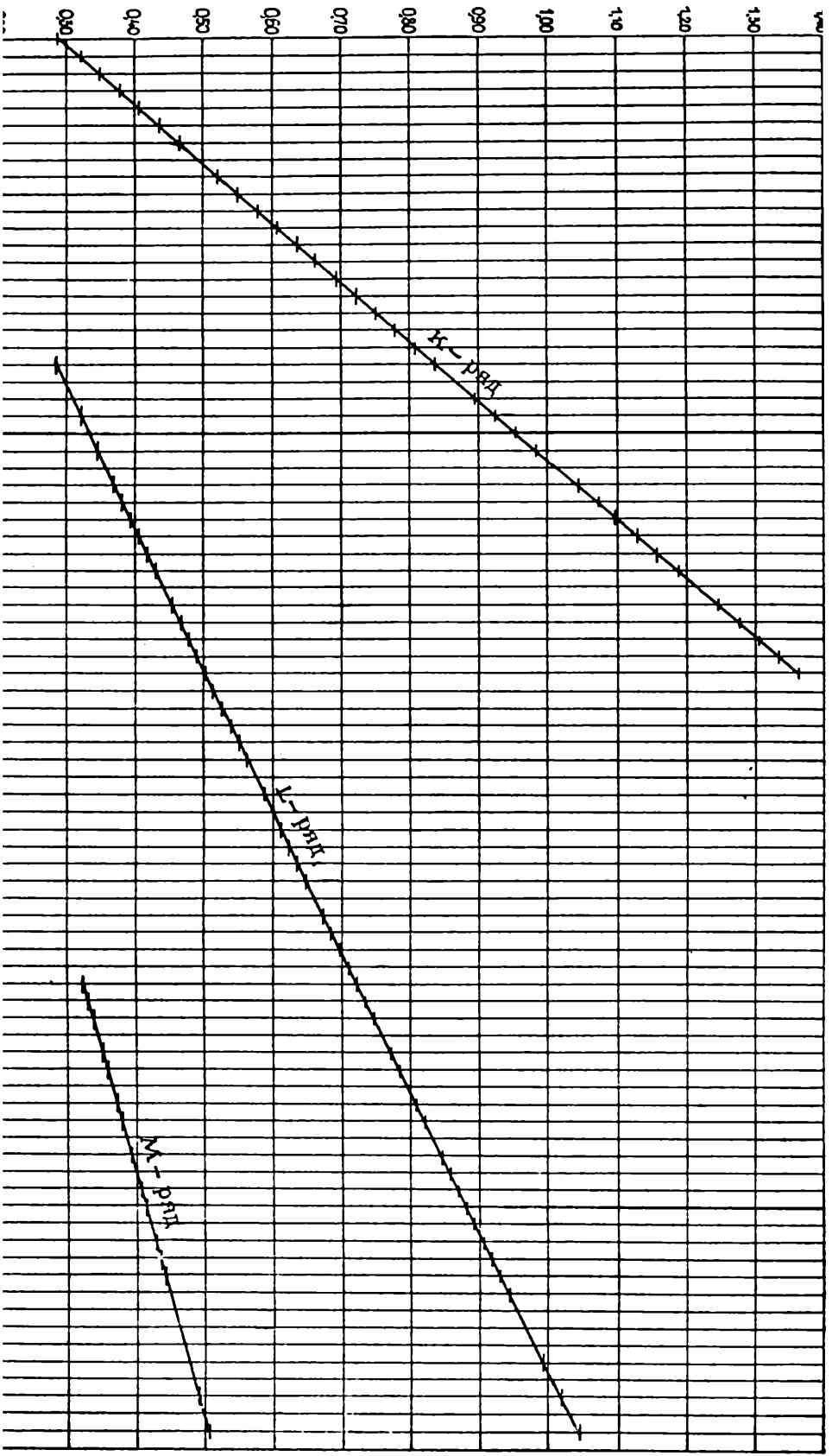
Пор. число	Назва елементів	Атомова вага	Довжина хвиль $M\alpha_1$	Число колихань	Квадрат. корінь із числа колихань
66.	Диспрівій	162,5	$9,509 \cdot 10^{-8}$	$0,3155 \cdot 10^{18}$	$5,617 \cdot 10^8$
70.	Ітербій	173,5	8,125 . „	0,3692 . „	6,076 . „
74.	Вольфрам	184,0	6,973 . „	0,4302 . „	6,559 . „
79.	Золото	197,2	5,831 . „	0,5145 . „	7,173 . „
82.	Олово	207,1	5,273 . „	0,5689 . „	7,543 . „
90.	Торій	232,4	4,129 . „	0,7266 . „	8,525 . „
92.	Уран	238,2	3,901 . „	0,7690 . „	8,769 . „

Зводячи докупи наведені в табл. VII, VIII і IX дані, графічно можна представити залежність між квадр. корінем із числа колихань і порядковим числом відповідних елементів у виді трьох простих ліній, котрі представляють цю залежність для трьох родів проміння: K , L і M .

(Див. Порядкові числа та рентгенові спектри елементів. Стр. 122).

Цей графічний образ цілком точно показує, що число колихань всіх цих трьох родів рентгенових спекторів знаходиться в просто-лінійній функціональній залежності тільки від порядкових чисел елементів у періодичній системі їх.

Значіння закону *Мозеля* ще більше підноситься, коли поставити його в зв'язок з теорією Резерфорда про структуру атомів. Тут ми лише зазначимо цей зв'язок закону Мозеля з теорією Резер-



форда, відкладаючи до слідуячого розділу з'ясування цієї теорії про атомову структуру.

Однак уже тут треба підкреслити те значіння, яке має відкриття Мозелеєм залежність числа колихань од місця елементу в періодичній системі. Ця закономірність з одного боку цілком з'ясовує деякі ніби-то аномальності в системі хемічних елементів, а з другого боку, дає можливість точно встановити, які ще в прогалини в тій системі та допомагає заповнити велику прогалину, котра знаходиться між елементом церієм (ат. вага 140,25) і танталом (ат. вага 181,5).

Коли глянути на періодичну систему хемічних елементів (Табл. IV), то не трудно зауважити де-яку непослідовність у розполозі поодиноких елементів. Напр. телур (ат. вага 127,5) стоїть в системі попереду йоду (ат. вага 126,92), хоч відповідно до своєї атомової ваги йому належало б стояти позаду йоду, ц. т., коли-б точно додержуватись величини атомової ваги при розполозі елементів в системі, то йод попав би в VI групу, а телур у VII, а не навпаки. Однак всі хемічні прикмети й властивості цих двох елементів вимагали того, щоб їх було постановлено як раз в ті групи періодичної системи, в яких вони в дійсності й стоять, з порушенням навіть порядку величин їх атомової ваги.

Так само й у VIII групі відповідно до атомової ваги черга трьох елементів: залізо (ат. в. 55,84), кобальт (ат. в. 58,97) і нікель (ат. в. 58,68) повинна була б бути инша, а то власне, кобальт мав заняти місце нікеля, й навпаки. І тут також розполог був застосований не до величини атомової ваги цих останніх двох елементів, а до їх хемічних властивостей.

Експериментальні дослідження та змірювання довжини хвиль $K\alpha$, у телура та йоду дали такі величини: для телура — $0,450 \cdot 10^{-8}$, а для йоду — $0,437 \cdot 10^{-8}$; для кв. корінів із числа колихань визначені такі величини: для телура — $25,65 \cdot 10^8$, а для йоду — $26,20 \cdot 10^8$. Змірювання довжини хвиль K -спектру для трьох останніх елементів дали такі величини: залізо — $1,932 \cdot 10^{-8}$, кобальт — $1,785 \cdot 10^{-8}$ і нікель — $1,655 \cdot 10^{-8}$; із чого виходить, що кв. коріні із числа колихань відповідно будуть рівні: залізо — $12,46 \cdot 10^8$, кобальт — $12,96 \cdot 10^8$, і нікель — $13,46 \cdot 10^8$.

Це означає, що рентгеноскопічні дані цілком потверджують правильність такого розміщення цих п'яти елементів у періодичній системі, яке вони в дійсності й займають, а з другого боку — це свідчить про те, що й у наведених тут двох випадках ніби-то аномальности в розміщенні елементів у системі виявляється лише той

факт, що послідовність розміщення не завжди покривається з послідовністю зросту атомової ваги елементів.

Таке саме явище маємо й у випадкові аргона (ат. в. 39,88) та калія (ат. в. 39,10), де ці два елементи відповідно до атомової ваги мали б помінятися своїми місцями в періодичній системі, але всі інші дані говорять за те, що поставлені вони в тій системі цілком правильно.

Нарешті було доказано, що де-які ізотопи, ц.т. елементи, які займають те саме місце в періодичній системі, хоч мають ріжну атомову вагу, але характеризуються однаковим значінням для довжини хвиль відповідних спектрів. Так член олов'яної «плеяди» радій В (ат. в. 214), який має короткий період свого існування, випускає γ -проміння, котре має таку саму довжину хвиль, як і рентгенове проміння олова (ат. в. 207,10). Знов же довжини хвиль рентгенового спектру двох інших ізотопів Рb (ат. в. 206) та Рb (ат. в. 207,1) також рівні між собою в межах можливої точності експериментального досліду.

Що-до прогалин у періодичній системі, то досліди над відповідними рентгеновими спектрами з точністю показали, що згідно з законом простолінійної функціональної залежності елементу церію (Ce) належить у періодичній системі елементів порядкове число 58, а танталу (Ta) — порядкове число 73. Між ними розміщуються 12 елементів відомих уже рідких земель; порядкове число 61 тимчасом залишається незанятим. На 72 місці стоїть гафній (або кельтій), відкритий спершу тільки спектроскопічною методою, а пізніше виділений і хемічним способом; по своїх хемічних та фізичних якостях він є вищим гомологом циркона з атомовою вагою 178,6*). Елемент з найбільшою атомовою вагою — уран має зайняти порядкове число 92, а порядкові числа 43, 75, 85 і 87, як це й видно з табл. II (стор. 48) мають бути заняті елементами, яких поки-що ще не відкрито або недавно відкрито**).

Із сказаного видно, яку серйозну поправку треба внести до поглядів автора періодичної системи хемічних елементів, по мислі якої «властивості простих тіл творять періодичну функцію величини атомових вагів елементів». Сучасна наука відмовилась від

*) Елемент з атом. числом 72 відкрили в 1923 р. Костер і Гевеші в цирконових мінералах і назвали його *гафнієм* (Hf) на честь м. Копенгагена (Hafnia), де його було відкрито. Французи називають його *кельтієм* (St), бо рентгено-скопіним способом уперше його завважив французький вчений Довійє (Dauviller), досліджуючи спектри рідких земель.

**) Про відкриття елементів з порядковими числами 43 і 75 див. прим. на стор. 72—74.

гих поглядів, які панували в часи встановлення періодичної системи; вона тепер уже не вважає атомову вагу за детермінатора властивостей елементів чи не визнає цю вагу, в кожному разі, за єдину підставу для систематики хімічних елементів.

Це може навіть викликати думку, що періодична система взагалі має сумнівну вартість після того, як виявилось, що принцип, на котрому вона побудована, є підкопаний, бо доведена його хибність у самій його основі. Але в дійсності це не є так, і періодична система хімічних елементів заховує й далі своє значіння, коли за основу класифікації брати не атомову вагу елементів, а іншу їх прикмету, а то власне — їх порядкові числа, котрі носять також назву *основних чисел*. Ці числа, незалежно від періодичної системи, мають самі про себе глибокий зміст, як це видно буде з наступного розділу.

VI.

Вже при перших дослідах над радіоактивними елементами було спостережено, що предмети, які були поблизу від цих елементів, самі також ставали радіоактивними: випускали проміння та іонізували повітря. Таку радіоактивність назвали *індуктивною радіоактивністю*; вона звичайно тривала недовго і скоро цілком зникала.

Це явище знайшло собі пояснення після того, як *Дорн* (1900 р.) відкрив *еманацію радія*, названу інакше *нітон*. Еманація радія є сильно радіоактивний газ, який завжди супроводить радій, хоч, правда, в надзвичайно малій кількості (із 1 гр. металічного радія одержується найбільше 0,005 міліграма еманції радія). Цей газ має свій характеристичний спектр; хімічно він є інертний (подібно до благородних газів); молекула його одноатомова; його можна згустити до стану течива, а при нормальному тиску він має точку вару — 65° . Атомову його вагу рівна 222. Всі його прикмети свідчать про те, що в періодичній системі йому належить місце в останньому ряді групи благородних газів.

Уже 1902 р. *Резерфорд і Содді* висловили думку, що суть радіоактивності полягає в тому, що радіоеlementи є в стані розпаду та перетворення одного елементу на другий, при чому виникає радіоактивна радіація. Досліди в цьому відношенні, про які було згадано в попередньому розділі, цілком потвердили правдивість такого погляду, бо справді було доведено повстання нового елементу — гелія — при розпаді радіоеlementів: радія та еманції радія.

«Уважають, що атоми радіоактивних субстанцій спонтанно трансформуються в атоми інших субстанцій, які трансформуються знов далі аж поки не витвориться тіло неактивне. Ці перетворення відбуваються шляхом експлозії, через розірвання атома, при чому викидається атом гелія в стані α -частки або електрон в стані β -проміння.»*)

Такий погляд на хемічні елементи цілком суперечив дотеперішньому поняттю про елемент, але дійсність оказалась іншою, ніж здавалось раніше; *факт розпаду радіоелементів та перетворення їх на інші елементи був науково встановлений і жадному сумніву більше не підлягав.*

Процес такого розпаду відбувається в часі так, що інтенсивність радіації еманції радія ступнево зманшується, і вже через 3,85 днів вона падає до половини, ц. т. із усієї взятої на початку кількості еманції через 3,85 днів залишається тільки половина тієї кількості. Через дальших 3,85 днів її залишається вже тільки четверта частина, знов через 3,85 днів — восьма частина і т. д.

Той період часу, за який певна кількість радіоеlementу зменшується рівно наполовину, носить назву «половинного періоду» (Halbwertszeit). Для еманції радія цей процес зменшення можна графічно означити так, як показано на мал. 16.



Мал. 16.

Активність еманції торія зманшується наполовину через 54,5 сек.; активність еманції актинія зменшується наполовину вже через 3,92 сек. і т. д.² Всі ці значіння половинного періоду являються цілком характеристичними для кожного радіоеlementу і для даного радіоеlementу завжди залишаються однаковими, незалежно від того, яку кількість його взято при досліді і коли саме робляться змірювання: чи то на початку процесу, чи пізніше.

*) M-me P. Curie. Radioactivité et phénomènes connexes. Стр. 17. (1925).

Половинні періоди радіоелементів надзвичайно різнородні; в той час, як у де-яких із них ці половинні періоди міряються всього лише кількома дрібними частинами секунди, у інших вони рівні десяткам тисяч і навіть мільйонам років. Так половинний період актинія є 20 років, радія — 1600 років, урана — 4.500.000.000 років, а торія — 15.000.000.000 років; в той же час половинний період торія A є 0,14 секунди, актинія A — 0,002 секунди, а половинний період торія C рівний всього лише 0,000.000.000.01 сек.

Само собою являється зрозумілим, чому відкриті були спочатку радіоелементи з великим половинним періодом (уран, торій, актиній, радій); своєю довготривалістю вони робили враження постійності свого існування і тільки дослідження сути явища радіоактивності виявили їх дійсну природу та довготу їхнього існування. Навпаки, радіоелементи з коротким періодом існування могли бути відкриті тільки після того, коли була з'ясована суть самої радіоактивності, як процесу переміни одних радіоелементів на другі при одночасовому видаленні α -часток (а також β -і γ -проміння) тими елементами, що перетворюються на інші; безпосереднє спостереження присутності радіоелементів з коротким половинним періодом, розуміється, сильно затруднювалось як раз цим фактом надзвичайної короткості їх життя.

В противність до хемічних реакцій на процес розпаду й перетворення радіоелементів не можуть вплинути жадні зовнішні фактори (зміна концентрації розчинів, температури і т. д.); цей процес не можна ні прискорити, ні загальмувати. Значить, це не є хемічний процес, в роді диссоціації, а являється цілком своєрідним явищем.

При розпаді радіоелементів виділюється тепла енергія, при чому кількість тепла, яке виділяє напр. радій, являється практично постійною. Ця ніби-то суперечність з принципом збереження енергії стає зрозумілою, коли взяти на увагу великий розмір половинного періоду радія (1600 років). Хоч в дійсності з кожною годиною кількість радія стає все меншою, а значить і кількість виділюваного ним тепла так само зменшується з кожною годиною, однак на практиці майже неможливо було спостерегти цю різницю на протязі тих двох десятків років, які минули від початку досліджувань над радіоактивністю і при тій кількості радія, яку було добуто, а тому назвєрх здається, ніби кількість виділюваного радієм тепла не міняється. Обчислення показують, що при розпаді грам-атома радія (226 гр.) та при перетворенні його в еманацию радія виділена ним кількість тепла буде величезною: 10^{11} (сто тисяч мільйонів) калорій. Ця кількість тепла виділиться, однак, на протязі багатьох тисяч років.

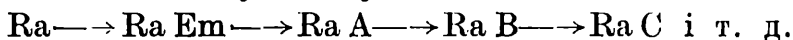
Отже величезна кількість тепла, вилучуваного при радіоактивних процесах, являється другою характеристичною прикметою цих процесів поруч із першою їх прикметою, а тс власне, неможливістю вплинути на їх хід при допомозі зовнішніх факторів.

«В радіоактивній зміні матерії криється безмірне джерело енергії, котра для нас стане приступною в той момент, коли нам пощастить опанувати цей процес та управляти ним в залежності від потреби. Чи станеться так і чи не буде потрібно для того вживати якоїсь енергії ще вищої за ту, котру б ми могли здобути, — сьогодні про це на можна ще точно сказати; одно лише певно, що до цього часу нам не вдалося жадним дотепер відомим засобом вплинути на розпад радіоактивних матерій.»*)

Коли було встановлено, що при виділенні радієм α -часток, ц.т. заряджених подвійним зарядом атомів гелія, утворюється еманція радія, то очевидно, що

$$\begin{array}{ccccc} \text{радій} & = & \text{еманція радія} & + & \text{гелій.} \\ (\text{ат. в. 226}) & & (\text{ат. в. 222}) & & (\text{ат. в. 4}) \end{array}$$

Цим було покладено першу цеглину для збудування цілої системи генеалогічних рядів радіоелементів. Через виділення α -часток (атомів гелія) еманцією радія утворюється знов инше тіло, назване радій *A*, із котрого таким самим порядком повстає радій *B* і т. д. Таким чином повстає спадаючий ряд радіоелементів, що стоять між собою в генетичному звязку:



Коли *Болтвуд* (1907 р.) відкрив елемент іоній, то виявилось, що цей елемент являється радіоактивним тілом з половинним періодом 100.000 років, котре через виділення α -часток перетворюється в радій. По кількох роках *Содді* (1915 р.) доказав, що уран переходить кілька фаз і також перетворюється в радій. Отже радієвий ряд був доповнений кількома радіоелементами, що знаходяться з ним також у генетичному звязку і становлять горішню частину цього ряду. Так був відкритий цей *уран-радієвий ряд*.

Аналогічно до цього були встановлені два инші ряди радіоактивних елементів: *актинієвий* і *торієвий*.

Кожен окремий член цих трьох рядів повстає із попереднього члена того самого ряду через виділення цим останнім або α -часток (атоми гелія) або β -часток (атоми негативної електричності — електрони); иноді одночасно з цими частками виділюється також γ -проміння (рентгенове проміння). Значить радіоелемент розпадається на нерадіоактивний елемент гелій (або електрони) і якийсь радіоактив-

*) Běhounek. Radium a paprsky X. Стр. 126. (1924).

ний елемент, котрий в свою чергу також розпадається через цілком певний термін часу. В цьому факті криється пояснення явища індуктивної радіоактивності: вона триватиме до того часу, поки існуватимуть радіоактивні продукти розпаду радіоелементів. Цим у науку введено нове поняття: про довготу життя елементів.

Радій мусів би цілком зникнути через яких 10.000 років, коли б він постійно не виникав із урана, та коли б не встановилась *радіоактивна рівновага*, при якій в одиницю часу розпадається стільки ж атомів радія, скільки їх знов утворюється. Цим пояснюється той об'єктивний факт, що в природі уран і радій в різних мінералах існують все в такій пропорції:*)

$$\text{U} : \text{Ra} = 2,79.10^6$$

Половинний період для радія знайдено да допомогою методи ецинтиляції. Цією методою було визначено число α -часток, котре випускає із себе 1 гр. радія в 1 секунду. Як що поділити це число на число атомів в одному грамі радія, то можна знати, яка частина всіх атомів радія розпадається за 1 секунду. Звідси вже знаходять значіння половинного періода радія, котре було обчислене рівним приблизно 1600 років.

Із наведеного відношення між кількостями радія й урана, в яких вони зустрічаються в природі, на основі принципу радіоактивної рівноваги вичислили також і значіння половинного періоду урана = $4,5.10^9$ років.

