

Azaroko zenbakian kaleratu zen "Fisika XIX. mendean" izenburupean argitaratuko ditugun hiru artikuluetako lehena. XIX. mendean fisika- eta kimika-arloan lortutako eta asmatutako puntu garrantzitsuenak azaltzea da artikuluko-sorta honen asmoa, hau da, gaur egungo zientzia hobeto ulertzeko ikuspegi historikoa ematea. Lehen artikuluan Beroa eta energia, Elektrizitatea eta Korrente elektrikoa izan ziren hizpide. Oraingoan berriz, Teoria atomikoa eta Gasen teoria zinetikoa.

Fisika XIX. mendean (I1)

Luis Bandres Unanue*

Teoria atomikoa

Teoria atomikoa antzinako grekoen garaitik dago indarrean nola edo hala. Leuzipo eta Demokrito izan ziren lehenengo atomozaleak, baina Aristoteles teoria horren arerio izan zen eta berak garaikoengan zuen eragina kontuan hartzen badugu, ez da harriztekoa hipotesi hori Antzinatean nahiz Erdi Aroan erabat zokoratuta egon zela jakitea. Errenazimentuak eman zuen aukera ideia horiek plazaratzeko. Galileok atomoak gustuko zituen eta Newton eta Boyle-k beren arrazoinamendu fisiko eta kimikoetan kontuan hartu zituzten. Hala ere, gero berriro zokoratu egin ziren, nahiz eta pentsaera zientifikoan oihartzun gisa gelditu.

XIX. mendearen hasieran zenbait berezitasun fisiko, materiaren hiru egoerak eta konbinazio kimiko batzuen emaitza kuantitatiboak adierazteko, berriro ere teoria horretara jo zuten zientzialari batzuek.

Flogistoaren teoria alde batera eduki ondoren, materiak hiru egoera zituela argi geratu zen: solidoa, likidoa eta gasoia. Substantzia bakoitza egoera horietakoren batean agertzen da; baina baldintzek horretara bultzatzen badute, hiruetako edozein egoeratan azal daiteke. Ura, adibidez, nahiz eta gehienetan egoera likidoan azaldu, izotz edo lurrun modura ere ager daiteke.

Bestalde, erreazio kimikoen legeak ikertzen ere hasi ziren. Nagusiki gasekin egiten zen, beste egoeratan baino errazagoa baitzen. Ordurako gasek antzinako kutsu misteriotsu

eta espirituala galdua zuten eta beste edozein gorputz bezala aztertzen ziren.

Garaiko egoerak ahalbidetutako zehaztasunak kontuan hartuta egindako hainbat ikerketaren ondoren, batzuek (Lavoisier, Prout, Richter eta Berthollet zientzialari ospetsuen aurka) edozein konposatu kimiko osatzerakoan parteak beti kopuru berean sartzen direla demostratu zuen. Konbinazioaren konstante hori kimika berriaren garapenean oso garrantzitsua izan zen. Horrela, ura, edozein iturri edo jatorritatik datorrela ere, beti hidrogenoz eta oxigenoz osatuta dagoela eta osagai horien pisua 1/8 proportzioan dagoela gauza jakina da. Hortik konbinazio-pisua ideia agertu zen; unitatetzat hidrogenoaren pisua hartzen badugu, oxigenoaren konbinazio-pisua zortzikoa izango da.

Garai hartan John Dalton (1766-1844) hasi zen lanean. Eskola-maisua zen eta bere denbora librean matematika, kimika eta fisikan murgiltzen zen. Lanpostua Manchester-en lortu ondoren gasekin ikerketak egiten hasi eta gasen berezitasunak adierazteko egokiena atomoen teoria zela ikusi zuen. Gero ideia horiek berak kimikan erabili zituen eta konbinazioak elementuen pisu konkretua duten zatiki batzuen batuketan bitartez adieraz zitekeela erakutsi zuen. Bere *New Systems of Chemical Philosophy* lanean, 1808an argitaratuan, honako hau esan zuen:

"Sintesi kimikoei buruzko nire ikerketa guztietan ondoko arau orokor hauek dira gida:

- Bi gorputzen bitartez konbinazio bat baino ez dugunean eta kontrako arrazoirik ez badago, konbinazio bitarra dela pentsatu behar dugu.
- Bi konbinazio agertzen direnean bitar eta hirutarrak direla pentsatu behar dugu.
- Hiru konbinazio lortzen direnean, bata bitarra eta beste biak hirutarrak direla pentsa dezakegu.