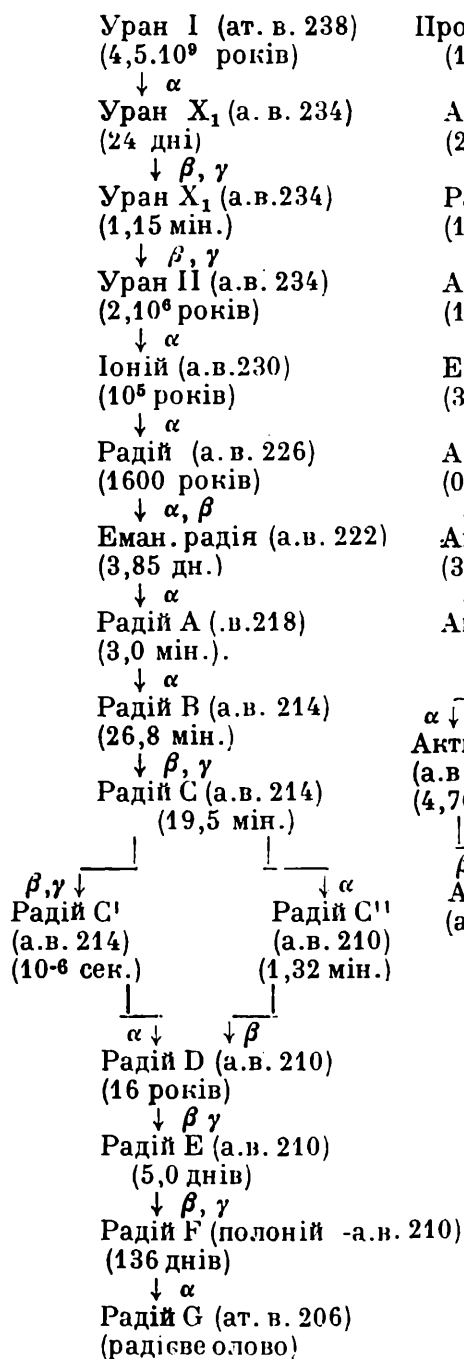
Приглядаючись до наведених (стр. 130) таблиць, які схематично представляють генетичний звязок трьох рядів відомих радіоактивних елементів, бачимо, що кожен «нащадок» повстає від свого «предка» через виділення цим останнім того чи іншого роду часток. При тому видно, що наступний елемент не повстає ніколи шляхом виділення попереднім елементом γ -проміння; γ -проміння лише супроводить подекуди виділення α чи β -часток. Далі бачимо, що атомова вага в цих трьох рядах загалом падає згори на долину, але зменшення це буває лише тоді, коли виділяються α -частки, а при виділенні β -часток атомова вага не зменшується. При виділенні зі складу атома певного радіоеlementу одної α -частки (атом гелія) атомова вага наступного елементу зменшується на 4.

У всіх трьох рядах в певних пунктах відбувається розгадування ряду (радій С, актиній С і торій С), завдяки одночасному виділенню α і β -часток; однак в дальшому ряд знов сходиться через те, що два наступних радіоеlementи виділяють знов α і β -частки, але вже у

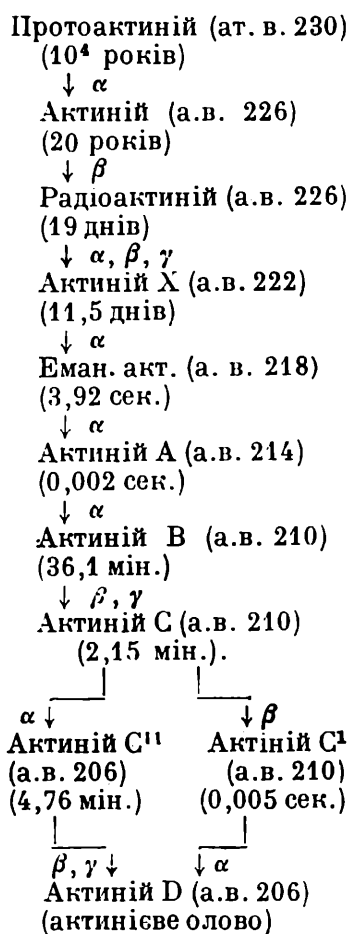
*) Fajans. Radioaktivität.

Три радіоактивні ряди*).

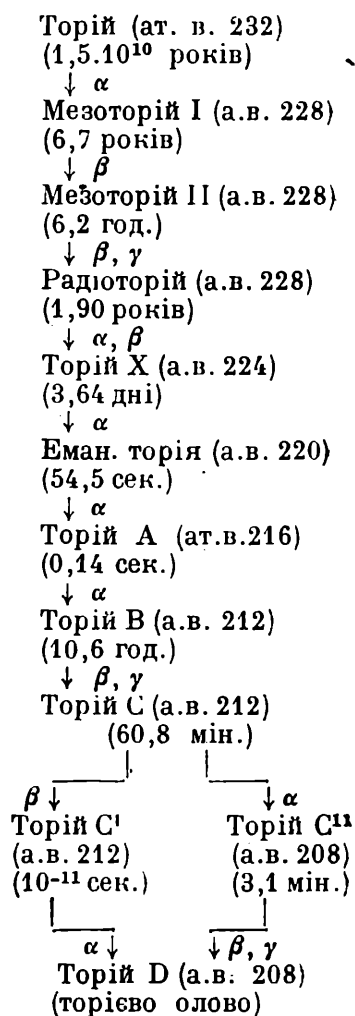
ТАБЛИЦЯ Х
Ряд уран-радія



ТАБЛИЦЯ XI
Ряд актинія



ТАБЛИЦЯ XII
Ряд торія

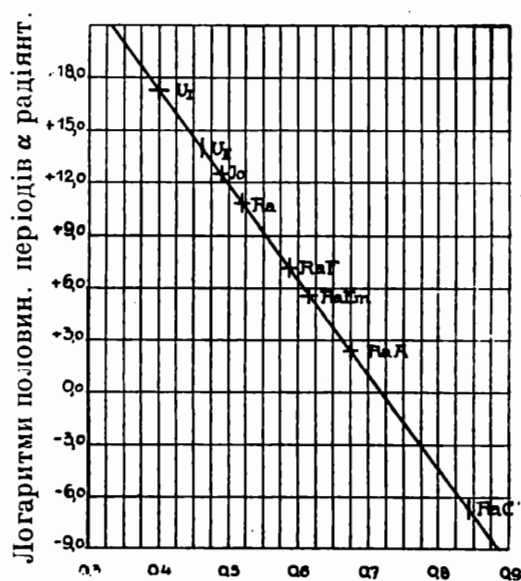


*) Таблиці X, XI і XII наведені за Фаянсом; під назвою радіоеlementу в дужках поставлені значіння половинного періоду, а також показано, яке проміння вилучається при перетворенні одного радіоеlementу на другий.

зворотному порядку. Існує таким чином два роди одмін: α -одміни і β -одміни, з котрих перші супроводяться зменшенням атомової ваги, а другі ні.

Із цього видно, що члени трьох зазначених рядів мають, як складові частини своїх атомів, α -частки, цеб-то атоми гелія і електронні.

Вже було сказано, що α -частки на певній віддалі від джерела їх виникнення раптово втрачають здібність іонізувати повітря. Досліджуючи це явище, Гайгер (1911 р.) винайшов, що існує цілком точне відношення між половинними періодами радіоелементів і найдовшим шляхом α -часток, які викидаються тими радіоелементами. Коли на осі ординат відкласти логаритми із величин половинних періодів (в секундах) α -радіантів уран-радіового ряду, а на осі абсцис відкласти величини найдовших шляхів, то оказується, що всі точки для α -радіантів членів цього ряду лежать на одній простій лінії.



Логаритми величин найдовших шляхів α -проміння.

Мал. 17.

На основі цього, відкритого Гайгером, відношення між логаритами половинних періодів α -радіантів і величинами найдовших шляхів α -проміння можна визначити половинні періоди тих радіоелементів, котрі існують або надзвичайно довго або, навпаки, надзвичайно короткий час.

Для α -радіантів уран-радієвого ряду величини найдовшого шляху α -часток показані в таблиці VIII.*)

ТАБЛИЦЯ VIII.

Назва елементу	Довжина шляху	Назва елементу	Довжина шляху
Уран I	2,70 см.	Радій А	4,72 см.
Уран II	3,4 „	Радій С	? „
Іоній	3,19 „	Радій С ¹	6,97 „
Радій	3,39 „	Радій F (Полоній)	3,92 „
Еман. радія.....	4,12 „	—	—

На підставі цих даних вичислені половинні періоди для урана II з половинним періодом $2 \cdot 10^6$ років, а також для недовготривалих радіоелементів з половинними періодами в 10^{-6} сек., 0,005 сек. і 10^{-11} сек., бо такий надзвичайно короткий їх вік не дозволяє, звичайно, добути їх через ізоляцію від інших радіоелементів.

За допомогою придуманої Вільсоном (1913 р.) методи представляється можливим навіть бачити ті шляхи, по котрих летять α - і β -частки.

Метода ця основана на тому, що проміння радіоактивних елементів іонізує газ, молекули котрих перетворюються на позитивно й негативно заряджені іони. Ці іони, подібно до порошинок, служать конденсаційними осередками, коли вони знаходяться в якійсь посудині, де кількість водяної пари відповідає пересиченому її стану. Тоді коло іонів пара згущується в росу, а самі ті іони світяться (в тумані).



Мал. 18.

Вільсон поміщав у балоні шматочок радія, від котрого радіально розліталось проміння в атмосферу, насичену водяною парою. Через

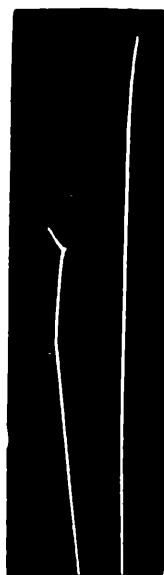
*) Дані подані за Фаянсом для шляхів у повітрі при 15° Ц. і 760 мм. тиску.

ниження температури в балоні утворюється ста-
 дної пари; тоді в тумані ясно обозначаються і
 іть α і β -частки, бо на цих шляхах утворюються
 іонів, коло яких конденсується водяна пара;
 но означають шляхи лету часток (мал. 18).

нимось лише на ознайомленні з характером ти
 ролітають α -частки. На мал. 19 представлена ф
 оміння, а на мал. 20 окремо представлені два
 йому розмірі.



Мал. 19.



Мал. 20.

малюнках видно, що α -проміні, дійсно, на певни
 цять свій найдовший шлях, одразу зникають
 юбливо на мал. 20), що не всі α -частки летять
 з них різко звертають у бік від простої лінії,
 им рухались. По шляху свого руху α -часткам
 зів зустрічатись із молекулами повітря, але їх
 з великі, що вони від простолінійного напрям
 . Значить, те відхилення, яке зафіксоване на ф
 личиною якусь иншу обставину, а не зустріч

у з цими відхиленнями, заприміченими за
 методи, стоїть також спостереження *Гайгера* і
 д α -частками при їх проходженні крізь тонк
 зводячи з доручення Резерфорда свої дослід
 о співробітники спостерегли, що при такому п
 ві листочки пасмо α -проміння розсівається. І

ється тим, що окремі атоми металевого листка несуть певний позитивний електричний заряд, котрий і впливає певним чином на позитивно заряджені α -частки. Досліди й обчислення показують, що при проходженні α -частки крізь атом золота така частка відхиляється пересічно на $\frac{1}{200}$ градуса від простолінійного шляху. Таке відхилення буває більше або менше зазначеної величини в залежності від того, під яким кутом летить і вдаряється α -частка, але амплітуда відхилень все тримається в межах, передбачених теорією ймовірності. Однак експериментальним шляхом було встановлено, що іноді трапляються відхилення більші 90° . Такі відхилення в 90° і більше, згідно з теорією ймовірності, могли б траплятись на якихось хіба більйон випадків, але в дійсності їх спостерігали приблизно на кожні 8000 випадків; при тому ж вони виникали при проходженні α -частинок як через металеві листочки, так і через ріжні гази. Образ таких відхилень був ідентичний з тим, що його зафіксовано на фотографії (мал. 18, 19 і 20) за допомогою Вільсонової методи.

Для пояснення цього явища *Резерфорд* припустив, що α -частки пролітають не між атомами чи молекулами якогось тіла, а крізь атоми тіла. Як показали досліди, величина відхилень залежить від величини атомової ваги того тіла, через котре α -частки пролітають: винятково великі відхилення бувають тим більші, чим більший квадрат атомової ваги тіла. Раз допускається, що α -частки можуть пролітати крізь атоми, то значить просторінь, яку він займає, не скрізь заповнена матерією, а в ній, очевидно, повинна бути якась порожнеча.

Ідея ця не була цілком новою, бо вже в кінці 1890 р.р. подібну думку висловлював *Дж. Дж. Томсон*. Він припускав, що атоми елементів складаються з позитивної й негативної електричності. Негативна електричність, на його думку, мала б входити в склад атома в виді негативно заряджених атомів електричності, ц.т. електронів, або за термінологією Томсона, корпускул. В електронейтральному атомі число одиниць позитивної й негативної електричності повинно бути однакове; коли атом заряджений позитивно, то це значить, що він утратив один чи більше негативних електронів, і навпаки, коли він заряджений негативно, то значить він придбав один чи кілька тих же електронів. Томсон звернув увагу також і на те, що позитивно зарядженого тіла з масою, меншою за масу водня, не було знайдено; хоч із цього він не зробив висновку, що маса атома водня є масою позитивно зарядженого атома електричності, але в кожному разі він думав, що вага атома позитивної електричності є значно більшою за вагу електрона.

Що-до структури атомів хемічних елементів, то Томсон припускав, що атоми складаються із сферичної основи, яка має властивості, котрі називаються позитивним електричним зарядом; в середині цієї матеріальної основи розміщуються в певному порядку негативно заряджені електрони, при чому порядок розміщення електронів означається їх числом; вони можуть розміщатись в один, два й більше число концентричних кругів: один електрон мав би міститись у центрі сфери; два електрони були б у стані рівноваги тоді, коли б вони були розміщені на простій лінії, яка йде через центр сфери; три електрони розмістились би в трьох вершках правильного трикутника; чотирі електрони — в чотирьох кутах тетраедра. Які положення в простороні заняли б електрони при всякій їх кількості, цього Томсон не міг обчислити. В кожному разі, згідно з обрахунками, вісім електронів, напр., не були б у стані тривкої рівноваги, коли-б вони розмістились по всіх восьми кутах куба, який міститься в середині позитивно-електричної сфери.

Коли-ж би прийняти, що всі електрони в середині такої сфери містяться в одній площині, яка йде через центр сфери, то в такому разі ці електрони були б зібрані до круга, при чому стан тривкої рівноваги був би можливий лише тоді, коби-б електронів було зібрано до круга не більше п'яти. Коли-ж їх є більше, то мусить утворитись уже кілька концентричних кругів: 5 електронів умістились би до одного круга; 6—16 електронів — до двох кругів; 17—31 електрон — до трьох кругів; 32—48 електронів — до чотирьох; 49—69 електронів — до п'яти кругів.

Загально число електронів у кожному атомі певного елементу, згідно з обрахунками Томсона, мусить бути рівним половині атомової його ваги.

Ми не будем зупинятись над розглядом критичного аналізу Томсонової моделі атому й тих аргументів, які наводяться на доказ її нестійности. Для нашої ціли далеко більш важним є підкреслити принципіально-теоретичне значіння цієї моделі в історії розвою атомістичних поглядів. А це значіння Томсонової моделі атому полягає в тому, що вона рішуче й цілковито розриває з попередніми поглядами на атом, як на певну матеріальну частку, хоч і безмірно-малого розміру, але все-таки суцільну й далі вже неподільну.

Джс. Джс. Томсон твердо висловився за подільність атомів, які мали б складатись, на його думку, із позитивної електричності та атомів негативної електричності або «корпускул».

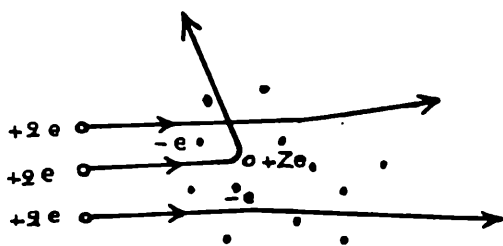
Хоч модель атому, пропонована Томсоном, не витримала іспиту наукової критики, але він мав повну рацію, коли казав, що «теорія,

котра дає можливість сконструювати якусь модель атома й за допомогою цієї моделі витолкувати фізичні явища, може оказатись корисною навіть у тому випадкові, коли сама та модель являється недосконалою*). Саму Томсонову модель було відкинено, але вона стала імпульсом до витворення іншої моделі атомової будови, автором котрої є Томсонів учень, згадуваний уже Резерфорд.

Е. Резерфорд вичислив, що коли-б позитивний заряд атома рівномірно був розміщений по цілій сферичній поверхні того обсягу, котрий займає атом, то в центрі цієї сфери електричне поле було б дуже слабе. Але круті повороти α -часток на кінці їх шляхів свідчать про те, що вони відштовхуються від атома з великою силою. Це дало підставу Резерфордові (1911 р.) твердити, що модель атома мусить бути змінена так, що в центрі атому знаходиться *позитивно заряджене ядро атому* дуже малого розміру, а навкруги цього ядра розположені електрони на віддалі, рівній приблизно величині луча атома. Електрони кружаться коло ядра, подібно до того, як планети рухаються навколо сонця**).

«Ця теорія вперше дає задовольняючий образ елементів і їх властивостей відповідно до періодичної таблиці», каже Оллар†).

Отже, коли α -частки пролітають через таку атомову систему, то вони підлягають впливові як позитивного ядра, так і негативних електронів. В наслідок цих впливів позитивно заряджена α -частка відхиляється від простолінійного свого шляху в той чи інший бік в залежності від того, як далеко вона буде пролітати від ядра чи електронів. Сама α -частка має такий малий розмір, що пролітає вона через соняшну систему атома на релятивно дуже великій віддалі, як від



його ядра, так і від електронів, а через це зазнає, порівнюючи, невеликого впливу й першого й останніх. Схематично це представлено на мал. 20, де посередині означене ядро атома з Z позитивних зарядів (Ze), навкруги його точками означені електрони ($-e$), а стрілками

*) Ж. Томсон. Корпускулярная теория вещества. Ст. V (1910).

**) Ядро по-лат. — nucleus; через це й така будова атому називається *ядерною*.

†) A. Hollard. Les principes de la chimie moderne. Стр. 103 (1924).

означені шляхи α -часток ($+2e$); середня стрілка показує крутим заломом шлях α -частки, котра майже втрапила в ядро атома.

Не виключено, що α -частка ($+2e$) на шляху свого лету натрапить на електрон ($-e$). Тоді вона віддасть один свій позитивний заряд тому електрону, а сама полетить далі вже тільки з одним позитивним зарядом. Через якийись час вона знов натрапить на другий електрон, котрому віддасть і свій другий заряд, а сама обернеться у звичайний неутральний атом гелія. На певній дистанції при даній густоті газу або твердого тіла α -частка обов'язково мусить зустрінути по шляху два електрони, і тому на цій певній дистанції з нею обов'язково мусить статись ця трансформація із позитивно зарядженої α -частки в електро-неутральний атом гелія. Цим і пояснюється те, що α -проміння, пробігши свій певний найдовший шлях, раптом зникає.

Хоч значно рідше, але трапляється й так, що α -частка пролітає близько від ядра. Через те, що обое вони заряджені позитивно, то ясно, що α -частка мусить відхилитись від простої лінії свого попереднього шляху, бо ядро відштовхне її від себе. Сила цього відштовху, згідно з законом Кулона, збільшується зворотно-пропорційно до квадрату віддалі. Отже, коли α -частка пролітає в безпосередній близькості від ядра, то її шлях мусить круто загнутись, чим і пояснюються ті заломы, які бачимо на Вільсонових фотографіях і які на перший погляд видаються доволі загадковими.

На підставі нових даних приймається, що навкруги ядра обертається таке число електронів, яке порядкове число в періодичній системі елементів займає даний елемент. Коли взяти до уваги те, що вага одного електрону рівна $1/1385$ частині водневого атома, то ясно, що всі разом взяті електрони найтяжчого з хемічних елементів сумою своєї ваги не можуть значно й практично-помітно вплинути на атомову вагу даного елементу. А це значить, що головна частина атомової маси елементу зв'язана з його позитивним ядром. Величину заряду цього ядра Резерфорд вирахував на підставі експериментальних даних що-до відхилення α -часток при їх проходженні через різні тіла. При тому виявилось, що в різних атомів заряд ядра являється приблизно рівним половині атомової ваги даного елементу, беручи за одиницю атомову вагу водня. Коли означити заряд ядра через E , атомову вагу через A і заряд електрона через e , то це можна виразити формулою:

$$E = \frac{1}{2} A e.$$

Таким чином заряд ядра гелія буде 2, заряд ядра вугля — 6, заряд ядра азота — 7, заряд ядра кисня — 8, заряд ядра сірки — 16 і т. д.

Коли порівняти ці висліди з тим, яке порядкове число належить кожному з зазначених що-йно елементів у періодичній системі, то результат окажется надзвичайно інтересний: *позитивний заряд ядра кожного із цих елементів відповідає його порядковому числу.*

На це звернув увагу Ван-ден-Брук (1913 р.), який і висловив твердження що позитивний заряд ядра, означений в електростатичних елементарних квантах, є рівний порядковому числу елемента, ц. т. заряд ядра водня — 1, гелія — 2, літія — 3, берилія — 4, бора — 5, вугля — 6, азота — 7, кисня — 8, флюора — 9, неона — 10, натрія — 11, магнія — 12, алюмінія — 13, силіція — 14, фосфора — 15, сірки — 16 і т. д. *Число позитивних елементарних квантів атомового ядра означає порядкове число даного елемента та його атомову вагу.* Дальший висновок із цього треба зробити такий, що *заряд ядра означає масу атома*, ц. т. маса являється функцією заряду ядра, а значить *маса атома є уявною масою*, подібно до маси електрону.

Такий несподіваний висновок цілковито перевертає давніше поняття про масу, як щось найбільш очевидне, ясно-зрозуміле й елементарне із всього того, що нам відомо про різні тіла в природі.

Отже, коли ефект падання каменя виявиться в тому, що в людини вискочить на голові ґуля в наслідок більшої чи меншої сили удару, то доводиться сказати, що тут виявилось не що инше, як дія певної суми електричних зарядів, носіями котрих являються ядра атомів. Таким чином маса є не елементарним, а функціональним з'явищем, котре знаходиться в залежності від заряду і без нього існувати не може: *первісною матерією є електричність.*

Як-що маса атомів є уявною масою, то на основі того, що було вже сказано (ст. 101) про уявну масу електрону, можна вчислити луч позитивного атомового ядра. Маса рівна двом третинам квадрату заряду, поділеному на луч і на квадрат швидкості соняшного проміння. Маса ядра є масою атома. Значить, для маси ядра водня можемо написати таку формулу:

$$1,65 \cdot 10^{-24} = \frac{2}{3} \cdot \frac{22,75^{-20}}{r \cdot 9 \cdot 10^{-20}}; \text{ звідки } r = 1,0 \cdot 10^{-16}.$$

Отже виходить, що луч ядра водня, котре містить у собі всю масу водневого атома, приблизно $(1,9 \cdot 10^{-13} : 1,0 \cdot 10^{-16})$ в 2000 разів менший за луч електрона $= 1,9 \cdot 10^{-13}$. Продовжуючи наше попереднє порівняння, можемо сказати, що коли уявити собі атом завбільшки з земну кулю, то ядро атома буде в такому разі представляться в розмірі невеликої дитячої опуки (електрон тоді буде, як ми вже говорили, представляти кулю завбільшки з великий американський будинок). Але ж прига-

даймо, що сам атом на малесенькій дробинці шроту виглядав би так, як виглядає морський буй на цілій земній кулі!

Що ж таке представляє собою оце безмірно мале ядро елемента? Чи є воно чимсь суцільним, що вже далі не надається до поділу його на ще дрібніші частки, чи й воно є подільним? Потім, чи в атомі кожного елемента є тільки одно ядро чи їх, може, більше?

Про структуру атомового ядра можна сказати, що вона не є простою і що в багатьох елементах центральне атомове ядро являється конгломератом більшого чи меншого числа ядер гелія і, як тепер уже доказано, також і ядер водня.

Вернімось трохи назад та пригадаймо те, що було сказано про α - і β - одні радіоеlementів. Там сказано було, що спостереження над радіоеlementами, власне факт їх розпаду та перетворення на інші радіоеlementи з виділенням α і β -часток, свідчить про те, що в склад атомів елементів входять α і β частки. Ми знаємо, що α -частка є не що інше, як атом гелія; отже елементи з високою атомовою вагою (радій, торій, актиній, уран) мають у своєму складі ядра гелія. Коли-ж порядкові числа тих елементів означають заряди їх центральних ядер, то це значить, що заряд радія є 88, актинія — 89, торія — 90 і урана — 92, ц. т. напр., ядро урана повинно було б складатись не менше, як із 46 ядер гелія. Такий конгломерат із позитивно заряджених ядер гелія не міг-би триматись одної купи, бо кожне таке гелієве ядро мусіло б відштовхувати від себе друге таке саме ядро. Значить, треба припустити, що в склад уранового центрального ядра, крім 46 гелієвих ядер, входить також більше чи менше число негативно заряджених електронів, котрі й творять звязуючий цемент тих позитивно заряджених гелієвих ядер. Але кожний електрон зменшує на одиницю позитивний заряд збірного ядра урана; значить, число гелієвих ядер в тому конгломераті мусить збільшитись. Число електронів повинно бути паристим: 2, 4, 6 і т. д. При двох електронах мусить бути 47 ядер гелія; при 4 повинно бути 48 і т. д. Обрахунок показує, що при атомовій вазі урана 238,2 в його ядрі найбільше може бути 59 позитивно заряджених гелієвих ядер і 26 негативно заряджених електронів; в центральних ядрах елементів з меншою атомовою вагою, само собою зрозуміло, число гелієвих ядер та електронів буде менше.

Як ми бачили, ядро, а власне його позитивний заряд, означає властивості того чи іншого елемента. Гелієве ядро несе на собі подвійний елементарний заряд позитивної електричності, а водневе ядро несе один такий заряд. Коли до гелієвого ядра (α -частка) приєднається два електрони, то воно стає електроневтральним (атом

гелія), а при дальшому приєднанні ще одного чи двох електронів повстає вже негативно заряджений атом гелія He^- або He^{2-} . Однак все це будуть атоми гелія, лише з різним зарядом, бо всі вони характеризуються тим самим центральним ядром з подвійним елементарним позитивним зарядом. Електрони, які попадають у сферу впливу гелієвого ядра, неутралізуючи його позитивний заряд на одну чи дві степені, або навіть переводячи його в електро-негативний стан, не входять тим самим у склад гелієвого ядра, а перетворюються в його спутників та починають робити коловоротний рух навколо того ядра, подібно до того, як планети обігають навколо сонця. Так само й що-до водневого ядра. Воно також може захопити в сферу свого впливу один чи більше електронів. Коли навколо водневого ядра обігатиме лише один електрон, то утворюється звичайний електро-неутральний атом водня; коли-ж до нього пристане й другий, то тоді вже з'являється електро-негативний водневий іон. При зворотному процесі іон водня, втрачаючи один електрон, перетворюється на неутральний водневий атом, а при втраті й другого електрону знов залишається саме тільки водневе ядро з одним позитивним елементарним зарядом.

Досліди показали, що не існує позитивного заряду з масою меншою за масу водневого атому, на що вказував уже й Томсон. Звідси було зроблено висновок, що «позитивно заряджена частка, котра залишається після того, як один електрон одірветься від неутрального атому водня, і є власне атом позитивної електричності; назва його «протон» (*прѳтон* — перше, первоматерія) була предложена Резерфордом на засіданні Британської Асоціації в Кардіфі 1920 р. Зрозуміло, що заряд протона є рівним і противним по знаку зарядові електрона. Його маса у вільному стані була безпосереднє зміряна й оказалась практично ідентичною з масою неутрального атома водня та рівною $1,66^{24}$ гр. або 1,007 відносно кисня»^{*)}.

Із сказаного ясно, що існує два роди електронів: одні входять складовими частинами у збірні центральні ядра атомів, а другі знаходяться лише в сфері впливу атомового ядра та обігають навколо його по кругах чи еліпсах. Перші називаються *ядерними електронами*, а другі носять назву *довкільних електронів*. Довкільні електрони піддаються впливові різних зовнішніх факторів та беруть участь у хемічних реакціях; навпаки, ядерні електрони ніякому впливові зовнішніх факторів не підлягають і, як ми бачили, виділяються у виді β -часток лише при радіоактивних одмінах. Через

^{*)} Астон. Изотопы. Стор. 96.

це власне хемічні процеси й радіоактивні одміни треба розглядати, як явища двох цілком різних порядків.

Інтересно поглянути, як відбивається виділення електронів із атома на зміні становища якогось елементу в періодичній системі. Довкільні електрони через збільшення або зменшення їх числа впливають тільки на електричний стан атома, але не змінюють його природи, котра означається атомовим ядром. Більше чи менше число тих довкільних електронів дуже мало (практично навіть зовсім непомітно) відбивається на величині атомової ваги, бо маса одного електрону складає лише надзвичайно малу частину найлегшого навіть водневого атому $\frac{1}{1835}$. Натомісць збільшення чи зменшення числа ядерних електронів безпосереднє впливає на зміну природи самого ядра, а значить і на зміну природи атома.

При α -одмінах радіоелементів атомове ядро відповідного елементу втрачає одну α -частку, ц. т. одно ядро гелія з зарядом $+2e$. Через це нащадок того радіоелементу буде мати атомову вагу меншу за атомову вагу свого предка рівно на 4, але разом з тим ядро нащадка буде мати заряд на $2e$ менший, ніж заряд предка. Через те, що заряд ядра означає місце даного елементу в періодичній системі, то це означає нещось інше, як те, що нащадок буде стояти в періодичній системі в іншій групі, а то власне на два номери нижчій: коли предок належав до VI групи, то нащадок буде стояти в IV групі періодичної системи. При втраті ще однієї α -частки слідуєчий нащадок попаде вже в II групу, а його атомово вага впаде ще на 4 одиниці і т. д.

Але інакше буде справа, коли з ядра виділиться один електрон при β -одміні: атомово вага від цього не зміниться, але заряд ядра зміниться. Коли припустити, що заряд атомового ядра якогось елементу A рівний $+Ze$, то при втраті одної α -частки заряд ядра слідуєчого елементу B буде вже рівний $+Ze - 2e$. Далі, коли елемент B втратить одну β -частку, то слідуєчий за ним елемент C буде мати заряд $+Ze - 1e$, а коли й елемент C втратить одну β -частку, то наступний по ній елемент D матиме вже знов заряд ядра рівний $+Ze$, але його атомово вага, як і атомово вага елементу C , буде рівна атомовій вазі елементу B , ц. т. буде менше за атомову вагу вихідного елементу A на 4 одиниці. А тепер, коли елемент A стоїть в VI групі періодичної системи, то B повинен стояти в IV групі, C — в V групі, а D — знов у VI групі, бо ж ядерні заряди A і D однакові й рівні $+Ze$.

Після того, як увесь відомий до того часу фактичний матеріал відносно перетворень одних радіоелементів на другі було приве-

дено до системи, *Фаянс*, а вслід за ним *Содді* (1913 р.) підвели все це під такі правила що-до α - і β -одмін:

1. Елемент, який повстав у наслідок α -одміни, переміщається в другу нижчу групу періодичної системи в порівнянні зі своїм попередником (переміщення на дві групи наліво по горизонтальному ряді).

2. Після β -перетворення має місце переміщення в ближчу вищу групу (на одну групу направо).

Коли ці правила ще тільки встановлювались, природа багатьох радіоелементів не була в точності відома, а де-які радіоактивні елементи й зовсім не були відкриті. Одначе, на основі цих правил, подібно до того, як Менделєєв у згоді зі своєю періодичною системою, *Фаянс* наперед чисто теоретично означив природу де-яких уже відомих радіоелементів, котра пізніше цілком оправдалась експериментально. Але більше того, ці два правила спричинились до відкриття урану X_2 та протоактинія, котрі зайняли вільні місця в п'ятій групі й останньому ряді періодичної системи.

Отже виходить, що якийсь елемент може повстати з другого шляхом одної α -одміни і двох β -одмін; він буде мати атомову вагу на 4 одиниці меншу за атомову вагу первісного елементу. Коли після цього відбудеться ще одна α -одміна та дві β -одміни, то повстане вже елемент з атомовою вагою на 8 одиниць меншою за атомову вагу первісного елементу. Але всі три матимуть однакові ядерні заряди, стоятимуть в одній групі періодичної системи й матимуть, значить, однакові хемічні властивості. Хоч і відомо, що такі елементи не являються цілком ідентичними, бо мають ріжний склад ядра, але хемічно їх розділити не представляється можливим і в періодичній системі елементів вони займають одно місце, маючи ріжну атомову вагу. Це й є згадувані вже *ізотопи* (*ἴσος* — однаковий, *τόπος* — місце), названі так на пропозицію *Содді*.

«Вони відріжняються між собою своїми атомовими вагами та радіоактивними властивостями, але їхні хемічні властивості ідентичні, а їхні фізичні властивості надзвичайно близькі»*).

Група ізотопів, що займає одне місце в системі, з ініціативи *Фаянса*, носить назву *плеяди*; значить плеяда обіймає атомові види одного хемічного типу, ц. т. види одного елементу з ріжною атомовою вагою.

Положення ізотонів у періодичній системі хемічних елементів можна уявити собі так, що вони містяться не в площині малюнку, а на лінії, перпендикулярній до тієї площини.

*) M-me Curie. Radioactivité... стор. 21.

Із того, що було сказано, можна зробити ще й другий висновок: елементи з однаковою атомовою вагою можуть мати неоднакові хемічні властивості, належати до різних хемічних типів і займати в системі елементів різні місця. Такі елементи *Стюарт* назвав *ізобарами* (*ῑσοζ* — однаковий, *βαρύζ* — тяжкий).

Таким чином, вивчення явищ радіоактивності привело до справжньої революції в царині поняття про хемічний елемент. Тут борються два погляди на те, що таке є хемічний елемент з погляду останніх даних сучасної фізико-хемічної науки.

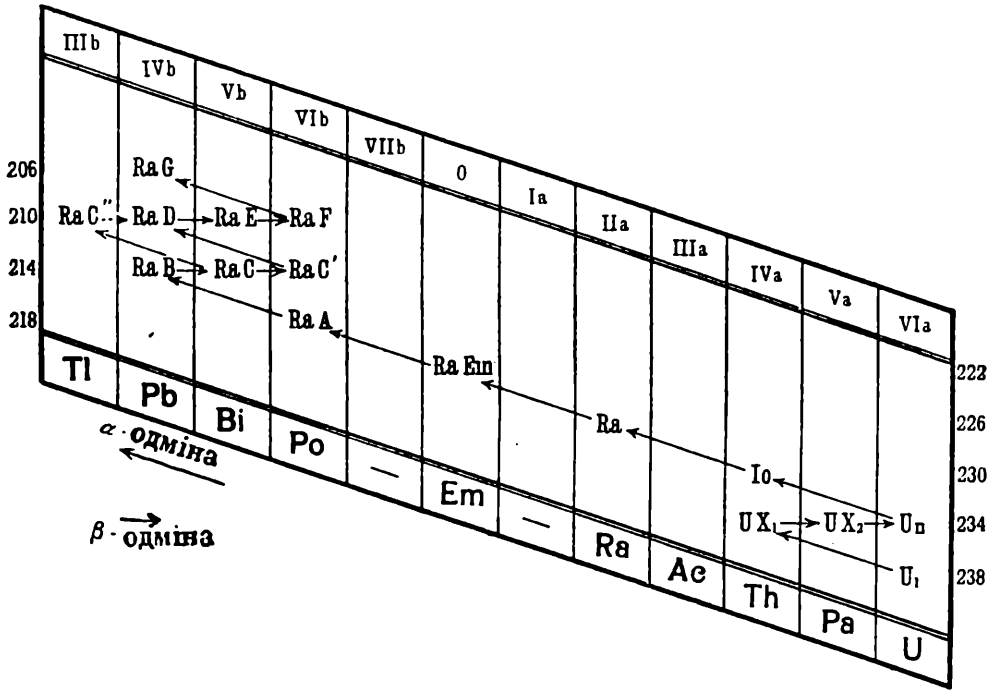
Фаянс вважає, що дефініцію поняття «хемічний елемент» слід дати таку: хемічний елемент представляє собою матерію, котру в жадний спосіб не можна розкласти на простіші складові частини та котра не є мішаниною різних річевин. Отже з цього погляду ізотопи треба розглядати, як різні хемічні елементи; як-що не хемічним способом, то (принаймні теоретично) фізичними методами повинно бути можливим розділення ізотопів через те, що вони мають різну атомову вагу.

Навпаки *Панет* так означає хемічний елемент: хемічний елемент є річевина, якої всі атоми мають однаковий заряд ядра. «Чистий елемент» — це такий, котрого всі атоми є тільки одного роду; коли-ж атоми елементу не є однородні (ц. т. різного складу, хоч і з однаковим зарядом), то тоді буде «мішаний елемент». Елемент не можна хемічно розділити на складові частини, а коли річевини, що є одним і тим самим елементом, змішати, то жадним хемічним способом їх уже розділити не можна. Отже з цього погляду ізотопи являються видовими формами одного хемічного елементу.

Глибоке науково-філософське значіння результатів досліджень в царині радіоактивності полягає в тому, що вони кидають проміння світла на де-які з тих проблем, над котрими вже давніше зупинялась аналітично-дослідницька думка видатних представників людського інтелекту. Зокрема, в іншому світлі представляється тепер гіпотеза Проута про те, що первоосновою всіх елементів, а значить і всіх форм матерії, являється водень. Коли раніше гіпотеза Проута впала, через те, що атомові ваги багатьох елементів оказались числами некрatними величині атомової ваги водня, то тепер уже цей аргумент не може грати серйозної ролі, бо як раз у цій ділянці досягнення модерної науки цілком підкопали значіння тих даних про атомові ваги елементів, які ще недавно уважались за щось основне й для даного елементу постійне. Коротко кажучи, атомова вага уважалась до недавня за детермінатора всіх властивостей елементу; оказалось же, що вона сама є тільки функціональним

з'явищем. Та коли стало відомо про існування ізотопів, то стало також ясним, що експериментально знайдені атомові ваги в дробовими значіннями являються лише показником пересічної атомової ваги кількох ізотопів з різною атомовою вагою. При такому стані речей відпадає потреба, з погляду гіпотези Проута, щоб атомові ваги елементів, експериментально добуті й прийняті в науці, відповідали цілим числам. Важнішим є те, що *всі ізотопи* мають атомові ваги рівні *цілим числам*, про що було вже згадувано попереду.

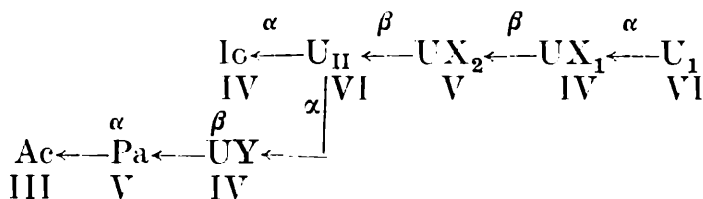
Для ілюстрації наведем малюнок, із котрого видно, як генетично повстають і як розміщаються в періодичній системі елементів плеяди уран-радієвого ряду.



Мал. 21

На мал. 21 видно чотири плеяди уран-радієвого ряду: в групі IVb (RaG, RaD і RaB), в групі Vb (RaE і RaC), в групі VIb (RaF, RaC' і RaA) і в групі IVa (Io і UX₁). Тут відповідно направленими стрілками показано їх генетичний зв'язок (через α- чи β-одміни), а поставлені збоку цифри вказують атомову вагу членів усього цього ряду.

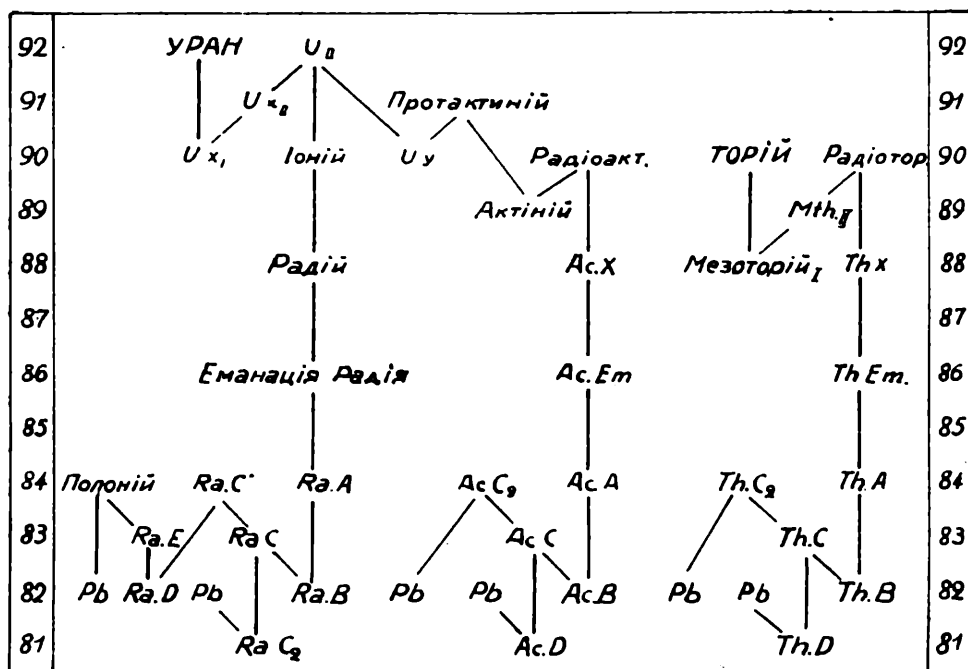
Тепер вважається за доказане, що існує також генетичний зв'язок уран-радієвого ряду з актинієвим рядом. Імовірний зв'язок між цими двома рядами радіоелементів можна зобразити в такій схемі (римські цифри означають відповідну групу період. системи):



Не тільки не виключено, а навпаки, треба уважати за цілком природне, що буде встановлено такий самий зв'язок між цими двома рядами радіоелементів і третім рядом — торієвим. Але, так чи инакше, члени цього останнього ряду, нарівні з членами двох перших, беруть участь у творенні плеяд ізотопів.