Orain artean ondo frogatutako fenomeno kimikoei arau horiek aplikatzen badizkiegu ondorio hauetara iritsiko gara:

- 1.- Ura hidrogeno eta oxigenoaren konposatu binarioa dela eta bi atomo elementalen pisu erlatiboak, gutxi gorabehera, 1/7 erlazioan agertzen direla.
- 2.- Amoniakoa hidrogenoa eta nitrogenoaren konposatu binarioa dela eta, bi atomoen pisu erlatiboak gutxi gorabehera 1/5 erlazioan dagoela.
- 3.- Gas nitrosoa nitrogenoaren eta oxigenoaren konposatu bitarra dela eta bere atomoek bost eta zazpi pisatzen dutela.
- 4.- Oxido karbonikoa karbono-atomo batez eta bi oxigeno-atomoz osatutako konposatu binarioa dela eta hamabi pisatzen duela; azido karbonikoa konposatu ternarioa (batzuetan binarioa) dela karbono-atomo batez eta bi oxigeno-atomoz osaturik, eta hemeretzi pisatzen du, etab. Kasu hauetan guztietan pisua hidrogenoarekiko ematen dugu, horren atomoei pisu-unitatea egokitzen diogularik..."

Txosten honetan Dalton-ek errore batzuk egin zituen: emandako konbinazio-pisuak batzuetan ez dira egokiak, hidrogenoarekiko oxigenoari zortzi eman beharrean zazpi ematen duenean, esaterako. Konposatu batean bi elementu baino gehiago ez aritzean, atomoz atomo konbinazioa bitarra dela suposatzea beste oker bat da eta uraren eta amoniakoaren egiturak ematean oker egin zuen. Hala eta guztiz ere, Daltonek zientziaren historian urrats ikaragarria eman zuen, hipotesi lausoa baino ez zena teoria zientifiko bihurtuz.

Atomo elementalak adierazteko, puntuak, izartxoak eta gurutzeak erabili zituen Daltonek. Berzelius (1779-1848) kimikari suediarrek findu egin zuen metodo hori eta gaur egun erabiltzen dena asmatu, hau da, elementu bat adierazteko letra bat erabiliz bere pisu atomikoari dagokion pisu erlatiboa ere adierazi zuen. Honela, "H"-k ez du hidrogenoa bere osoan adierazten, hidrogenoaren masa-unitate bat —gramo bat, kilogramo bat, edo nahi dena— baizik eta "O"-k esandako sistema horretan oxigenoaren atomoaren masaren hamaseirena adierazten du.

Berzelius-en ekarpenik handiena ahalik eta zehatzen pisu atomikoak edo, hobeto esanda, konbinazio-pisu baliokide-



Isaac Newton. Fisikari, matematikari eta astronomo ingelesa (1642-1727). Zientzia itzulipurdikatu zuten aurkikuntzak egin zituen.



Robert Boyle. Fisikari eta kimikari irlandarra (1627-1691). Gasen konprimagarritasunaren legea eman, elementu kimikoen kontzeptu modernoak ezarri eta oxigenoak errektuntzan duen funtzioa aurkitu zituen.



Antoine Laurent de Lavoisier. Kimikari frantsesa (1743-1794). Kimika modernoaren sortzaileetako bat izan zen. Nomenklatura kimikoa asmatu zuen.

John Dalton. Fisikari eta kimikari britainiarra (1766-1844). Teoria atomikoaren sortzailea da.



Jons Jacob Berzelius. Kimikari suediarra (1779-1848). Kimika analitiko berriaren asmatzailea izan zen eta kimika ez-organikoaren alorrean elementu asko aurkitu zituen. Gaur egun ezagutzen dugun nomenklatura kimikoa asmatu zuen.



Humphry Davy. Kimikari eta fisikari britainiarra (1778-1829). Oxido nitrosoaren konposizioa aurkitu zuen. Sodio, potasio, kaltzio, estrontzio eta barria isolatzea lortu zuen elektrolisi bidez.



Louis Joseph Gay-Lussac. Fisikari eta kimikari frantsesa (1778-1850). Kimikaren ia eremu guztiez arduratu zen, baina gasei buruz egin zituen lanak dira garrantzitsuenak.

ZIENTZIAREN HISTORIA



Joseph Louis Proust.
Kimikari frantsesa (1754-1826).
Bergarako Erret Mintegiko irakasle izan zen. Proporzio finkoen legea eman zuen 1808an.

Teoria atomikoa

Dmitri Ivanovitx Mendeleiev.
Kimikari errusiarra (1834-1907).
Elementu kimikoen taula periodikoa argitaratu zuen (1869) eta honek hutsik utzi zituen tartekak elementu berriak aurkitu ahala betetzen joan dira.



ak, aurkitzea izan zen. Elementu berri batzuk aurkitu zituen, konposatu asko ikertu eta mineralogiaren esparruan urrats handiak egin zituen. Davy-rekin batera elektrokimikaren oinarriko legeak ikertu zituen; kimikaren eta elektrizitatearen arteko erlazioa nabarmetzen hasi zen. Bere garairako aurreraegi jo zuen: atomo guztiek elektrizitate-mota bat edo beste badutela pentsatzen zuen eta indar elektriko horiek konbinazioak emateko beharrezko izango lirakeela, hots, konposatu bakoitzean kontrako karga elektrikoko bi parteren batura ikusten zuen, bai eta bi konposatuen artean konbinazio bat ematen zenean karga elektrikoaren arteko eragina ere. Teoria dualista hau ez zen oso egokia eta laster utzi behar izan zuten lekua teoria egokiagoi. Dena dela, fenomeno kimiko eta elektrikoak oso erlazionatuta daudela badakigu, nahiz eta ez Berzelius-ek pentsatzen zuen bezain sinpleki erlazionatuta.

Gasen konbinazioan emandako fenomenoak sakonago ikertu zirenean ideia atomikoen eskasia nabarmendu zen. Gasak konbinatzerakoan beren bolumenek erlazio sinpletan egiten dutela egiaztatu zuen Gay-Lussac-ek (1778-1850). Avogadro (1776-1856), Dalton-en teoriaren arabera, Gay-Lussac-en emaitzak gas guztien bolumen berdinek atomoen kopuruek erlazio sinpleak gorde behar dituztela ondorioztatzen dutela esan zuen. Horregatik guztiatik, hau da, gasen konbinazioen emaitzengatik eta fisikaren alorreko hainbeste saiakuntzatatik, atomo kimikoa eta molekula fisikoa bereiztea beharrezkoa zela ondorioztatu zen: lehenengoa konbinazioetan materia baten parte txikiena litzatekeen bitartean, bigarrena egoera librean egon daitekeen parte txikiena izango litzateke. Avogadro-ren hipotesia adierazteko bide errazena, gasen bolumen berdinetan molekula-kopuru berdinarik badaudela onartzea da eta horrela suposatzen zen.