Щоб показати це наочно, наведемо другий малюнок (22), на котрому показано три ряди радіоелементів, при чому лініями також означений генетичний зв'язок між окремими членами тих рядів, а збоку поставлені числа, які показують порядкове число в періодичній системі. Група радіоелементів, які знаходяться на одній горизонтальній лінії є ізотопи, а відповідне число збоку на тій самій лінії показує їх порядкове число. Елементи, що лежать на одній лінії, направлений наліво вгору, є ізобари. Кожне переміщення на два ступні вниз супроводиться виділенням α -частки, а кожне переміщення на один ступінь вгору (й наліво) супроводиться виділенням β -частки. Схема трохи упрощена і не всі радіоелементи зазначені.

Схема радіоактивних перетворень у зв'язку з порядковими числами.



Мал. 22.

Зазначені в таблицях X, XI і XII атомові ваги не всі були визначені експериментально; де-які вичислені були згідно з наведе-

ними вгорі правилами, що-до α - і β -одмін, при чому виходили із величини атомової ваги елементів, які були точно встановлені експериментальним шляхом.

Близкість значіння атомової ваги кінцевого продукту розпаду уран-радієвого ряду (RaG) до атомової ваги олова породила думку про те, що цей кінцевий продукт розпаду є не що инше, як олово. Цю ідею висловив *Болтвуд* (1905 р.); правдивість її зміцнювалася тією обставиною, що в усіх без винятку уранових мінералах присутнє було олово, при чому в мінералах однакового геологічного віку олова була кількість, пропорційна до кількості урану, а в мінералах ріжного віку ця кількість олова збільшувалась відповідно до старшого віку мінерала. Отже, що старший був уран, то більше він розпадався, і більше ставало олова. А коли так, то значить і кінцеві продукти розпаду актинія та торія мали б бути також оловом. Всі ці продукти розпаду були б в такому разі ізотопами звичайного олова; їх атомові ваги не були б рівною атомовій вазі звичайного олова (207,2), при чому атомові ваги олова, добутого із уранових мінералів, повинна була б бути меншою за атомову вагу звичайного олова, і навпаки, атомові ваги олова, добутого із торієвих мінералів, мусіла б бути більшою за атомову вагу звичайного олова.

Експериментальні досліді знові потвердили це припущення. Були досліджені чисті зразки уранових (без торія) і радієвих (без урана) мінералів. Найточніший аналіз, переведений *Гонітсимідом*, виказав для торієвого олова атомову вагу 207,77, а одночасно переведений *Річардсом* аналіз дав для уранового олова атомову вагу 206,08. Результати ці потвердили з великою мірою точности теоретично обчислені значіння атомової ваги для обох ізотопів звичайного олова, атомові ваги котрого не означає нічого більшого, як тільки пересічну атомову вагу мішанини ріжних ізотопів.

Радіактивність, як процес розпаду атомів, доволі добре досліджена в елементів з великою атомовою вагою. Але нема принципової різниці між елементами з великою й малою атомовою вагою, через це не було підстави думати, що й серед цих останніх не знайдеться радіоактивних елементів.

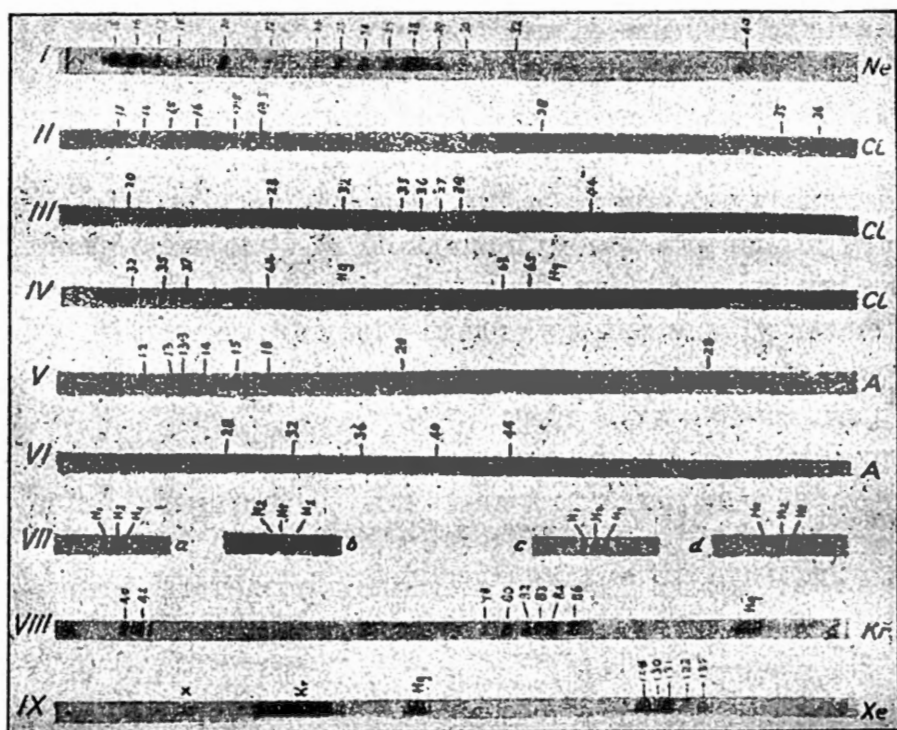
Степень їх радіоактивности могла бути меншою, але сама суть цього явища від того не міняється. І дійсно, за останній час, завдяки удосконаленню метод дослідження, удалось констатувати малу радіоактивність у калія, рубідія і цезія; вона є в тисячу разів меншою проти радіоактивности інших радіоактивних елементів. На думку

а, кожна матерія радіоактивна, лише степенъ цієї дуже неоднакова у різних атомів.

причиновому звязку з цим стоїть також і питання про ізоотопів серед елементів з невеликою атомовою вагою. Її розшифрована суть радіоактивних явищ — розпад як наслідок його утворення ізоотопів, — то очевидний вимусить бути такий: факт існування радіоактивних елементів з невеликою атомовою вагою свідчить про те, що й серед них є ізоотопи, що в процесі розпаду, а значить мусять бути й ізоотопи; існування ізоотопів указує на те, що серед елементів з невеликою атомовою вагою йде процес розпаду, а значить вони мусіли бути радіоактивні, хоч, може, й не так інтенсивну.

Вислідження Астона по-за всяким сумнівом доказали, що ізоотопи багатьох елементів з невеликою атомовою вагою. Вислідження Астона вже згадувалось, коли йшла мова про калій. Суть цієї методи, як ми вже знаєм, полягає в то-

Спектрограми мас.



Мал. 23.

овому промінні питомий заряд газових часток буде зал, якої маси атоми чи молекули окажуться носіями позити

Як-що даний газ являється мішаниною ізоотопів, то в ішанині будуть приравні атоми різної ваги, ц. т. їх і

заряди будуть різні. В такому разі при своєму проходженні через електричне й магнетне поле вони виказуватимуть різні відхилення, відповідно до формули $\frac{E}{mv}$; де E — заряд носія, m — його маса і v — швидкість. На цьому й стоїть *аналіз за допомогою каналового проміння*, який дає можливість зафіксувати різні маси носіїв елементарних квантів позитивної електричності. На мал. 23 показані *спектрограми мас*, де чорними плямами означені відхилення цих носіїв, а над плямою поставлені цифри, що означають їх маси.

Спектрографічною методою досліджувалося було, головним чином, ізономи тих елементів, які можна було помістити в розрядні рурки в стані газів, однаково, чи то в виді елементу чи в якому небудь хемічному сполученні. Але при певній реконструкції апарату оказалось можливим піддати подібному аналізу також і такі тіла, котрі в стан газів не перетворювались. Для цього досліджуваній препарат кладеться на аноді і там він через електричне нагрівання чи через обстрілювання його катодним промінням обертається в стан пари. Так уперше досліджений був літій, — потім натрій і калій, а пізніше й інші метали.

Результати переведених дослідів що-до ізономів нерадіоактивних (або дуже мало радіоактивних) елементів показані в таблиці XIV. В дужках показані неостаточні результати.

В цих результативних даних відносно мас ізономів звертає на себе увагу те, що ні в одному випадкові не було спостережено такої маси ізоному (чи елементу), котра б виражалась дробовим числом; всі без винятку значіння в точності рівні цілим числам. Обставина ця, як уже зазначено, сильно підкріплює ідею Проута, висловлену ним більше, як 100 років тому.

Наприкінці варто згадати про те, що радіоактивні ізономи служать прекрасними індикаторами при досліджуванні присутности нерадіоактивних ізономів.

Річ в тому, що всі дотеперішні спроби розділити ізономи не дали таких наслідків, які можна було б уважати за задовольняючі в розумінні досягнення тієї цілі, досягнення якої Фаянс вважає теоретично можливим. З цього приводу Астон каже, що коли взяти під увагу покладену величезну працю й затруднення при досягненні тих цілком незадовольняючих результатів, то стає очевидним, що коли не будуть знайдені нові методи, то нам ще довго не доведеться змінити константи в хемічних сполученнях, ц. б. атомові ваги будуть мати значіння дробових величин, бо не вдасться розділити ізономів.

ТАБЛИЦЯ XIV.

Елементи й ізотопи. (за Астоном).

Порядкове число	Атомова вага	Мінім. число ізопоів	Маси ізопоів по порядку їх інтенсивности
1	1,008	1	1,008
2	4,00	1	4
3	6,94	2	7,6
4	9,1	1	9
5	10,9	2	11, 10
6	12,00	1	12
7	14,01	1	14
8	16,00	1	16
9	19,00	1	19
10	20,20	2	20, 22, (21)
11	23,00	1	23, 25, 26
12	24,32	3	24, 25, 26
14	28,03	2	28, 29, (30)
15	31,04	1	31
16	32,06	1	32
17	35,46	2	35, 37, (39)
18	39,88	2	40, 36
19	39,10	2	39, 41
28	58,68	2	58, 60
33	74,96	1	75
35	79,92	2	79, 81
36	82,92	6	84, 86, 82, 83, 80, 78
37	85,45	2	85, 87
53	126,92	1	127
54	130,2	5 (7)	129, 132, 131, 134, 136, (128, 130?)
55	132,81	1	133
80	200,6	(6)	(197—200), 202, 204
Пізніші результати Демпстера.			
20	40,07	(2)	(40, 44?)
30	65,37	(4)	(64, 66, 68, 70)

кна вважати, що коли ізотопи змішані, то їх неможна роз-
іями способами відомими дотепер у фізико-хемічній науці.
ішати два ізотопні види елементу, із котрих один є радіо-
й, то присутність цього елементу можна виявити за допо-
адіоскопічної методи в найменшій кількості, бо радіоскопічна
безмірно більш тонка, ніж кожна инша метода аналітичного

Нерадіоактивний елемент через домішку до нього радіо-
го ізотопу одержує таке характеристичне тавро, від которого
не може позбавитись. За допомогою радіоскопічної методи
дкривають елементи, кількість яких міряється однією біль-
частиною міліграма.

е останні успіхи експериментального мистецтва в сфері

фізико-хімічних дослідів цілком змінили старі погляди на елемент і атомову вагу: атомову вагу не слід тепер більше розглядати, як величину постійну й незмінну, бо той самий елемент може мати ріжну атомову вагу і, навпаки, ріжні елементи — однакову атомову вагу. Родів атомів у природі існує більше, ніж число хімічних елементів, бо звичайні елементи, подібно до радіоелементів, так само творять плеяди, котрих число членів доходить иноді аж до шости. Тому глибоко правдивими й основаними на результатах модерних наукових досліджень являються слова Панета: «треба мати зрештою відвагу одмовитись од тези Дальтона, ніби-то число елементів є рівним числу ріжних родів атомів»^{*)}).

VII.

Ближче вивчення сути радіоактивних явищ привело до встановлення того безсумнівного факту, що ядро гелія є складовою частиною більш тяжких атомових ядер.

Виникає, однак, думка, чи не входить це гелієве ядро також і в склад більш легких атомових ядер. Ця думка є не тільки цілком природньою, зважаючи на стремління людського розуму шукати єдиний принцип серед феноменів того самого порядку, але вона знаходить ніби-то собі підтвердження і в констатованих об'єктивною наукою фактах.

Коли глянути на таблицю IV (стор. 73), то нетрудно зауважити, що цілий ряд елементів, котрі стоять на початку періодичної системи, виказують таку саму закономірність у зміні своєї атомової ваги, яку ми спостерігаємо у радіоелементів. Ми вже знаємо, що згідно з правилами Фаянса й Содді при втраті якимсь радіоелементом α -частки повстає новий елемент з атомовою вагою меншою на 4 одиниці за атомову вагу попереднього, при чому новий радіоелемент буде стояти в періодичній системі на дві групи лівіше від первісного елементу. Подібну закономірність можна замітити, коли звернути увагу хоч би на такі елементи: Li, B, (N), F, Na, Al, а потім He, (Be), C, O, Ne, Mg, Si, S. За винятком N і Be в цих двох рядах елементів переміщенню в періодичній системі на дві групи наліво майже в точності відповідає зменшення атомової ваги на 4 одиниці; коли ж внести корективи до значіння атомової ваги де-котрих членів цих

^{*)} Цит. за Н. Schmidt-ом: Probleme der modernen Chemie. Стр. 121 (1921).

ридів, які випливають з дослідів Астона над ізотопами, то наближення ріжниць величин атомової ваги до 4 одиниць буде ще більше*).

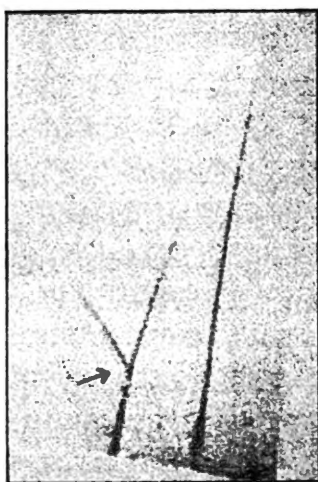
Але можна піти ще далі та поставити питання, чи й само ядро гелія не є збірним і чи не складається воно з чотирьох водневих ядер. В такому разі і ядра більш тяжких атомів представлялись би комплексом водневих ядер, число котрих повинно було б бути в чотири рази більшим за число гелієвих ядер. Всі грубі відхилення атомових вагів од значіння цілих чисел оказались облудними після того, як було вияснено, що багато елементів представляють собою ізотопну мішанину. Але нема сумніву в тому, що більш тонкі відхилення атомових вагів од значіння цілих чисел таким способом пояснити неможливо. Взяти хоч би елемент Не з атомовою вагою 4. Коли його ядро складається із чотирьох водневих ядер, то воно повинно б важити $1,008 \times 4 = 4,032$; через те що маса ядра означає масу цілого атома, то й атомова вага гелія повинна б бути не 4, а 4,032. Але вже раніше було сказано, що кілька позитивно заряджених α -часток не можуть триматись купи без присутности певної кількості негативно заряджених β -часток. Так само, очевидно, і ядра водня, теж заряджені всі позитивно, відштовхувались би взаємно; а щоб вони могли триматися вкупі, треба припустити, що й їх також в'яжуть між собою негативні β -частки. Значить, навіть такі малі ядра, як ядро гелія, представляли б собою доволі компліковані системи, в котрих розвиваються значні електричні сили. Гелієве ядро складалось би із 4 атомових ядер і двох електронів по формулі $4h2\beta$. Коли уявити собі, що два електрони містяться в двох протилежних вершинах октаедра, то чотири водневих ядра розмістяться тоді в інших чотирьох вершках цього октаедра. Водневі ядра кружляють довкола осі, яка проходить через два протилежні електрони; площа цього коловоротного руху буде, значить, перпендикулярна до тієї осі, що проходить через електрони. Через те, що віддаль цих електронів від ядер є невелика, то між ними виникає взаємочинність, повстають електричні й магнетні сили, котрі згідно з теорією електромагнетних явищ спричиняють появлення електромагнетної маси. Ця власне обставина, на думку *Гаркінса*, пояснює, чому маса ядра гелія не цілком точно відповідає четверній масі водневого ядра; властивості електро-магнетної маси являється також причиною тих тонких відступлень мас тяжчих атомових ядер од кратних значінь маси водневого ядра, про які згадано вище.

*) «...можливо, що існує ізотоп (азоту) з атомовою вагою 15, який грає ролю незначної домішки у звичайному азоті. Коли це так, то зайву соту частину в атомовій вазі азоту (14,01) треба віднести на рахунок цього ізотопу». (Френкель. Строен. матер. Ч. 1. Стор. 139).

Для того, щоб ідея повстання всіх атомових ядер із певних комбінацій водневих ядер не залишилась одним тільки теоретично-абстрактним міркуванням, а базувалась би на певних експериментально-наукових даних, треба довести, що водневе ядро дійсно є складовою частиною атомових ядер різних хемічних елементів. Для цього необхідно було б, або знайти серед природніх явищ докази того, що із складу атомів певних елементів, вилучаються водневі ядра, або треба було видумати спосіб штучного вилучування водневих ядер із ядер тяжчих атомів.

Резерфорд (1919 р.) справді пощастило здійснити цей трудний шлях та показати, що при зударенні α -частинок з атомами азоту останні викидають частки невеликої маси, ідентичність котрих з водневими ядрами доказана була пізніше найточнішими дослідженнями їх природи.

Ми вже знаємо, що α -частка, пролітаючи зблизька від атомового ядра, підпадає впливові того ядра, в наслідок чого відхиляється в більшій чи меншій мірі від свого простолінійного шляху. Однак, при наближенні α -частки до ядра атома, а тим більше при їх зударенні не тільки α -частка відхиляється від свого шляху, але й саме те ядро мусить змінити свій стан під впливом удару: воно теж мусить бути приведено в стан руху, при чому швидкість його руху буде тим більшою, чим меншою є його маса. Через це особливо великою по-



Мал. 24.

винна бути швидкість руху тоді, коли α -частка пролітає в безпосередній близькості від водневого ядра. Це й було фактично констатовано, як видно на мал. 24, де показані на фотографії шлях α -частки в атмосфері водня й шлях водневого ядра.

Теоретично було обчислено, що при центральному ударі воднене

ядро придбає таку швидкість, котра буде в 1,6 разів більшою за швидкість α -частки, яка поцілила б у центр ядра. Так само було обчислено, що воднева частка при однаковій швидкості з α -часткою матиме приблизно однакову з нею довжину свого найдовшого шляху. Через те ж, що довжина найдовшого шляху α -частки пропорційна кубічній степені її швидкості, то значить при центральному ударі α -частки в ядро водня, це останнє мусить пролетіти шлях приблизно в чотири рази більший за шлях α -частки ($1,6^3=4,096$). Таке явище дійсно було спостережено при дослідях над еманациєю радія. Еманация радія виділяла α -частки, котрі при нормальному тиску в атмосфері водня пролітали 24 см., але явище сцинтиляції, хоч і мало інтенсивної, спостерігалось на віддалі навіть більше як 80 см. Змірювання відхилень тих часток, котрі спричиняли сцинтиляцію на такій порівнюючій великій віддалі, в електричному й магнетному полі показали, що ці частки несуть одинарний елементарний заряд позитивної електричності і мають масу, рівну одиниці. Отже ці частки є не що інше, як водневі ядра.

Далі було спостережено, що такі далекосяглі частки появляються також при пропусканні α -часток через різні тіла, в склад котрих входить водень. Звідси можна було б зробити висновок, що α -частки, влучивши у центр атомового ядра, або пролетівши поблизу від нього, вибивають із атомового ядра водневе ядро. Оскільки рідко може трапитись подібний ефект, показують такі обчислення Резерфорда: із числа 300.000 α -часток, кожна з яких на протязі 1 см. водня зустрічається приблизно з 10.000 молекул, лише одна α -частка спричиняє виникнення далекосяглої водневої частки.

Однак при своїх дослідях *Марсден* і *Лансбері* зауважили, що водневі частки виникають під впливом α -часток навіть в таких умовах, де присутність водню, здавалось, була виключена. Так пластинка ніклю, нагріта до високої температури для видалення водяної пари та оклюдованого водню, також вилучала водневі частки, коли на неї клалось радій. Дальші досліді виявили, що ці водневі частки вилучались також, коли бралось радій А і радій С. Питання про те, чи водневі частки вилучались із ядер радіоелементів (RaEm , RaA , RaB , RaC), чи може причиною їх появи був всетаки невидальний оклюдований водень, оставалось неясним.

Коли ж *Розерфорд* став досліджувати появлення водневих часток в атмосфері різних газів, то вияснилось, що число сцинтиляцій було більше в присутності азоту. В атмосфері хемично-чистого азоту число сцинтиляцій було на 25% більше, ніж у повітрі. Отже виходить, що Розерфордові вдалось за допомогою своєрідного катапульту

вибити водневі ядра із ядер азота, бомбардуючи їх α -частками радіоелементу.

Щоб не залишлось сумніву, що ці частки були дійсно водневими ядрами, *Розерфордом* були досліджені їх відхилення під впливом певного магнетного поля та відхилення ці були порівнані з відхиленням α -часток у тому ж полі і при тих самих умовах.

Із числа всіх однозарядних часток лише частки з масою 1 повинні виказувати відхилення *більше* за відхилення α -часток; всі ж інші однозарядні частки вказуватимуть *менше* відхилення в порівнанні з відхиленням α -часток.

Експериментальні дані показали, що частки, які вибиваються із азоту виказують відхилення більше за відхилення α -часток; отже очевидно що їх маси мусять бути рівні 1, ц. т. ці частки дійсно являються водневими ядрами.