Uraren kasura itzuliz, hidrogenoaren bi bolumen, eta beraz bi molekula, oxigenoaren bolumen —edo molekula— batekin konbinatuz lurrinaren bi bolumen —edo molekula— lortzen direla ikusi zen. Hori adierazteko modurik errazena hidrogeno nahiz oxigenoaren molekula bakoitzak bi atomo kimiko dauzkala eta ur-lurrinaren molekula H_2O dela suposatzea da, hau da, $2H_2 + O = 2H_2O$ dela. Beraz, oxigenoaren konbinazio-pisua zortzikoa denez eta oxigeno-atomo bakoitza hidrogeno-atomo birekin lotzen denez, hidrogenoaren pisu atomikoa unitatetzat hartuz, oxigenoaren pisu atomikoa hamaseikoa da. Hori dela eta, elementuen benetako pisu atomikoak lortzeko Dalton-en konbinazio-pisuak egokitu egin behar ziren. Hori Cannizzaro-k egin zuen lehen aldiz era guztiz sistematikoan. Horrela, oxigeno-atomo batek hidrogeno-atomo birekin erreazionatzen zuenez gero, hark nolabait bi hidrogenok adina "balio" zuela ikusi zen eta baliokidetasun horri "balentzia" esan zitzaion; beraz, eta hidrogenoa unitate bezala hartuz, hots, bere balentzia bat dela onartuz, oxigenoak bi balentzia zituela esan zen. Balentziaren kontzeptu berri horrek gerora uzta oparora eman zuen.

Daltonek hogeita elementu egiaztatu zituen; ondoren aurkikuntzek etengabe jarraitu zuten. Saiakuntza kimikoetan ikerketa-bide berriak erabiltzean askotan aurkitzen ziren elementu berriak. Korrante galvanikoa zela eta, Davy-k (1778-1829) sodio eta potasio metal alkalinoak lortu zituen 1807an. Gero, analisi espektralaren bidez, rubidio, zesio, talio eta galioa aurkitu ziren. Erradioaktibitateak beste elementu batzuen berri eman digu, radioa eta bere familia, esaterako, baina hauetako gehienak XX. mendeko emaitzak dira.

1815ean Prout eta gero beste ikertzaile batzuk elementuen pisu atomikoaren eta elementuen ezaugarri fisikoaren arteko erlazioaren bila aritu ziren, baina 1869 arte itxaron behar izan zen hori lortzeko. Urte horretan Julius Lothar Meyer eta Mendeleiev-ek elementuak pisu atomikoaren arabera ordenatu zituzten; hori eginda, elementuek periodikotasuna bazutela ikusi eta zortzinakako multzotan nolabaiteko kide-tasuna bazutela adierazi zuten; horrela, taula bat osa zitekeen antzeko ezaugarriak dituzten elementuak zutabeka kokatu. Taula horrek dudazko pisu atomikoak ziurtzat emateko bidea zabaltzen zuen eta Mendeleiev-ek taularen hutsuneak bete egin zituen ezagutzen ez ziren elementu batzuk iragarri; hauetako batzuk gero benetan aurkitu ziren.

Mendeleiev-ek bere taula erabat enpirikoa zela kontsideratu zuen. Baina, erlazio horiek ikusita, materiaren oinarri komunaren antzinako ideia berpiztu zen zenbaitengan. Batzuek oinarri hori hidrogenoa izan zitekeela pentsatu zuten eta orduan bere pisu atomikoa patroitzat hartuz gainerako elementu guztiek zenbaki osoak beharko litzatekeela esan zuten; baina, nahiz eta kasu askotan hau gutxi gorabehera betetzen den, beste zenbaitetan ez da inondik ere ematen. Mende erdi bat itxaron beharko da materiaren oinarri komun hura aurkitzeko eta pisu atomiko guztiak zenbaki osoz eman ahal izateko, baina lorpen horiek XIX. mendeko bitartekoekin ez ziren eskuragarriak.



Gasen teoria zinetikoa

1845ean Waterston-ek Royal Society-ra txosten bat bidali zuen gasen teoria zinetikoaren berri eman eta teoria bera garatuz; zoritxarrez, txosten hura urtetan gelditu zen aztertu gabe. Dena den, beroaren eta energiaren arteko kidetasuna ikusi ondoren, hipotesi horrek berebiziko arrakasta lortu zuen eta Joule-k heldu egin zion. Bi ikertzaile hauek, bakoitzak bere aldetik, molekulen higiduraren batez besteko abiadura kalkulatu zuten. 1857an Clausius-ek materiaren lehenengo teoria zinetiko osoa argitaratu zuen.