Можна було думати, що кожне атомове ядро азота при бомбардуванні його α -частками розбивається на ядро вугля та два ядра водня. Але недавні досліді *Резерфорда* виказали дуже інтересні результати, а то власне виявилось, що α -частка вибиває із азотового ядра одно воднєве ядро і сама залишається в тому азотовому ядрі, так що замість вуглевого ядра після влучного стрілу повстає ядро кисня з масою 17, ц. т. утворюється ізотоп кисня з атомовою вагою 17*).

Цими експериментами доказано, що не тільки тяжкі ядра радіоелементів, але й порівнююче легке ядро азота, збудоване із простіших складових частин; поруч ядра гелія такою складовою частиною являється й воднєве ядро.

Через що ядро гелія не розкладається на чотирі водневі ядра, на основі теорії релятивності пояснюється так: при конденсації чотирьох ядер водню ($4 \times 1,008 = 4,032$) в одно ядро гелія (4) повинна статись втрата маси, рівна 0,032, котра відповідає великій втраті енергії. При утворенні грам-атома гелія втратилось би $7 \cdot 10^{12}$ калорій, як наслідок «енергічного дефекту маси». Отже, треба було б придати значну кількість енергії, щоб розбити одно ядро гелія на чотири водневі ядра; цим і пояснюється тривкість гелієвого ядра.

Той самий «енергічний дефект маси» пояснює також тривкість ядер інших елементів. Обраховано, що при перетворенні якого-небудь складного елемента на водень через нагрівання необхідно було б довести температуру до сотень мільярдів градусів. Як-що взяти до уваги, що при звичайних хемічних реакціях енергія міряється десятками чи сотнями великих калорій на грам, то стає вповні очевид-

*) Kramers. u. Holst. Das Atom... стор. 84.

ним, що хеміки мають підставу трактувати атоми, як «неподільні» частки, бо в хемічних реакціях розклад їх являється цілковито виключеним.

Варте уваги ще одно спостереження. Водневі частини, які були вибиті із алюмінія, виказали значну довжину свого шляху; їх кінетична енергія була в 1,3 раз більшою за початкову енергію тих α -часток, які спричинили появлення цих водневих часток. Із цього робиться висновок, що певну кількість своєї кінетичної енергії водневі частки дістають від ядра, яке розпадається при ударі.

До цього часу всі спроби вплинути якимись зовнішніми чинниками на природній процес розпаду радіоелементів zostались безрезультатними.

Штучний розклад атомів хемічних елементів удалось викликати в елементів з невисокою атомовою вагою за допомогою енергійних α -часток. Бомбардування атомів α -частками Фаянс оцінює, як штучне стимулювання радіоактивного процесу, який уже сам може породити певну кінетичну енергію, як це спостережено при виділенні водневих часток із алюмінія.

Окрім азота виділення водневих часток було констатовано в таких елементів:

елементи:	B	F	Na	Al	P
атом. вага:	11	19	23	27	31

Навпаки, в газах O_2 , CO_2 , SO_2 виділення водневих часток зауважено не було. Інтересне те, що атомові ваги елементів, котрі виділяють водневі частини можна виразити загальною формулою:

$4n+2$ (азот) або $4n+3$ (всі інші), де n — ціле число.

Формула ж для елементів, що водневих часток не виділяють, буде просто $4n$. Тому можна було б припустити, що ці останні хемічні елементи мають будову гелієвого типу, в той час як перші ніяким чином не могли б повстати із самого лише гелія і обов'язково потребували б для свого складу також і водневих часток. Так атом азота міг би мати такий склад: $3He+2H$; бор — $2He+3H$; натрій — $5He+3H$ і т. д.

Справа не представляється, однак, так простою, як це могло б на перший погляд здаватись. Провадячи свої досліди, Резерфорд спостеріг, окрім водневих часток, ще іншого сорту частки, котрі мали довжину свого шляху приблизно на 30% більшу за довжину α -проміння, яке спричинило їх виникнення: α -частки пролітали в повітрі 6,97 см., а ті невідомі частки — 9 см. Ці невідомі частки

утворювались при проходженні α -проміння через азот і кисень. але досліди показали, що це не були ядра атомів цих елементів. Довжина їх шляху (менша за довжину шляху водневих часток) свідчила про те, що не були це також і водневі ядра. Аналізуючи результати досліджень відхилення цих невідомих часток у магнетному полі і порівнюючи ці дані з даними про таке ж відхилення водневих часток, *Резерфорд* прийшов до висновку, що невідомі частки мають подвійний позитивний заряд, подібно до α -часток, але їх маса рівна 3, ц. т. ці невідомі частки представляють собою ядра невідкритого ще елементу, ізотопного зі звичайним гелієм. Отже атомова вага цього ізотопу є 3, в той час як гелій має атомову вагу рівну 4; заряд обох ізотопів однаковий і рівний $2e$. Правда, існують і інші погляди на природу цих нововідкритих часток з масою 3. Перрен, напр., вважає їх за ядра елементу, ізотопного не з гелієм, а з воднем, при чому це ядро мало б складатись із трьох водневих ядер і двох електронів по формулі $h_3\beta_2$, ц. т. мало б заряд не $2e$, а $4e$. Але фактом є те, що частки ті являються ядрами невідомого тим часом елементу, котрий в теральних умовах у вільному стані не існує. Елемент з атомовою вагою рівною 3 був відкритий *Бюіссоном* і *Фабрі* в туманності Оріона; він був названий *небулієм*. Отже природа цього таємничого елементу остаточно не встановлена, і тому можна означити його, як це де-хто робить, символом X_3 . Як-що він має ядерний заряд $2e$, то він, безсумнівно, є ізотопом гелія, а його ядерний склад буде виражатись формулою $h_3\beta$.

При переведенні дослідів, оказалось, що ядра X_3 виникають в атмосфері азоту в значно більшому числі, ніж ядра водня, а то власне їх утворюється в 5—10 разів більше, ніж водневих ядер. Очевидно, що ударом α -частки в ядро азоту із цього ядра вибиваються то ядра X_3 , то водневі ядра, незалежно одно від другого. Було обчислено, що енергія α -частки, яка вдаряє в азотове ядро, є меншою за ту кількість енергії, котра потрібна для компенсації енергії, затраченої на розбиття азотового ядра та на викидання з нього продуктів розпаду. Тут знов, очевидно, маєтись перед очима явище, де відскакування продуктів розпаду ядра відбувається на рахунок внутрішніх сил атомової системи, подібно до того, як це відбувається в радіо-елементів. Але на процес розкладу цих радіоактивних елементів, як уже говорено було, не можна вплинути ні в напрямі його прискорення чи стимулювання, ні навпаки — для його припинення. Тут же, як і у випадку з алюмінієм, штучними засобами стимулюється процес розкладу атомового ядра, аналогічний по суті з явищем радіо-активності.

Який же висновок можна загалом зробити що-до структури атомових ядер? Наука ще не дала поки-що цілком точної відповіді на це питання, але з великою мірою ймовірності, базуючись на результатах модерної науки про фізику ядра, можна думати, що тяжкі атоми радіоелементів мають головною складовою частиною ядра гелія з масою 4 і зарядом $2e$; атоми ж легших елементів складаються із ядер гелієвого ізотопу X_3 , та кількох водневих ядер. Однак, не виключно, що й у склад легших атомів входять складовими частинами гелієві ядра поруч з ядрами X_3 , та водневими ядрами. Само собою розуміється, що звязуючим всі ядра цементам служили б електрони.

Сучасний англійський фізик *Кемпбел* пише:

«Через те, що ядра водня та гелія можуть появлятися як фрагменти розбитих ядер більшої маси, природним є припустити, що ці простіші ядра є в числі тих складових частин, із котрих зформовані найбільш складні ядра; бо-ж коли ми не приймаємо такого погляду, то нема жадного доказу на користь того, щоб ядро взагалі мало будь яку структуру. Цілком природним буде зробити ще один крок наперед та припустити, що ці два сорти ядер та ще електрони (котрі також появляються як фрагменти ядер) є одиницями найдрібнішими (ultimes) складовими частинами»*).

Хоч тут завжди береться, як цеглини ядерної будови, гелієві ядра та ядра X_3 , нарівні з ядрами водня, але ми вже згадували, що й самі ті гелієві та X_3 ядра могли повстати з 4 чи 3 водневих ядер з додатком двох чи одного електрону. На думку *Резерфорда*, не виключається можливість, що не тільки 4 або 3 водневих ядра звязуються електронами до купи, але й 2 водневі ядра можуть бути звязані до купи одним електроном. В такому разі утворилось би ядро з масою 2 і одним позитивним зарядом. Отже, тоді повстав би елемент з атомовою вагою 2 і з зарядом ядра рівним заряду водневого ядра; він був би не-що инше, як ізотоп водня. Але можливо, нарешті, що одно водневе ядро злучується з одним електроном, при чому цей електрон не обертається навкруги ядра на певній віддалі, як це є в нейтральному водневому атомі, а знаходиться в безпосередній близькості ядра, цеб-то впрост прилягає до ядра. Тоді б утворилась певна електро-неутральна система, котра мала б, однак, певну лінійну форму; отже ця система (позитивне водневе ядро + негативний електрон) не могла б залишатись індиферентною до напрямку силових ліній магнетного й електричного поля; вона повинна була б реагувати на них цілком певним способом та займати певне положення в тому полі в залежності від напрямку силових ліній. Припускають, що з таких іменно парок скла-

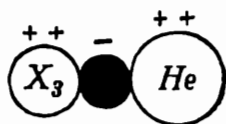
*) N. R. Campbel. La structure de l'atome. Стр. 38 (1925).

дається той гіпотетичний етер, до якого звертаються фізики при поясненні різних фізичних явищ. Більше того, *Нернст* припускає, що при відповідних умовах із тих етерових парок могли б утворюватись водневі ядра і, навпаки, самі водневі ядра могли б перетворюватись на етер. Тут перед творчою працею людського розуму відкриваються необмежені простори для витворення гіпотез і теорій, котрі допомогли б людському інтелектові проглянути в глибину таємниць природи.

Коли б схотіти представити схематично склад ядер не гіпотетичних, а в дійсності існуючих різних елементів, то це можна було б зробити в виді таких комбінацій, які показані на мал. 25—29.

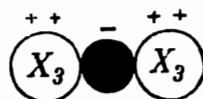
Відносно літія із дослідів *Астона* відомо, що він має два ізотопи: один з масою ядра 7, а другий з масою 6. Ядерний заряд обох цих ізоотопів є 3. Виходячи з попереднього, можна собі уявити склад ядер цих ізоотопів в той спосіб, що ізоотоп з масою 7 складається із одного гелієвого ядра і одного ядра X_3 , зв'язаних між собою одним електроном; ядро ізотопа з масою 6 складалось би тоді із двох ядер X_3 , також зв'язаних між собою одним електроном.

Ядро літія. Маса 7, заряд 3.



Мал. 25.

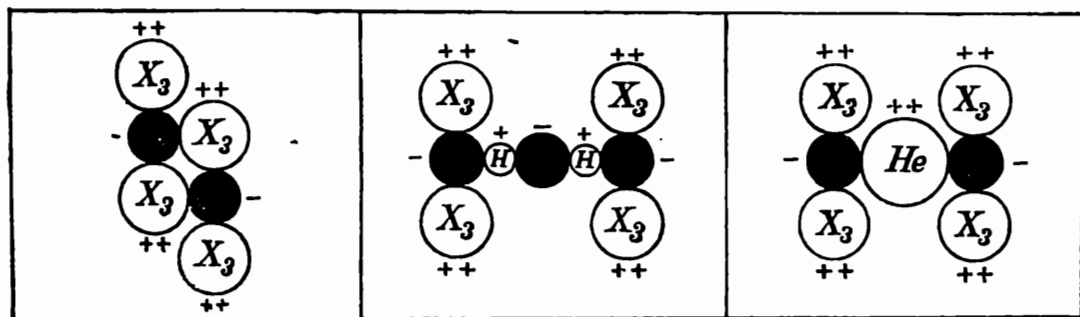
Ядро ізотопа літія. Маса 6, заряд 3.



Мал. 26.

На відповідному місці була мова про те, що азот і кисень виділяють ядра X_3 при обстрілюванні їх α -частками; разом з тим говорено було, що лише азот виділяє водневі частки, а кисень, так само, як і вугіль, таких водневих часток не виділяє. На основі цих даних структуру ядер цих трьох елементів можна представити так, як це показано на малюнках 27—29.

Ядро вугля. Маса 12, зар. 6. Ядро азота. Маса 14, зар. 7. Ядро кисня. Маса 16, зар. 8.



Мал. 27.

Мал. 28.

Мал. 29.

Значить, вуголь мав би складатись із 4-х ядер X_3 і 2-х електронів з ядерною формулою $(X_3)_4\beta_2$; азот склався би з 4-х ядер X_3 , 2-х ядер водня і 3-х електронів з формулою ядра $(X_3)_4h_2\beta_3$; кисень складався би з 4-х ядер X_3 , одного ядра гелія та 2-х електронів і мав би формулу ядра $(X_3)_4he\beta_2$.

Атомові ядра тяжчих хемічних елементів мали б, звичайно, більш складну структуру, яку так само можна було б представити в певній графічній комбінації відповідних складових їх частин. Це, очевидно, станеться, коли вивчення фізичної природи атомових ядер дасть належний матеріал що-до характеру тих цеглин, із яких відповідне ядро зложене.

Нам залишилось би ще сказати де-що про будову цілого атома, а також про те, як утворюється із атомів ще більше складна система молекулярного їх сполучення. Але перед тим, як перейти до цієї точки нашої теми, нам прийдеться зробити невелику екскурсію у бік та трошки ближче приглянутися до тих оптичних явищ, про які було побіжно згадано на кінці третього розділу.

Вже віддавна в науці користуються *спектральним аналізом*, за допомогою котрого не тільки можна було виявити найменшу кількість певного елементу, але були відкриті також і невідомі перед тим елементи. Спектральний аналіз оснований на тому, що нагріті до високої температури газ чи пара дають світло певних барв. Коли проміння цього світла перепускається крізь вузьку щілинку або призму, то повстає спектр, але не такий, як від соняшного проміння, а т. зв. *перерваний* або *лінійчастий*. Він складається із окремих ліній, котрі розміщуються з певними інтервалами на екрані. Для точних дослідів уживаються дифракційні решітки з дуже дрібними й густими нарізками (як уже було сказано до 2000 на 1 мм.). За допомогою таких решіток пропущене через щілинку проміння розкладається на кілька окремих *дифракційних спектрів*, які розміщуються по обидва боки центрального образу щілинки, один коло одного під певними кутами і на певній віддалі від того центрального образу.

Спектральні лінії являються настільки характеристичними для кожного елементу, що по їх приявності з повною непомильністю можна судити про присутність відповідного елементу. З другого боку відповідними змірюваннями ліній дифракційних спектрів вчисляется довжина хвиль лінії даної барви.

Окрім видного спектру, як відомо, існують ще невидні *інфра-червона* і *ультра-фіолетова* частини спектру, при чому довжина хвиль першої є значно більшою, а довжина хвиль другої є коротшою за довжину хвиль видної частини спектру. Про інфра-червоне проміння

судиться на основі різних теплових ефектів, а ультра-фіолетове проміння проявляє себе реакцією на фотографічну пластинку.

Водень дає звичайно 4 окремі лінії, але при більшому розрідженні появляється ще й п'ята. Їх означають відповідними грецькими літерами; довжина хвиль кожної такої лінії є різна, як це видно із наведеної таблиці XV*).

ТАБЛИЦЯ XV.

Лінії	Барва	Довжина хвиль в А. Е.
H α	Червона	6563
H β	Зелена	4861
H γ	Синя	4341
H δ	Фіолетова	4102
H ϵ	Фіолетова	3970

Гелій дає вже 7 таких різної барви ліній також в різною довжиною хвиль кожної лінії, як показано на таблиці XVI.*)

ТАБЛИЦЯ XVI.

Лінії	Брава	Довжина хвиль в А. Е.
He ₁	Червона	7065
He ₂	Червона	6678
He ₃	Жовта	5876
He ₄	Зелена	5016
He ₅	Синя	4923
He ₆	Фіолетова	4713
He ₇	Фіолетова	4471

Інші елементи дають значно більше таких ліній; напр. літій — 20, натрій — 35, калій — 41, барій — 163, титан — 728, а залізо по над 5000 ліній.

Після довгих шукань пощастило нарешті знайти певну закономірність, яка виявляється в значіннях довжини хвиль різних барв. Базельський гімназіальний професор *Бальмер* (1885 р.) цілком емпіричним шляхом прийшов до висновку, що коли ввести певну константу рівну 3646,13, то довжина хвиль всіх водневих ліній укладається в певну формулу, що видно із таблиці XVII.

*) Довжина хвиль показана в т. зв. Ангстремових одиницях (А. Е.); така одиниця рівна одній десятимільйонній частині міліметра ц. т. 10^{-8} см.

ТАБЛИЦЯ XVII.

Лінії	Довжина хвиль	
	підведена під формулу	визначена по формулі
H α	$3646,13 \times \frac{9}{9-4}$	6563,03
H β	$3646,13 \times \frac{16}{16-4}$	4861,50
H γ	$3646,13 \times \frac{25}{25-4}$	4340,63
H δ	$3646,13 \times \frac{36}{36-4}$	4101,90
H ϵ	$3646,13 \times \frac{49}{49-4}$	3970,25

Результати обчислень довжини хвиль по формулі оказались майже цілком ідентичними з тими, котрі були здобуті на основі відповідних вимірювань. Як видно із таблиці XVII константа 3646,13 множитья по черзі на такі величини:

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

Пізніше виявилось, що в ультра-фіолетовій частині існує ряд водневих ліній, знайдених почасти в рурках Гайслера, а почасти в протуберанціях, які підлягають також цій закономірності, при чому в чисельнику будуть відповідно стояти величини $8^2, 9^2 \dots 31^2$, а в знаменнику $8^2-2^2, 9^2-2^2 \dots 31^2-2^2$. Отже для цих водневих ліній можна написати загальну формулу Бальмера

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

де λ довжина хвилі, K — константа $= 3646,13$, а $m=3,4,5,\dots,31$.

Коли замість довжини хвиль ввести в цю формулу значіння для числа колихань відповідних ліній, то формула матиме такий вигляд:

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

де ν число колихань в секунду, c — швидкість соняшного проміння $= 3 \cdot 10^{10}$ см., а R — константа Рідберга $= 3,291 \cdot 10^{15}$. Якщо в спектральних формулах замість числа колихань в секунду вводиться число хвиль в 1 см. проміння $\left(\frac{1}{\lambda} \right)$, то відповідно змінюється і Рідбергова константа $R_1 = \frac{R}{c}$; згідно зі вимірюваннями Пашена від-

носно водня $R_1 = 109677,69$. Таким чином під цю формулу можна підвести числа колихань всіх ліній водневого спектру, коли для всіх вгорі згаданих водневих ліній m надавати послідовно значіння 3, 4, 5... 31. Всі лінії, котрі обіймаються формулою Бальмера, коли замість m підставляються порядкові цілі числа, представляють собою *серію ліній* і називаються *серіальними лініями*.

Кілька років після того, як появилася формула Бальмера, шведський фізик *Рідберг* (1890 р.) спробував доказати, що серіальну закономірність не тільки водневих ліній, але й різних інших елементів можна обняти більш загальною формулою такого виду

$$\nu = R \left[\frac{1}{(m_1 + \mu_1)^2} - \frac{1}{(m_2 - \mu_2)^2} \right]$$

де R -константа Рідберга, m_1 і m_2 — порядкові цілі числа, μ_1 і μ_2 — дві константи характеристичні для кожного даного елементу. Як-що в цій формулі m_1 не змінюється, а m_2 надаються різні значіння, то вихислюється числа колихань, котрі відповідають одній серії ліній; коли ж давати різні значіння також і m_1 , то вихислюється числа колихань, котрі відповідають уже не одній, а різним серіям ліній.

На цій формулі, однак, не стало, бо в часом виявилася не цілковита її точність. *Ріц* звернувся назад до Бальмерової формули, надавши їй більш загальне значіння. Цього він досяг (1908 р.), прикладаючи до формули Бальмера «комбінаційний принцип», котрий полягає в тому, що в цій формулі з двох членів-детермінаторів він брав для одного (m) таке значіння, котре означає якусь певну лінію, а для другого (2) брав уже таке значіння, котре являється характеристичним для іншої лінії, навіть для іншої серії ліній того самого елементу. Такою метою він прийшов цілком теоретично до висновку, що можуть існувати водневі лінії, котрі можна підпорядкувати Бальмеровій формулі, коли в ній замість величини 2 поставити число 3 чи якесь інше.

І, дійсно, того ж таки року *Пашен* відкрив у інфра-червоній частині водневого спектру дві лінії, котрих числа колихань підлягали формулі:

$$\nu = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

при чому m мало значіння 4 і 5.

Трохи згодом *Ліман* відкрив уже в ультра-фіолетовій частині водневого спектру серію ліній, котра відповідала формулі:

$$\nu = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

де m мало інші значіння, а саме 2,3 і 4. Результати обчислень на основі Бальмерової формули надзвичайно добре покривались з експериментально добутими даними відносно довжини хвиль тих чи інших ліній. «Все це приводило до висновку, що всі ці формули та обидва члени формул, дійсно, мають за собою певний фізичний зміст, який залежить од відповідної атомової системи.»*)

Подібно до водневих, встановлені були такі серії ліній і в багатьох інших спектрах, при чому виявилось, що лінії тої самої серії мають однаковий вид. Таких серій буває де-кілька. Лінії першої серії виступають дуже ясно; лінії другої серії стають все менш ясними в напрямі до червоного краю спектра, а лінії третьої серії, навпаки, втрачають свою ясність в напрямі до фіолетового краю спектра.

Причина виникнення самих ліній і тієї закономірності, яка наводить свій вираз у їх серіяльності та формулах Бальмера й Ріца, лежить, очевидно, в самому атомі. Складну комбінацію хвиль проміння спричиняють, очевидно, ті періодичні рухи, які відбуваються в планетарній системі атома з центральним ядром, що несе певний позитивний заряд, і відповідною до цього заряду кількістю електронів що кружляють довкола того ядра. Нуклеарна теорія Резерфорда не давала відповіді на те, яким способом сконструйований той атомовий механізм, що своїм рухом спричиняє цю дивну закономірність коливань, яка виявляється в законі серіяльних спектрів. Це нелегке завдання — дати образ руху атомового механізму — довго стояло нерозв'язаною задачею перед ученими, аж зрештою молодий данський фізик *Нільс Бор* (1913 р.) накреслив таку систему руху електронів навколо атомового ядра, котра надзвичайно добре годилась з усіма відомими фактами і цілком висвітлювала причину виникнення явища серіяльності спектральних ліній.

«Образ атома, як відомо, утворений головним чином на підставі дослідів Резерфорда над радіоактивними елементами, дуже простий. Але за цією простотою відразу показуються труднощі що-до пояснен-властивостей елементів. Розглядаючи питання з погляду звичайних механічних та електродинамічних уявлень, ми не бачимо в цій моделі підстави для пояснення певних якостей елементів і передусім не можемо зрозуміти їх тривкості. З одного боку, не можна вказати тривких положень рівноваги часток в атомі, а з другого боку, кожне виникнення руху спричинить обов'язково електромагнетну радіацію, котра не може припинитись доти, поки не вилучиться вся енергія, і електрони впадуть на ядро.

Вихід із цього затруднення знайдено в уявленнях, взятих із так

*) Беркенгейм. Осн. теорет. хим. Стор. 75.

званої теорії квантів. Суть цієї теорії положена в основу славної праці Планка (1900 р.) про закон тепловного промінювання. Ця теорія рішуче пориває з попередніми поглядами: в ній уперше при формулюванні загальних законів природи вводиться припущення про переривність.»*)

Закон збереження енергії вперше ясно висловлений був *Ю. Майєром* (1842 р.), але визнав його повне значіння й уперше консеквентно приклав до різнородних явищ тільки *Г. Гельмгольц* (1847 р.).

Згідно з цим законом енергія не твориться й не гине, а лише перетворюється з одної форми на другу. Енергія може прибірати різнородні форми; вона буває електричною, хемічною, світляною, потенціальною, кінетичною, тепловою. Все, що відбувається в явищах фізичних і хемічних, зв'язане зі зміною форми енергії, при чому ця зміна, згідно з законом Гельмгольца, мала відбуватись непереривно, ц. т. збільшувалась чи зменшувалась о найменшу величину.

Навпаки, *теорія Планка* говорить, що енергія виділяється квантами. Коли є якийсь *осцилятор* або *резонатор*, ц. т. система, яка може рухатись, роблячи певні рівномірні коливання, напр., електрон, що колихається коло свого положення рівноваги, то в такому разі енергія E має атомовий характер і являється кратним певної елементарної кількості енергії e .

$$E = ne$$

де n є ціле число. Тут енергія вилучається не неперервно й рівномірно, а ніби-то окремими малесенькими дозами, або, як кажуть, квантами. Атом може вилучити певну мінімальну кількість енергії, чи то в виді енергії колихань чи радіації, може вилучити один квант енергії, два, три і т. д. квантів енергії, але не може вилучити якусь дробову кількість кванта, ц. т. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ або $2\frac{3}{4}$ кванта енергії.

Однак кванти енергії не все бувають однакові; вони тим більші, чим більше число колихань. Відношення між величиною кванта енергії та числом колихань являється постійною величиною:

$$\frac{e}{\nu} = h \text{ або } e = h\nu,$$

де e — квант енергії, ν — число колихань, а h — постійна, котра називається *константою Планка*, або *дієвим квантом*. Планкова константа $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$ ерг./сек.

Із цього видно, що знаючи число колихань ріжного проміння, можна вирахувати кванти їх енергії.

*) Niels Bohr. Реферат, прочитаний 8 жовтня 1921 р. в Фізичному Товаристві в Копенгазі на тему: «Структура атомів і фізично-хемічні якості елементів». Рос. перекл. в книжці п. н. «Три статті о спекрах и строении атома», ст. 77 /1923).

ТАБЛИЦЯ XVIII*).

Рід коливань	Червоне проміння	Фіолетове проміння	Ультра-фіолетове проміння	Рентгенове проміння
Довжина хвилі.....	$7600 \cdot 10^{-8}$	$3800 \cdot 10^{-8}$	$1000 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Число коливань	$0,04 \cdot 10^{16}$	$0,08 \cdot 10^{16}$	$0,3 \cdot 10^{16}$	$300 \cdot 10^{16}$
Квант енергії (в ергах)	$0,26 \cdot 10^{-11}$	$0,52 \cdot 10^{-11}$	$1,95 \cdot 10^{-11}$	$1950 \cdot 10^{-11}$

В теорії Бора кванти енергії відіграють важну роль. Розвиваючи далі теорію Резерфорда, Бор за допомогою квантів проводить аналогію між атомом і соняшною системою. При тому Бор виходить із засади, що атомова система має такі положення, при котрих енергія не вилучається, хоч окремі складові частини цієї системи рухаються одна відносно другої і, згідно зі звичайними електродинамічними законами, мали б вилучати енергію. Такі положення він називає *стаціонарними станами* даної системи. Далі він припускає, що вилучення чи, навпаки, засвоєння енергії відбувається лише в тому разі, коли система переходить із одного стаціонарного стану в другий. Вилучення енергії при такому переході буває все однаковим; так що

$$h\nu = E_m - E_n,$$

де h —постійна Планка, ν —число коливань, а E_m і E_n є ті величини енергії, які має дана система при відповідних двох стаціонарних станах: до вилучення енергії і після вилучення її. «Слід думати, що при світлій радіації система переходить із одного стану в другий; ми називаємо ці стани *стаціонарними станами* для означення того, що вони являються зупинками, між якими відбувається вилучення енергії, котра відповідає даній спектральній лінії»**).

В атомовій системі електрони обігають навколо ядра на цілком певних дистанціях від ядра; ці дистанції характеризуються цілими числами, а електрони, що рухаються по цих шляхах, мають цілком певну швидкість.

Бор аналізує найпростішу атомову систему водневого атома, який складається із одностороннього ядра й одного електрону, що кружиться коло того ядра. На основі відповідних обчислень вираховуються учі кругових шляхів електрону і його швидкість. Електрон може, рухатись в залежності від числа дієвих квантів по одно-квантовому дво-квантовому, три-квантовому і т. д. шляху. Лучі цих кругових шляхів відносяться між собою, як квадрати порядкових чисел, ц. т. 1:4:9:16:25:36 і т. д. Найменший круг — одноквантний має луч

*) За Grätz-ом. (Atomtheorie...).

**) N. Bohr. Про спектр водня. Реферат, читаний 20 грудня 1913 р. в Копенгазі в Фізичному Товаристві. Рос. пер. в назв. книж., стор. 21.

$0,55 \cdot 10^{-8}$ см.; другий круг — двоквантовий має луч $2,20 \cdot 10^{-8}$; трьохквантовий — $4,95 \cdot 10^{-8}$; чотирьохквантовий — $8,80 \cdot 10^{-8}$; п'ятиквантовий — $13,75 \cdot 10^{-8}$ і т. д.

Швидкість електрону на першому крузі рівна $2,172 \cdot 10^8$ см./сек., ц.т. рівна приблизно $\frac{1}{140}$ швидкості соняшного проміння. Що далі від ядра знаходиться відповідний шлях, то все меншою є швидкість електрону. Коли вважати швидкість електрону на першому крузі за 1, то швидкості на інших кругах будуть стояти до тієї швидкості в таких відношеннях: $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} : \frac{1}{5}$ і т. д.

Для того, щоб електрон вивести із системи водневого атома та віддалити його з першого круга на безконечно-далеку віддаль, треба затратити певну роботу, котра є роботою відривання того електрону. Вона, згідно з відповідними обчисленнями, рівна $20,90 \cdot 10^{-12}$ ерг.

Так само треба затратити певну роботу для того, щоб перевести електрон з якогось взагалі ближчого круга на один із дальших кругів системи; навпаки, коли електрон переходить із якогось дальшого круга на ближчий, то він вилучає таку саму кількість енергії, яку треба було б затратити на переведення його з того самого ближчого на той самий дальший круг.

Згідно з теорією квантів, кількість енергії, яка вилучається при переході електрону із одного стаціонарного стану в другий стаціонарний стан, може бути тільки елементом енергії.

Отже з попередньої формули виходить, що

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h}.$$

Але кожному числу колихань відповідає певна барва світла; значить, процес кожного переміщення електрону із одного стаціонарного стану в другий супроводиться світляною радіацією цілком певної барви.

Обчислення показують, що число колихань

$$\nu = \frac{E_m - E_n}{h} = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

де n — порядкове число ближчого круга, m — порядкове число дальшого круга, а R — певна постійна величина.

Таким чином, коли припустити, що електрон переходить із якогось дальшого m — ого круга, напр., на *другий* круг, то цю формулу треба написати так:

$$\nu = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Як бачимо, тут у правій частині рівняння одним із множників є множник формули Бальмера для означення водневого спектру. Але більше того, величина R в цій формулі майже в точності відповідає величині константи Рідберга. У формулі Бальмера константа Рідберга має значіння 109.677,69 а в цій формулі $R=110.100$, ц. т. різниця між обома цими величинами не перевищує 0,4. % Така незначна різниця між емпірично добутою величиною константи Рідберга й вичисленим значінням R в останній нашій формулі дозволяє зробити висновок, що при перелітанні електрону з одного якого-небудь m — ого кола на *другий* круг виникає вібрація з числом коливань, котре в точності відповідає формулі Бальмера для водневої серії ліній.

Очевидно, що коли в 1 кб. см. водневого газу міститься кілька триліонів ядер і електронів, то тут можливі найрізноманітніші комбінації перелітань електронів з одних кругів на другі. Коли ми брали раніше тільки випадки перелітань на *другий* круг, то це лише для того, щоб привести до порівняння з Бальмеровою серією водневих ліній. Але не виключено, розуміється, що електрони перелітатимуть також і на *перший* круг. Тоді число коливань відповідатиме вже такій формулі:

$$\nu = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Довжина хвиль і число коливань проміння, котре виникає при перелеті електрона з другого, третього, четвертого й п'ятого кругів на перший круг, буде рівна, як показують обчислення, величинам, показаним на таблиці XIX*).

ТАБЛИЦЯ XIX.

З якого і на який круг переходить електрон	Число коливань відповідних хвиль	Довжина хвиль в А. Е.
2 — 1	0,24675 . 10 ¹⁶	1216
3 — 1	0,29244 . 10 ¹⁶	1026
4 — 1	0,30844 . 10 ¹⁶	973
5 — 1	0,31584 . 10 ¹⁶	950

Це значить, що при перелеті електрону з якогось дальшого кола на *перший* круг утворюється проміння, яке припадає на скрайню ультра-фіолетову частину спектра. Проміння це дуже трудно піддається спостереженню, бо через малу довжину своїх хвиль воно сильно абсорбується повітрям. Однак як ми вже бачили, подібне проміння Ліман все-ж таки спостеріг.

*) Числа коливань і довжини хвиль в табл. XIX і XX подані за Grätz-ом (Atomtheorie...).

Так само електрони можуть перелітати на *третій* круг з якогось дальшого круга. Число колихань в таких випадках буде відповідати формулі:

$$\nu = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

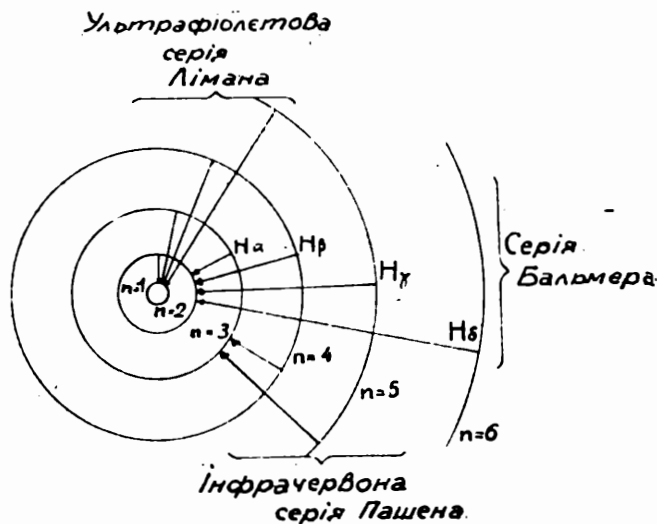
Відповідні дані що-до довжини хвиль і числа колихань для цих випадків показані в табл. XX.

ТАБЛИЦЯ XX.

З якого і на який круг переходить електрон.	Число колихань відповідних хвиль	Довжина хвиль в А. Е.
4 — 3	0,15998 · 10 ¹⁶	18752
5 — 3	0,23403 · 10 ¹⁶	12819
6 — 3	0,27420 · 10 ¹⁶	10941
7 — 3	0,29840 · 10 ¹⁶	10053

Із цієї таблиці видно, що ті хвилі, які утворюються при перелітаннях електронів із дальших кругів на *третій* круг планетарної системи водневого атома, припадають на інфра-червону частину спектру. І дійсно, дві такі лінії удалось відкрити Пашену, про що було вже згадано вище.

Для ясности сказаного покажемо це графічно. На мал. 30 в центрі концентричних кругів міститься атомове ядро; цифрами 1,2,3,4,5,6 означені одно-, дво-, три-, чотири-, п'яти- й шости-квант-



Мал. 30.

ні кругові шляхи електронів; стрілками показано з якого і на який круг переходить електрон, нарешті нагорі, збоку і під малюнком на- писано, які серії водневих ліній утворюються при відповідних пере- ходах водневих електронів.

Отже на цьому малюнку маємо графічний образ переходів водневих електронів на перший, другий і третій круги.

Із попереднього логічно випливає, що коли електрони перелітають із якогось далекого круга на четвертий, на п'ятий і т. д. круг, то в такому разі довжини відповідних хвиль були б настільки великими, що ті хвилі припадали б на частину спектру, яка лежить далеко поза межами видимої частини спектру. Напр. довжина хвилі при перелеті електрону з п'ятого на четвертий круг була б рівна $40.527 \text{ \AA}$.

Отже, в межах видимої для ока частини спектру лежать лише ті лінії, котрі повстають при переході електронів на *другий* круг. Ці хвилі, як видно із Бальмарової формули, можна ще спостерігати при перелеті електронів аж з 31 круга. Однак не при всяких фізичних умовах це може статись, що видно із таких розрахунків. При нормальному тиску віддаль між двома атомами (ребро молекулярного куба) рівна приблизно $0,33 \cdot 10^{-8}$ (ст. 68); це відповідає що-найбільше діаметру 5-го круга атомової системи водня, ц. т. лінії γ). Значить кругові рухи по шостому чи дальшому крузі можуть повстати лише тоді, коли водневі атоми будуть на більшій віддалі один від другого, ніж це є при нормальному тиску. В рурках Гайслера, де тиск зменшується до 1—2 мм., віддаль між двома сусідніми атомами рівна пересічно $2,7 \cdot 10^{-6}$, що відповідає приблизно діаметру п'ятнадцятого круга ($2,48 \cdot 10^{-6}$). Отже, коли електрон відскакує на більшу віддаль від даного водневого ядра, то він попадає вже в сферу впливу іншого ядра, довкола которого й починає оббігати. Значить, у рурках Гайслера можуть повстати лише такі водневі лінії, котрі відповідають переходу електронів на другий круг з третього, четвертого, а найдалі з п'ятнадцятого кругів, ц. т. в Гайслерових рурках можна спостерегти до дванадцятої лінії Бальмерової системи. Це й відповідає фактичному станові. Інші лінії спостережені вже не в цих рурках, а в спектрі небесних туманностей, де густина газів надзвичайно мала.

Те, що було сконстатовано експериментальним шляхом відносно водневого спектру цілком покривається з висновками теорії Бора. В своєму вже згаданому рефераті Бор заявив таке: «Отже ми можемо сказати, що водневий спектр дає образ структури водневого атома; стаціонарні стани можна розглядати, як різні стадії процесу, в якому електрон, вилучаючи енергію, ступнево захоплюється в орбіти все менших розмірів відповідно до зменшення n .»*)

Однак, ще один надзвичайно важний висновок треба зробити із концепції, яку розвинув Бор, а то власне такий, що *атом не має*

*) N. Bohr. Реферат, «Структура атомів і фізико-хімічні якості елементів». Рос. пер. в назв. книж., стор. 79.

якогось певного й постійного обсягу, бо цей обсяг змінюється в залежності від степені густоти газу. В небесних туманностях, де гази знаходяться в стані надзвичайної розрідженості, атом має луч приблизно в 1000 разів більший за луч першого кола, бо в тих міжпланетних просторах ще й на такій віддалі електрон в під впливом свого атомового ядра. Найбільше тривким є той стан, коли електрон обертається довкола ядра по першому одноквантовому колу. При цій умові луч атома ($0,55 \cdot 10^{-8}$) рівний приблизно чверті луча молекули, вчисленого згідно з кінетичною теорією газів ($2,56 \cdot 10^{-8}$).

Значно складнішою представляється справа, коли від водню переходять до аналізу спектральних ліній газів, атоми котрих мають в своєму складі більше число електронів. Уже атом гелія, що має два електрони в стані неутрального і один електрон в стані іона, виявляє більш складну систему рухів, ніж водневий атом. Коли довкола гелієвого ядра кружляє один електрон, то переходи його з одного кола на другий підлягають такому самому занові, як і водневій коливання. Серед гелієвих ліній, дійсно, спостережено було серію ліній, котра укладалась в цей закон. Константа Рідберга грає роль також і тут. Але головні гелієві лінії цьому занові не підлягають і їх повстання ще не вияснено.

В спектрах інших елементів емпірично знайдено також серії ліній, які мають свою певну константу; ця константа, спеціально в лугових і луговоземельних металах, має значіння дуже близьке до константи Рідберга, як це й передбачає теорія Бора.

Перехід електрону з дальшого на ближчий до ядра кол зв'язаний з *виділенням енергії* у формі світляної *радіації*. Зворотною стороною цього явища буде те, коли електрон переходить з ближчого кола на дальший; такий перехід, навпаки, зв'язаний з *абсорбуванням проміння*.

Перехід водневого електрону з першого кола на безконечно далеко віддалі є, в дійсності, явищем іонізації. Вона може відбутись лише тоді, коли цей електрон зовні дістане певну суму енергії, яка дозволить відірвати електрон од ядра; це голе ядро й буде тоді водневим іоном. Зовні ж водневий чи якийсь інший електрон може дістати енергію або від удару іншого електрона — це так звана *ударова іонізація*, — або коли на атом направлене рентгенове чи γ -проміння. Щоб електрон, який ударає другого, мав силу вибити цього останнього з планетарної атомової системи, він сам повинен мати відповідну живу силу. Така жива сила утворюється в електрона, коли він під впливом різниці напружень придбає нарешті відповідну швидкість. Це напруження є *напруженням іонізації*; воно, вчислене теоретично, рівне 13,2 вольт. Експериментальним шляхом знайдено, однак, иншу

величину, а саме 11 вольт. Різниця між обома цими величинами пояснюється тим, що практично електрон не вибивається з атомової системи на безконечно-велику віддаль, а відлітає тільки на порівнюючи велику дистанцію від ядра. Однак і в цьому випадкові теорія й атомова модель, предложені Бором, виявляють велику близькість до правди й дійсності.

Треба ще додати й те, що теорія Бора та його модель атома цілком пояснюють також і закон *Мозеля* про коливання високої частоти. По цій моделі навкруги ядра по тому самому круговому шляху може рухатись не один, а кілька електронів, при чому таких шляхів з більшим числом електронів може бути теж не один, а кілька. При такій системі радіація може настати, коли або всі електрони якогось кола пересунуться на другий кола, або пересунеться тільки один якийсь електрон. Знайти всі можливі комбінації таких пересувань — річ надзвичайно тяжка, і тимчасом цього завдання наука не розв'язала. Все-ж таки Бор обчислив, що лінія K_{α} виникає тоді, коли електрон переходить із другого кола на перший, а L_{α} виникає при переході електрона з третього на другий кола. Зроблені також і ще деякі обчислення (K_{α} , K_{β}).

Однак в детальних висновках із теорії Бора між ученими немає одностійності. Бор дав свою схему розміщення електронів для перших 24 елементів Менделєєвської системи. Подібну до цієї схему розміщення електронів дав *Коссель*. Її доповнив *Ладе берг*; працювали над цим і дали свої схеми також інші учені. Ні одна з них ще остаточно не здобула собі загального признання, хоч деякі вважаються за дуже правдоподібні; але очевидно, що всі вони сприятимуть виясненню тих угруповань електронів в атомі, які в дійсності мають місце.