Gas batean molekulak norabide guztietan higitzen direla eta beraien arteko talkak guztiz elastikoak zirela hartu zen hipotesi gisa. Molekula guztien translazio-energia osoak gasaren bero-eduki osoaren neurria ematen du eta molekula bakoitzaren batez besteko energiak tenperaturaren neurria. Horretan oinarriturik **p** presioa matematikoki kalkulatu daiteke $\frac{1}{3} nmv^2$ dela demostratuz, non **n** bolumen-unitateko molekula-kopurua den, **m** horietako bakoitzaren masa eta **v** abiaduraren karratuaren batez besteko balioa. Hori horrela izanik, **nm** bolumen-unitateko gasen masa osoa da, hau da, bere dentsitatea, beraz, gas baten tenperatura eta, ondorioz, v^2 konstanteak badira presioa bere dentsitatearekiko zuzenki proportzionala da eta bere bolumenarekin alderantziz proportzionala (Charles-en legea). Bi gas presio eta tenperatura beretan edukitzen baditugu, ekuazioa dela eta, biek bolumen-unitateen molekula-kopuru berdina izango dute (Avogadro ondorio horretara heldu zen bide kimikoa erabiliz).

Beraz, Bernoulli, Joule eta Clausius-ek egindako teoria zinetikoa gasen ezaugarri xehekin bat zetorren. Bestalde, teoria horren bitartez abiadurak kalkulatu daitezke, Waterston eta Joule-k frogatu zuten bezala. 1865ean Loschmidt-ek, teoria zinetikoan oinarriturik, bolumen-unitatean ohizko presio atmosferikoan eta zero gradu Celsiusetan gas baten molekula-kopurua kalkulatu ahal izan zuen.

Maxwell eta Boltzmann-ek abiaduren banaketari probabilitateen teoriarik oinarritutako Gauss-en errakuntza-legea egokitu zioten; horren arabera, molekulen abiaduran normalena izan zitekeen joera ikertu zuten eta termodinamikan entropia izenez ezagutzen zen ezaugarriaren maximoarekin bat zetorrela ondorioztatu zuten. Entropiaren maximoa iristeko prozesua eta abiadura errakuntza-legearen arabera aritzeak Naturan denbora aurrera joan ahala, berez gertatzen dira; horrek gaur egun izugarritzko garrantzia du zientifikoki nahiz filosofikoki.

Gas perfektuen legea ($pV = RT$) ezaguna zen mende honetan baina gas errealekin hastean desbideraketa batzuk ikusten ziren. Desbideraketa horiek zuzendu nahian, Van der Waals-ek teoria zinetikoa erabili zuen eta 1873an gaur egun bere izena daraman legea lortu zuen: $(p + a/v^2)(v - b) = RT$, non **a** eta **b** gas bakoitzarentzat konstanteak, **R** konstante unibertsala, **p** presioa eta **v** abiadura diren; lege horrek aipatutako desbideraketa horietako batzuk zuzendu zituen.

* EHUko irakaslea



James Prescott Joule. Fisikari britainiarra (1818-1889). Gasen teoria zinetikoa erabiliz, molekula gaseosoen batez besteko abiadura kalkulatu zuen.

Gasen teoria zinetikoa



Ludwig Boltzmann. Fisikari austriarra (1844-1906). Gasen teoria zinetikoa eman zuen eta lege estatistikoak aplikatu zituen.

Rudolf Clausius. Fisikari alemaniarra (1822-1954). Termodinamikan entropia nozioa erabiltzen lehena izan zen (1850) eta gasen teoria zinetikoa garatu zuen.



James Clerk Maxwell. Fisikari eskoziarra (1831-1879). Molekula gaseosoen abiaduren banaketari buruzko lanen bidez, termodinamika landu zuen.

Johannes Diderik Van der Waals. Fisikari nederlandarra (1837-1923). Likido eta gasen egoera-ekuazioez lan egin zuen eta bere izena duen gasen egoera-ekuazioa egin zuen.