Висвітлення питання про угруповання електронів у більш складних, ніж водень, атомів є ще в початковій фазі свого розвитку. Однак, вияснення походження серіяльних ліній водня, а зокрема *Бальмерової серії*, виведення *константи Рідберга* й закону *Мозеля* із теорії Бора, без сумніву, свідчать про її ґрунтовну правдивість, як також виявляють правдивість і плідотворність усього кола міркувань, які логічно привели до висновків, цілком потверджених експериментальними даними.

Хоч вивчення внутрішньої будови атома є річчю нелегкою і ще багато треба буде прикласти напруженої праці людського розуму для того, щоб висвітлити дійсний образ цієї невидної мікроастрономічної планетарної системи, але «при вивченні мікроастрономічного світу атомів досліджувач все таки поставлений у кращі умови, ніж астро-

ном, через те, що в його розпорядженні є по-перше експеримент, дослід, якого позбавлена астрономія, а по-друге в його розпорядженні висновки сусідніх наук, і в першу чергу висновки експериментальної описової хемії»^{*)}).

Ми живемо в часі, коли закладаються перші основи, кладуться лише перші цеглини фундаменту під тою величною науковою будовою, яка буде носити назву *математичної хемії*

Ця нова галузь науки має своїм завданням установити точне розміщення внутрішніх частин атомів; вона викриє, очевидно, неясну ще тимчасово властивість елементів, яку до цього часу називають спорідненістю (своєцтво, *affinitas*), ні крихти цією антропоморфічною назвою не вияснюючи сути самого явища; математична хемія знайде, очевидно, також і ті закони, котрі означають поведінку одного атома відносно другого; вона розкриє причини здатности атома давати певне сполучення при певних умовах; нарешті, ця нова галузь науки матиме змогу наперед указувати, який хід буде мати хемічна реакція при даних умовах та при участі в ній певних хемічних реагентів.

Хоч і не розкрито ще остаточно, яким способом розміщені складові частини атомового механізму, але все таки існують вихідні пункти для вирішення цього питання, а то власне, періодичність властивостей елементів, котра знайшла свій вираз у періодичній системі хемічних елементів.

Не підлягає сумніву, що в неутральному атомі число негативно заряджених електронів рівне цілому позитивному заряду ядра. Коли в неутральной системі атома буде бракувати одного, двох чи більше число електронів, то повстане атом з одинарним, подвійним чи більшим *позитивним* зарядом і, навпаки, в тому разі, коли електронів в системі окажется більше на один, два і т. д. ніж у системі неутрального атома, то витвориться атом з одинарним, подвійним і т. д. *негативним* зарядом

При електролізі водень і метали виявляють свою електро-позитивну натуру; це значить, що їм бракує відповідне число електронів. Металоїди, навпаки, являються електро-негативними; значить в їхній атомовій системі є на відповідне число більше електронів, ніж в електро-неутральному атомі.

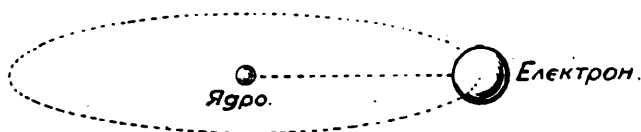
Згідно з атомовою моделлю Бора неутральний *атом водня* представляється в виді системи, показаній на мал. 31.

Навкруги ядра, зарядженого одним позитивним зарядом, кру-

^{*)} Беркенгейм. Осн. теорет. хим. Стор. 87.

житись один електрон по колу, луч якого є $0,55 \cdot 10^{-8}$; цей круг електрон обігає $6,2 \cdot 10^{15}$ разів на секунду.

Електро-неутральний атом водня



Мал 31

Коли з якоїсь причини електрон одірветься, то утвориться позитивний водневий іон, який і є нещось інше, як водневе ядро або атом позитивної електричності — протон.

Навкруги водневого ядра можуть обертатись не один, а два електрони, як показано на мал. 32.

Електро-негативний атом водня



Мал. 32.

Тоді утворюється електро-негативний атом водня, який спостережено було в катодовому промінні. Віддаль обох електронів од ядра буде більшою в 1,33 разів, а швидкість руху буде майже два рази меншою, бо ці електрони обігають довкола ядра $3,66 \cdot 10^{15}$ разів на секунду. Більше, ніж один негативний заряд, атом водня не може прийняти.

Електро-позитивний атом гелія представляє систему, в якій довкола подвійно зарядженого ядра кружиться лише один електрон (мал. 33).

Атом гелія з одним позитивним зарядом



Мал. 33.

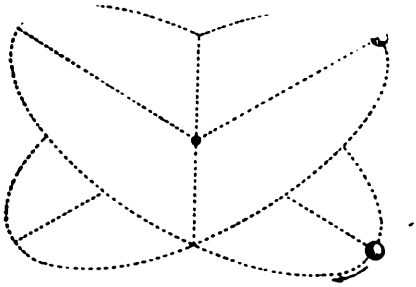
Це є таким чином іон гелія, який може втратити свій електрон і перетворитись на α -частку. Віддаль електрону від ядра гелія наполовину менша за віддаль електрона в неутральному атомі водня, а швидкість його бігу чотири рази більша за швидкість водневого електрону.

Коли в атомову систему гелія попадає ще один електрон, то утворюється неутральний атом гелія.

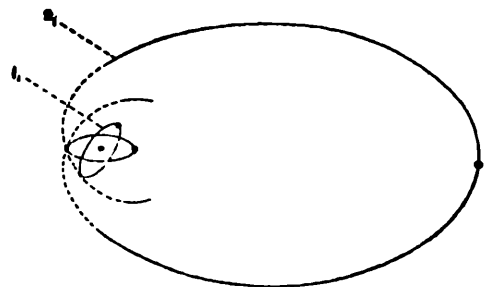
Однак, коли в сферу впливу гелієвого ядра попадає другий електрон, і довкола гелієвого ядра обертається вже не один, а два електрони, то тут можливі два випадка: або обидва електрони обертаються довкола ядра по одній спільній орбіті цеб-то їх шляхи знаходяться в одній площині подібно до того, як це є в електро-негативному атомі водня; або орбіти, по яких обертаються електрони, лежать у двох різних площинах, положених одна відносно другої під певним кутом. Вчислено, що найбільше тривкою системою неутрального атому гелія є така, де два електрони симетрично обертаються довкола ядра по двох різних кругових шляхах, що положені під кутом 120° , як це показано на мал. 34.

Електро-неутральний атом гелія.

Електро неутральний атом літія.



Мал. 34.



Мал. 35.

Ядро гелія з трьома електронами не уявляло-б тривкої системи й така система розпадалась би легше, ніж система ядра з двома електронами. Тому такої системи не може існувати, а значить не може існувати також і негативно-зарядженого іона гелія. Через це ж саме гелій не виявляє споріднености з іншими елементами і являється інертним газом.

Атом літія складається із ядра, зарядженого потрійним позитивним зарядом, та одного, двох або трьох електронів. Коли навкруги ядра обертаються один чи два електрони, то це буде іон літія з двома чи одним позитивним зарядом. В неутральному атомі літія довкола ядра кружаться три електрони. Із цих трьох електронів два електрони та атомове ядро утворюють систему, подібну до системи неутрального гелія, а третій обертається довкола готової вже центральної системи (мал. 5).

Іноді в сферу системи літієвого атома попадає ще один (четвертий) електрон; тоді утворюється вже негативно заряджений іон літія.

Неутральний атом берилія складається із ядра, зарядженого

четверним позитивним зарядом, і чотирьох електронів — двох внутрішніх і двох зовнішніх. У берилія подібно, як і в літія, в середині цілої атомової системи знаходиться також система, подібна до системи неутрального гелія (ядро й два електрони), довкола якої обертаються два зовнішніх електрони.

Атомові системи слідує по порядку елементів утворюються аналогічно до цього, при чому кількість зовнішніх електронів все зростає на один в порівнянні до попереднього елементу. Десятий по порядку елемент, неон, має вже вісім зовнішніх електронів; його атомова структура є закінченою тривкою системою, і тому подібно до гелія не може прийняти більшого числа електронів. Через це неон є також інертним газом і стоїть в одній групі з гелієм.

Розполог електронів в атомовій системі елементів показано в таблиці ХХІ. Над символом відповідного елементу поставлена цифра, котра показує його порядкове число, а разом з тим означає й загальну кількість електронів, під символом поставлені цифри, які показують, скільки електронів обертається на одно-два-три-квантових орбітах.

ТАБЛИЦЯ ХХІ.

0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	1 H 1							
2 He 2 - 0	3 Li 2 - 1	4 Be 2 - 2	5 B 2 - 3	6 C 2 - 4	7 N 2 - 5	8 O 2 - 6	9 F 2 - 7	10 Ne 2 - 8
10 Ne 2 - 8 - 0	11 Na 2 - 8 - 1	12 Mg 2 - 8 - 2	13 Al 2 - 8 - 3	14 Si 2 - 8 - 4	15 P 2 - 8 - 5	16 S 2 - 8 - 6	17 Cl 2 - 8 - 7	18 Ar 2 - 8 - 8

Із цієї таблиці видно, що на крайніх зовнішніх кругах обертается якраз таке число електронів, яке відповідає тій групі в періодичній системі елементів, до якої даний елемент належить. Ці зовнішні електрони називаються *валентними електронами*. Елементи групи інертних газів, як бачимо, можна з однаковим правом віднести до VIII і до 0 групи.

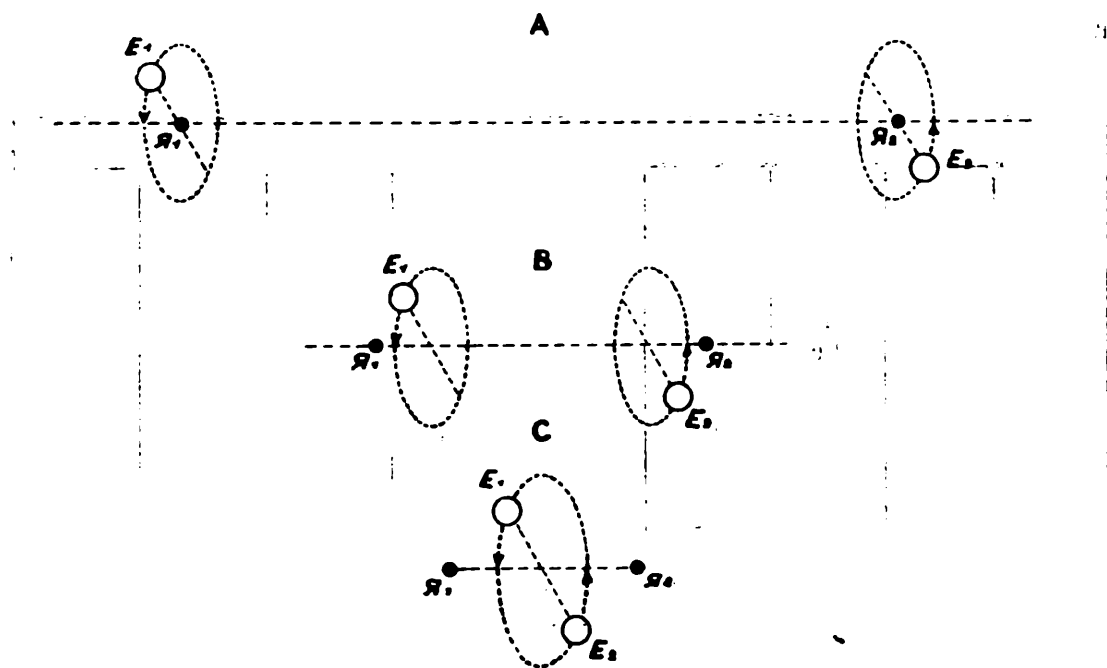
Запропонували свої схеми також Майер, Дебай, Кру, Вегер і Комптон. Однак, як уже сказано, остаточного й точного встановлення числа електронних рядів наука тим часом ще не знає, хоч дуже близько вже підійшла до викриття цієї глибокої таємниці природи.

Як відомо, переважна більшість елементарних тіл в стані газу

чи пари складається не з окремих атомів, а з молекул. Очевидно, що молекулярна система є складнішою за атомову систему, але беручи до уваги те, що за невеликими винятками всі гази складаються з молекул, треба припустити, що молекулярна система при однакових об'єктивних умовах являється більш тривкою, ніж система атому відповідного елементу.

Щоб дати уяву про те, як утворюється взагалі молекули, пригляньмося до процесу утворення *молекули водня*. Коли два нейтральних водневих атоми (мал. 32) наближаються один до одного, то ядро одного атома починає притягати до себе електрон другого атома. В міру наближення ядер це притягання збільшується настільки, що в певний момент, коли ядра обох атомів будуть ще на якійсь віддалі, орбіти обох електронів уже покриватимуться одна з другою, ц. т. фактично обидва електрони будуть обертатися по одному крузі. В цей момент повстає молекула водню. Процес повстання молекули водня схематично показано в трьох фазах (А, В і С) на мал. 36.

Процес утворення молекули водня.



Мал. 36.

Таким чином утворюється молекулярна система водня, в якій два електрони кружаться по спільній орбіті довкола лінії, що з'єднує два водневих ядра. Віддаль між цими ядрами рівна $1,22 \cdot 10^{-8}$ см., а луч круга рівний $0,52 \cdot 10^{-8}$ см.

Для порушення молекулярної системи водня треба стратити більше енергії, ніж для порушення атомової системи водня. Значить, молекулярна система є більш тривкою, ніж атомовою система, і *моле-*

кум водня мусять утворюватись із атомів, вилучаючи при тому певну кількість енергії в формі тепла. Спільна орбіта обох електронів пояснює, чому ядра двох атомів зв'язані між собою і не відштовхуються взаємно, як це повинно було б бути при інших умовах з огляду на те, що обидва ядра заряджені позитивно.

Таку схему утворення водневої молекули предложив первісно сам Бор. Але пізніше він визнав її за недосконалу з погляду вияснення тривкості такої структури водневої молекули. В кожному разі й надалі лишається в силі той принцип, що стабільність молекулярної системи водня пояснюється круговими рухами так званих «зв'язкових електронів», які кружать довкола осі, що лучить два водневих ядра.

Дослідження питання про те, як утворюються молекули хемічних елементів, а також молекули хемічно-складних тіл представляє собою завдання дальших дослідів у царині вивчення тонкої структури найдрібніших часток матерії. Але цілком імовірне є припущення, що в двох чи більшого числа однородних чи ріжнородних атомів повстає одна молекула через те, що довкола лінії, яка лучить їх атомові ядра, утворюється відповідне число орбіт, по котрих кружлять певні групи електронів.

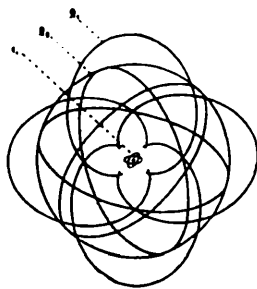
На табл. XXI, за-для більшої наглядности, типи електронних угруповань представлені цілком схематично, без детальнішого увгляднення розпологу в простороні атомових електронів і характеру їх коловоротного руху довкола центральної системи (подібної до системи неутрального гелія). Згідно з дослідями й обчисленнями Бора шляхи, по яких рухаються ці електрони, не представляють собою замкннутих кривих ліній, а являються т. зв. прецесійними еліпсами*). Такі еліпси положені не в одній якійсь площині, а в різних площинах, і при тому число їх ріжне в різних орбітах: дво-квантових орбіт — дві ($2_1, 2_2$), три-квантових — три ($3_1, 3_2, 3_3$), чотири-квантових — чотири ($4_1, 4_2, 4_3, 4_4$) і т. д. Взагалі механізм рухів атому, надзвичайно складний уже в атомів з невеликим числом довкільних атомових електронів, стає все більш складним в міру збільшення числа довкільних електронів, ц. т. при збільшенні атомового числа елементу.

Щоб читач міг уявити собі до певної міри надзвичайну окомплікованість цього механізму рухів атомової система нижче на мал. 37—39. представлено графічний образ рухів електронів в атомових системах неона, натрія і радія.

*) В атомовій системі літія (мал. 35.) такою є орбіта 2_1 .

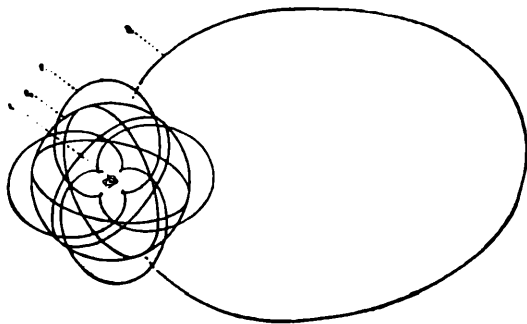
На цих малюнках видно, що в центрах дуже складного механізму електронних рухів тих трьох атомів міститься атомове ядро, навкруги якого на ближчих до нього одноквантових орбітах (1_1) обертаються два електрони. Ці два електрони разом з атомовим ядром утворюють центральну систему, цілком аналогічну до системи електро-неутрального атома гелія, яку ми вже бачили також і в

Атом неона



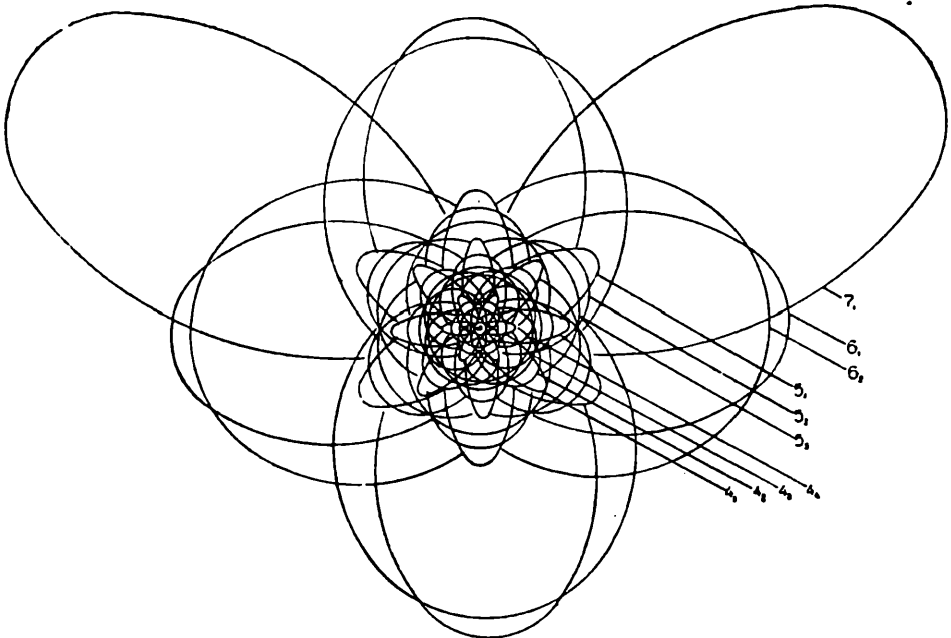
Мал. 37.

Атом натрія



Мал. 38.

Атом радія



Мал. 39.

електро-неутральному атомі літія. В атомі неона довкола тієї центральної системи обертається вісім електронів, при чому вони обер-

таються в різних площинах і на різних орбітах: 4 електрони на орбітах 2_1 і 4 на орбітах 2_2 . Всього, отже, довкола атомового ядра неона обертається 10 електронів відповідно до позитивного заряду його ядра ($+10e$). Атомова система неона міститься цілком в атомі натрія, тільки відповідно до позитивного заряду натрієвого ядра ($+11e$) всі орбіти приближені до цього ядра. Однак в атомовій системі електро-невтрального натрія появляється вже одинадцятий (валентний) електрон, який кружляє навколо атомового ядра на дальшій, триквантовій, орбіті 3_1 . Атомова система радія надзвичайно складна, бо в ній довкола атомового ядра (позитив. заряд $+88e$) обертається аж вісімдесят вісім електронів на одно-, дво-, три-, чотири-, п'яти-, шести- і семи-квантових орбітах: $1_1—2$, $2_1—4$, $2_2—4$, $3_1—6$, $3_2—6$, $3_3—6$, $4_1—8$, $4_2—8$, $4_3—8$, $4_4—8$, $5_1—6$, $5_2—6$, $5_3—6$, $6_1—4$, $6_2—4$ і $7_1—2$; всього разом 88 електронів, із котрих два останні є «валентні» електрони радія як хемічного елементу II групи.

Оттакими надзвичайно складними й рухливими системами представляються ті безмірно-малі атоми та молекули, із котрих побудована вся наша жива и мертва природа!

Для нашої мети важно тут зазначити, що для кожного даного елементу певна конфігурація електронів є цілком типовою і досить тривкою. Уже *Коссель* указував на те, що періодична система хемічних елементів звязана з утворенням особливо тривких електронних конфігурацій. Такі *особливо тривкі конфігурації* утворюються в нейтральних атомах інертних (благородних) газів. Як уже було згадано, атом такого газу не може прийняти більше число електронів, бо його внутрішня атомова система є ніби-то закінченою, особливо правильною конфігурацією, з ясно-виявленим характером тривкої системи; через це власне інертні гази не здатні вступати в реакцію з іншими хемічними елементами і мають одноатомові молекули.

«Ця цілковита хемічна недіяльність (інертних газів) пояснюється тим, що атоми всіх цих елементів мають цілком закінчену будову з дуже міцним звязком усіх електронів; в періодичній системі вони представляють, так би мовити, заокруглення, і можна сказати, що вони є ідеалами, яких досягнення прагнуть інші атоми.»*)

Тривкість електронової конфігурації в інертних газів, на думку *Косселя*, дає ключ для зрозуміння хемічних властивостей інших елементів періодичної системи як тих, що стоять перед інертними газами, так і тих, що слідують з ними. Напр., коли взяти за вихідну

*) Kramers u. Holst. Das Atom... стр. 173.

конфігурацію особливо тривку систему неона з атомовим числом 10, то рівко електро-негативний характер попереднього 9-го елементу — флюору — пояснюється тим, що неутральний атом флюора має тільки 9 довкільних елементів та виявляє тенденцію до захоплення в свою атомову систему десятого електрону. Коли це станеться, то виникає конфігурація із 10 електронів з деякими властивостями, аналогічними до властивостей нейтрального атому неона (нездатність реагувати з іншими елементами). Знов же різко електро-позитивний характер 11-го елементу — натрія — пояснюється тим, що в електроновій конфігурації натрія появляється один ніби-то «зайвий» електрон, який легко відділяється від цілої атомової системи, при чому утворюється позитивний іон натрія з внутрішньою будовою, подібно до будови неонового атома.

Аналогічно до цього можна пояснити також електро-негативний характер 8-го елементу — кисня — та електро-позитивний характер 12-го елементу — магнія; двовалентність обох цих елементів пояснюється тим, що для утворення тривкої конфігурації перший із них має тенденцію захопити ще два електрони, а другий — віддати свої два «зайві» електрони. Так само пояснюється валентність і інших хемічних елементів періодичної системи.

Кермуючись цією провідною думкою, *Бор* предложив систему хемічних елементів, яка представлена на табл. XXII.*)

В цій Боровій системі всі хемічні елементи упорядковані так, що всі вони зібрані в 7 окремих вертикальних рядах, при чому кожен такий ряд складається із елементів по порядку їх атомових чисел і кожен закінчується елементом із семейства інертних газів. У першому ряді, таким чином, міститься тільки два елементи — водень і гелій; у другому та третьому — по 8 елементів; у четвертому і п'ятому — по 18 елементів; у шостому ряді — 32 елементи і, нарешті в невакінченому сьомому ряді містяться останні відомі 6 елементів періодичної системи; сьомий ряд мав-би закінчитись невідомим елементом з атомовим числом 118. Простими лініями (горизонтальними й похиленими) показана спорідненість відповідних елементів. Окрім того, де-які елементи в четвертому, п'ятому, шостому і сьомому рядах заключені в рямці (в шостому ряді 13 елементів заключені навіть у подвійні рямці). Сене такого заключення де-яких елементів у прості чи подвійні рямці полягає в тому, щоб унагляднити процес повстання певних електронових конфігурацій.

У своїх міркуваннях *Бор* виходить із того заложення, що при-

*) Тридцять років перед тим аналогічну систему предложив *Юліус Томсен*.

ТАБЛИЦА XXII.

1H — 2He

3 Li — 11 Na — 19 K — 20 Ca — 21 Sc — 22 Ti — 23 V — 24 Cr — 25 Mn — 26 Fe — 27 Co — 28 Ni — 29 Cu — 30 Zn — 31 Ga — 32 Ge — 33 As — 34 Se — 35 Br — 36 Kr

4 Be — 12 Mg — 13 Al — 14 Si — 15 P — 16 S — 17 Cl — 18 Ar

37 Rb — 38 Sr — 39 Y — 40 Zr — 41 Nb — 42 Mo — 43 — 44 Ru — 45 Rh — 46 Pd — 47 Ag — 48 Cd — 49 In — 50 Sn — 51 Sb — 52 Te — 53 I — 54 Xe

55 Cs — 56 Ba — 57 La — 58 Ce — 59 Pr — 60 Nd — 61 — 62 Sm — 63 Eu — 64 Gd — 65 Tb — 66 Dy — 67 Ho — 68 Er — 69 Tm — 70 Yb — 71 Lu — 72 Hf — 73 Ta — 74 W — 75 — 76 Os — 77 Ir — 78 Pt — 79 Au — 80 Hg — 81 Tl — 82 Pb — 83 Bi — 84 Po — 85 — 86 At — 87 — 88 Ra — 89 Ac — 90 Th — 91 Pa — 92 U — 93 Np — 94 Pu — 95 Am — 96 Cm — 97 Bk — 98 Cf — 99 Es — 100 Fm — 101 Md — 102 No — 103 Lr — 104 Rf — 105 Db — 106 Sg — 107 Bh — 108 Hs — 109 Mt — 110 Ds — 111 Rg — 112 Cn — 113 Nh — 114 Fl — 115 Lv — 116 Ts — 117 Og

У Боровій системи елементи VIII групи Менделєєвої періодичної системи не займають виїмкового положення, а йдуть всі за чергою свого атомового числа і стоять в ряді інших хімічних елементів відповідно до внутрішньої електронової конфігурації їхніх атомових си-

стем. Далі із систематичної таблиці хемічних елементів Бора ясно видно, що напр., алюміній і скандій не споріднені між собою, хоч обидва ці елементи три-валентні, електро-позитивні і в періодичній системі хемічних елементів стоять один під другим у III групі (а). Різниця деяких фізико-хемічних властивостей цих двох елементів за Бором, пояснюється неоднаковим характером звязку трьох останніх «валентних» електронів з цілою атомовою системою тих елементів: в алюмінія всі ці три електрони обертаються на три-квантових орбітах, а в скандія — один на три-квантовій орбіті, а два на чотири-квантовій. Невідомі раніше елементи з атомовими числами 43 і 75, як видно із таблиці, споріднені з манганом, а елемент з атомовим числом 85 відноситься до групи галогенів. Невідомий тимчасом елемент число 61 відноситься до групи рідких земель. Що ж до елементу число 72, то хоч він ще зовсім недавно був невідомий, але вже давніше його вважали за члена групи рідких земель. Однак положення 72-го елементу в систематичній таблиці Бора свідчило про те, що зачислення його до елементів групи рідких земель не відповідає внутрішній його природі; навпаки само це положення вказувало на спорідненість елементу 72 з цирконом і титаном. Одже, коли принцип, на якому Бор збудував свою систему хемічних елементів, являється правильним, то він мав серйозну наукову підставу наперед визначити властивості невідомого елементу, як це свого часу зробив *Менделєєв*, спираючись на свою періодичну систему елементів. І, дійсно виявилось, що гафній, відкритий Костером і Гевеші на початку 1923 р., є елемент, який по своїх хемічних властивостях являється спорідненим з цирконом, своїм походженням, є до нього близький і з ним звязаний, а до групи рідких земель не належить. (Про елементи з атомовими числами 43 і 75 подані відомості в прим. на стр. 72—74).

Ці недавні відкриття ще в більшій мірі підтвердили раціональність і правдивість тих наукових підвалин, на яких базується модерна теорія тонкої будови матерії.

П І Д С У М К И.

В перспективі історичного розвитку наукових поглядів на будову матеріяльних тіл здобутки сучасної науки представляються впрост грандіозними. Висвітлення тонкої будови найдрібніших часток матерії — атомів і молекул — за останні кілька десятиків років посулось так помітно наперед, що з повною надією на успіх наукової праці ми можемо приглядатись її дальшому розвоєві в цьому напрямі.

Однак, трудно навіть приближно назначити ту межу, наближення до котрої означало б цілковите розв'язання складної проблеми вияснення тонкої структури матеріяльних тіл. Послідовні етапи розвитку наукової думки показують, що слідом за розв'язанням одного якогось питання, котре стоїть в системі даної проблеми, виникає ряд нових питань, розв'язання яких стає абсолютно необхідним для глибшого пізнання досліджуваного предмета.

Ідея про подільність матеріяльних тіл має дуже давнє походження; вона прибирала різних форм на протязі багатьох сотень років, аж врешті знайшла свій вираз у модерній теорії про атомово-молекулярну структуру всіх живих і мертвих предметів, серед котрих живе людина.

Але уявлення про те, що таке є атом, значно еволюціонувало від того часу, коли виникло взагалі саме це поняття. Старо-грецькі філософи уважали атоми за одвічні й незмінні; а якістю всі атоми були, на їх думку, однакові; вони відрізнялись між собою тільки формою. Згодом, однак, уявлення про природу атомів змінилось. В науці твердо запанував погляд, що не всі атоми однакові; стали уважати, що різних родів атомів існує стільки, скільки є різних хемічних елементів. Правда, Проут висунув ідею про те, що «первоматерією» є водень; значить, атоми всіх інших елементів мали б бути комплексом більшого чи меншого числа водневих атомів. Але науково обґрунтованих доказів на користь своєї гіпотези йому не вдалося навести, і через те його ідея не знайшла прихильників серед учених. На певний час у фізико-хемічній науці закрупилась гіпотеза Даль-

тона, котра зрештою набрала гідности наукової теорії. Таким чином наука прийняла ідею про «многість» родів атомів.

Недавні відкриття ізотопів, особливо ж дослідження явища радіоактивності й розкладу хемічних елементів, кинули нове світло на природу атомів. Нема сумніву, що атоми не тільки елементів з високою атомовою вагою, але й атоми легших хемічних елементів не представляють собою чогось одвічного, постійного й незмінного. Атоми одного якогось елементу можуть перетворюватись на атоми другого елементу, та навіть окремий елемент може складатись із атомів різної ваги.

Експериментально доведено, що атоми водня й гелія являються складовими частинами атомів інших елементів. Цілком імовірною є думка, що й атом гелія складається з чотирьох водневих атомів. Коли й це буде потверджено науковими дослідками, тоді стане по-за всяким сумнівом і те, що глибокою своєю інтуїцією передбачав Проут більше ніж сто років тому: водневий атом дійсно довелось би уважати за основну складову частину всіх інших атомів.

Але й сам водневий атом має непросту природу: він складається з атомів позитивної й атома негативної електричності. Отже електричність є тією первісною матерією, із котрої складаються всі елементи, а значить і цілий матеріяльний світ. Серед многости матеріяльних предметів і хемічних елементів, із котрих складаються ті предмети, знайдено єдність у повній згоді з стремлінням людського інтелекта «до упрощення (многости) шляхом підпорядкування її під один принцип.»

З погляду сучасних здобутків науки инакше представляються також і мрії алхіміків про перетворення одного виду матерії на другий. Вже тепер, як це видно із попереднього, сучасний прихильник алхімії Дюпортай (Duportail) з повним правом може писати, що «перетворення металів, яке вважалось за утопію, потвердилось тепер після відкриття радія, котрий перетворюється на торій та олово; це доказує, що не існує простих тіл та що всі вони мають подібний склад і відрізняються між собою тільки внутрі-атомовою енергією»^{*)}. Коли можна не тільки теоретично міркувати про генетичний звязок між окремими елементами, але можна уважати за доказаний факт існування такого звязку, то цим самим дана вже в принципі позитивна відповідь на питання про можливість перетворення одного елементу на другий, і то не лише в природі, а у лабораторії ученого дослідника. Таким чином добування золота із иншого елементу стало на порядок денний експериментального фізико-хемічного досліду і

^{*)} Jollivet-Castelot. *Revol. chim...* стор. 315.

зовсім не виключено, що вже в недалекому часі перед слухачами високих шкіл професори будуть показувати ці дивовижні експерименти. Щодо це не є якась фантазія, доказом цього є опубліковані результати дослідів німецьких учених *Miethe* й *Stammreich* (Miethe und Stammreich) та японського вченого *Nagaoka* (Nagaoka) над дсбуванням заліза із ртуті під вплив електричної іскри.

Але до таких успіхів наука прийшла не наслідком необгрунтованої дрібної емпірики, а в результаті глибоко-наукового теоретичного аналізу й відповідно до нього переведених експериментів. *Nagaoka* про свої досліді пише так: «Досліді над спектральними лініями золота й ртуті, які я опублікував в *Japan. Journ. of phys.* 2 і в *Nature* 29 березня 1924 р., стали для мене стимулом до того, щоб спробувати дсбитись перетворення ртуті на золото, бо на підставі згаданої спектрально-аналітичної роботи це випадало цілком можливою річчю». І, дійсно, перші два вчені в німеччині в квітні 1924 р., а останні в Японії у вересні тсго-ж року здійснили нарешті ідею середньовічних алхеминів, дсбувши штучне золото. *) Так стало реальною дійсністю те, що до недавня уважалось за фантастичну ідею безнадійних мрійників.

Ідея про подільність матерії є провідною ідеєю наукового думання, яке кермувало розумом учених і дослідників при всіх їх дослідях в царині вивчення складу й будови матеріяльних тіл. Наука виявила, що не тільки всі матеріяльні тіла складаються з безмірно-дрібних часточок — молекул і атомів, — але й самі атоми не являються якимись монолітними, суцільними часточками матерії. Кожен атом представляє собою комплікований рухливий механізм, який складається із ще дрібніших часточок: центрального атомового ядра і довірільних електронів. Що атомове ядро піддається дальшому розкладу, про це вже відомо. Але виникає питання, чи атоми «первоматерії», ц. т. атоми позитивної та негативної електричності, становлять уже останню межу подільности матерії, чи й вони в свою чергу являються складною системою, котру можна також розкласти на частини і таким чином можна досягти ще дальшого поділу. Взагалі, чи існує якась межа подільности, і де саме лежить ця межа? На це питання позитивна, оперта на досвід, наука точної відповіді дати тим часом не може. В кожному разі вона не може також твердити, що атоми електричності, із котрих складаються атоми хемічних елементів, являються останньою найдрібнішою часточкою матерії і що дальшого поділу матерії наука не може мислити. Нема неопрокинутих доказів для подібного

*) Див. *Die Naturwissenschaften*. 1925. Hefte 29 (стор. 635—7) та Hefte 31 (стор. 682—4).

твердження, отже нема підстави думати, що атом електричності — водневе позитивно заряджене ядро та негативно заряджений електрон — являються такими найдрібнішими частками, поза якими вона вже не існує.

Як буде розв'язана ця філософсько-наукова проблема, це покажуть даліші успіхи фізико-хімічної науки. Тепер же можна лише сказати, що її позитивні здобутки в області вивчення будови матеріальних тіл зводяться до того, що атом є подільний на свої складові частини, що він не має сталого обсягу і сталого складу, що він представляє собою мікроскопічну планетарну систему.

«Таким чином, — скажемо словами Шмідта, — атом хіміка, який раніше означав останню, далі вже неподільну цілість, обертається в правильну мікро-соняшну систему, а ті закони, що управляють рухом небесних тіл, незмінно діють також і в атомовому світі»*).

Яким же шляхом відбулось утворення різних елементів з більшою чи меншою степенню ускладнення їх атомових ядер: чи менше складні елементи повстали наслідком розпаду більше складних, чи навпаки складніші елементи являються продуктом конденсації простіших? Наука приходить до висновку, що еволюція матерії відбувається в напрямі від простого до складного. Про це свідчить той факт, що всі небесні тіла, окрім тих, які вже згасли, вилучають значно більше енергії, ніж дістають її зовні. Ця енергія черпається, очевидно, із внутрішніх джерел самого того тіла, а втрата її та зв'язаний з нею дефект маси являються відзнакою того, що там відбувається повільний процес злучення дрібніших часток в атоми, комплікація складу атомів, злучення атомів в молекули і нарешті в течивні та тверді агрегати.

Доказано, що охолодження небесних тіл супроводиться ступневою їх конденсацією та утворенням все складніших молекул. Так само не підлягає сумніву, що цей процес охолодження супроводиться злученням атомів позитивної та негативної електричності в атомові ядра все більш складної природи, ц. т. інакше — відбувається процес утворення все складніших атомів, починаючи від атомів водня та гелія. Спектральний аналіз проміння небесних світил (зорі й туманності) дав найкращі докази правдивості ідеї про еволюцію матерії в напрямі ступневого ускладнення її складових часточок.

Такі є висліди здобутків сучасної науки, перед котрою відкриваються ще безмежні простори для дальшого дослідження одної із таємниць природи: таємниці внутрішньої будови найдрібнішої цеглини живих істот і мертвих предметів та всього матеріального світу.

*) H. Schmidt. Probl. d. modern. Chem. Стр. 79.

З М І С Т:

Вступ	7
Розділ I. — Погляди класичних натур-філософів: Талеса, Анаксімена, Анаксімандра, Емпедокла, Геракліта, Левкія, Демокріта і Лукреція. — Арістотель. — Алхіміки. — Камінь мудрости. — Перетворення одної форми матерії на другу. — Атомісти 17-го віку: Зенерт, Гассенді, Бойль. — Атом класичних філософів і атом у модерній науці. — Флогістонна гіпотеза Сталля. — Лавуазьє. — Квантитативний аналіз. — Горіння й оксидація. — Закон вічності матерії. — Хемічно-прості й хемічно-складні тіла. — Хемічні елементи.	8
Розділ II. — Постійність хемічного складу тіл. — Закон постійних пропорцій. — Еквіваленти. — Закон кратних відношень. — Дальтон. — Атомістична гіпотеза. — Атоми й молекули. — Релятивна атомова вага. — Склад молекул і молекулярна формула. — Питоме тепло. — Правило Дюлонга й Пті. — Термічна атомова вага. — Ізоморфізм і його значіння при визначенні атомової ваги. — Гіпотеза Проута. — Водень — «первоматерія», з котрої складаються всі хемічні елементи..	25
Розділ III. — Газові закони Бойля-Маріотта і Гей-Люсака. — Закон Авогадро-Жерара. — Склад молекули водня, кисня й азоту. — Аллотропія. — Молекулярна й атомова вага газів. — Валентність. — Грам-молекула й грам-атом. — Питома вага. — Температура замерзання й температура вару розчинів. — Закон Рауля. — Кріоскопічний та ебуліоскопічний спосіб визначення молекулярної ваги. — Осмотичний тиск. — Закон Вант-Гоффа. — Аналогія між розчинами і газами. — Полімерія. — Ізомерія. — Структурні формули. — Стереοізомерія. — Кінетична теорія газів Клаузіуса. — Луч і діаметр молекули. — Число Лошмідта. — Число Авогадро. — Розмір і вага одної молекули та атома водня.	42
Розділ IV. — Класифікація хемічних елементів. — Тріяди Деберайнера. — Класифікація Дюма й Шанкуртуа. — Закон октав Ньюлендса. — Періодична система Д. Менделєєва і Л. Майєра. — Властивості елементів — функції їх атомової ваги. — Реальність існування молекул і їх руху. — Броунів рух. — Примінення газових законів до емульсій. — Досліди Перрена. — Рух суспендованих часток емульсії дає образ молекулярного руху. — Рух атомів — причина диссоціації молекул газів. — Диссоціаційний тиск при високих температурах. — Електролітична диссоціація. — Теорія Арреніуса. — Іони. — Грам-іон. — Електроліз: катіони й аніони. — Внутрішній зв'язок між явищем депресії температури замерзання й електропровідністю.	70
Розділ V. — Квантитативна сторона електролізу. — Закон Фарадея. — Атомістичність елетричності. — Електрон. — Питомий заряд. — Електричний квант. — Катодове проміння. — Маса й луч електрона. —	

Каналове проміння. — Атоми позитивної електричності без матерії не існують. — Рентгенове проміння. — Природа його. — Досліди Лауе. — Радіоактивні елементи. — Радій. — Проміння α , β і γ . — Природа цих трьох родів проміння: β -частки — електрони; α -частки — атоми гелія; γ -проміння — рентгенове проміння. — Закон Мозеля. — Значіння цього закону для систематики елементів. — Не атомова вага, а порядкове число елементу означає його властивості. 93

Розділ VI. — Суть явища радіоактивності. — Половинний період. — Ряди радіоелементів. — Генетичний їх зв'язок: α і β — одміни. — Залежність половинних періодів од довжини шляхів α -часток. — Можна бачити шляхи цих часток. — Томсонова модель атома. — Резерфордова модель атома. — Пояснення крутих заломів, видних на Вільсонових фотографіях. — Заряд атомового ядра елементу рівний порядковому його числу. — Електричність є первісною матерією. — Електрони ядерні й довкільні. — Зв'язок між α - і β -одмінами та положенням елементу в періодичній системі. — Ізотопи й ізобари. — Два погляди на те, що таке «хімічний елемент». — Кінцевий продукт розпаду радіоелементів є олово. — Спектрограми мас ізотопів. — Радіоактивні ізотопи, як індикатори. 125

Розділ VII. — Склад атомового ядра. — Досліди Резерфорда. — Вибивання водневих ядер із ядер азоту через бомбардування їх α -частками. — Це бомбардування спричиняє штучний радіоактивний процес. — Ядро гелія і водня є складовими частинами ядер інших елементів. — Елемент X_2 . — Схеми структури атомових ядер літія, вугля, азота й кисня. — Спектральний аналіз і довжина хвиль світла різних барв. — Формула Бальмера. — Константа Рідберга. — Серії спектральних ліній. — Теорія Бора. — Планкова теорія квантів і Борова модель атома. — Водневий спектр дає образ структури водневого атома. — Атом не має постійного обсягу. — Схеми структур атомів водня і гелія. — Схеми розпологу електронів у інших атомових системах. — Схема утворення молекули водня. — Структура атомів неона, натрія і радія. — Система хімічних елементів Бора. 150

Підсумки. 188

Друкарня
„ЛЕГІОГРАФІЯ“
Praha-Vršovice, Sámkova ul. 665