

CIÈNCIA

ANY II REVISTA CATALANA ABRIL
DE
NUM. 13 CIÈNCIA I TECNOLOGIA DE 1927

LA NOCIÓ D'ISOTOPIA

EN el que va de segle XX, els nombrosos fenòmens descoberts i les teories proposades per a llur explicació, han fet canviar pregonament les nocions fonamentals de la Química. Per això la revista CIÈNCIA, que es proposa tenir al corrent els seus llegidors dels avenços que es vagin realitzant, adés en el camp de la ciència pura, adés en el de la ciència aplicada, no podia romandre més temps en silenci en tractar-se dels nous horitzonts oberts a les especulacions químiques.

Ningú no dubtarà que un dels conceptes nous més interessants avui dia per a la Química, és el de la *isotopia*. Certament que no serà pas possible en articles de revista entrar en molts detalls respecte els successius treballs realitzats fins a concretar i fonamentar la noció d'isotopia: això solament pot escaure bé en un llibre escrit *ex professo* per a aquest objecte. Ací, doncs, únicament donarem una mirada de conjunt sobre la matèria esmentada, fixant-nos d'una manera especial en l'aclariment dels conceptes i en la presentació dels fets que semblin ja definitius.

En aquest article tenim la pretensió de fer caure en el compte de la importància immensa que per a la Química teòrica assoleix la isotopia, i amb aquesta finalitat exposarem successivament els punts següents: a) *Estructura de l'àtom*; b) *descobrimet de la isotopia*; c) *la isotopia i la unitat de la matèria*.

a) ESTRUCTURA DE L'ATOM

Actualment es creu que l'àtom consta de dues parts principals, que són el nucli central i l'embolcall o corona. El nucli està format solament de

protons o també d'electrons i de protons; és molt petit respecte del volum total de l'àtom i en ell es troba pràcticament concentrada tota la massa d'aquest. L'embolcall està constituït solament d'electrons disposats a l'entorn del nucli, en capes més o menys estables, que formen els anomenats pisos i subpisos.

Puix que hem esmentat els protons i els electrons, bo serà que donem ací la noció d'aquests constituents de l'àtom.

S'anomenen *protons* les partícules més petites d'electricitat lliure que es coneixen i coincideixen amb la càrrega elèctrica del nucli de l'àtom d'hidrogen, per la qual cosa reben també les denominacions de *nuclis d'hidrogen* i de *partícules H*. Llur massa és aproximadament igual a la massa de l'àtom d'hidrogen, que en valor absoluta equival a 1.6×10^{-24} grs. Llur càrrega arriba a $+4.77 \times 10^{-10}$ E. S.

S'anomenen *electrons* les partícules més petites conegudes d'electricitat negativa que pot trobar-se isolada. Són les mateixes partícules elèctriques que formen els coneguts raigs catòdics dels tubs CROOKES i les partícules *beta* del radi i demés elements radiactius. Llur massa és unes 1850 vegades més petita que no pas la massa de l'àtom d'hidrogen, o sigui, en valor absoluta, 9×10^{-28} grs. Llur càrrega elèctrica val -4.77×10^{-10} E.S.

El nombre de protons dels àtoms varia segons llur natura. L'hidrogen, element el més lleuger, posseeix un sol protó, i l'urani, que és el més pesat de tots els elements coneguts, en té més de 200.

Els electrons existents en el nucli arriben freqüentment a la meitat dels electrons totals de l'àtom; puix una gran part dels electrons es troben formant l'embolcall o corona, en nombre igual a la diferència entre els protons i els electrons del nucli; de sort que si en alguns cas en el nucli faltessin els electrons, llavors el nombre d'electrons de l'embolcall seria igual al nombre de protons del nucli. Amb això el sistema de nucli i electrons de la corona resulta sempre elèctricament neutre. Però si es considera únicament el nucli la seva càrrega elèctrica és sempre positiva, per tal com s'hi troba un nombre més gran de protons que no pas d'electrons; la càrrega positiva del nucli, neutralitzada solament en part pels electrons, s'anomena *càrrega elèctrica resultant*.

Si hem de creure a Mme. CURIE, ella fou la primera que en 1911 admeté la presència d'aquestes dues classes d'electrons en els àtoms, els electrons nucleals i els electrons perifèrics, basant-se en el caràcter atòmic dels fenòmens radiactius.

Molt important és el paper que exerceix cadascuna de les parts constitutives de l'àtom, pel què fa a les propietats que d'ell es deriven. Els electrons perifèrics o de l'embolcall comuniquen directament als àtoms llurs

proprietats químiques peculiars, com són, per exemple, el volum atòmic, el coeficient de dilatació, la compressibilitat, l'elasticitat, la tensió de vapor, les temperatures de fusió i d'ebullició, la solubilitat molecular, l'índex de refracció, la força electromotriu de contacte i la susceptibilitat magnètica. Del nucli provenen les propietats radiactives i gairebé exclusivament la massa tota de l'àtom, puix la dels electrons és insignificant comparada amb la dels protons: d'ací que especialment del nucli provinguin les propietats en què intervé la massa, com són el pes atòmic, la densitat, la velocitat de difusió, l'espectre i la dispersió dels ions positius en el tub de CROOKES sota l'influx d'un camp elèctric i magnètic.

La diferència fonamental entre les dues categories d'electrons consisteix en què l'àtom que els conté pot perdre un o varis electrons perifèrics sense canviar de natura; mentre que l'emissió d'electrons nucleals o essencials comporta sempre la transformació de l'edifici atòmic, segons es palesa en l'emissió dels raigs *beta* dels cossos radiactius.

Poc és el què es coneix sobre l'estructura del nucli. Segons els treballs deguts principalment a l'anglès RUTHERFORD, es sospita que els protons i els electrons del nucli es troben col·locats d'una manera fixa i constant per a cada element; demés, es creu també que els electrons del nucli, per efecte de les forces elèctriques allí regnants, no són enterament esfèrics, sinó un xic aplanats. Els principals grups que fins el present s'han pogut descobrir en el nucli són dos: les esmentades *partícules alfa* o nuclis d'heli, que emeten els cossos radiactius i consten de quatre protons i dos electrons, i les *partícules "3"*, anomenades així per ésser tres llur pes atòmic. (Fig. 1.)

Millor és el coneixement que es té de l'embolcall. Els electrons que el formen es reparteixen en capes o nivells constituint les dites *configuracions estables*, que són les agrupacions electròniques dotades de gran fixesa, el nombre d'electrons de les quals varia segons el període a què pertany l'àtom dintre de la sèrie periòdica dels elements; així, el nombre d'electrons de les configuracions estables del primer període és de dos; en el segon període és de vuit, etc. Els elements que tenen el nombre exacte d'electrons perifèrics per formar configuracions estables frueixen d'una inèrcia de combinació amb altres elements impossible de superar amb els mitjans ordinaris de què fins ara disposa la ciència: són els elements anomenats nullivalents o gasos inerts: l'heli, neon, argon, cripton, xenon i niton. La raó d'aquesta inèrcia és que en llur embolcall no tenen cap electron sobrant, ni cap buit per omplir en llur capa més externa. En canvi, la majoria dels elements ofereixen en llur embolcall un nombre d'electrons major que els necessaris per formar configuracions estables. Aquests electrons poden en-

trar fàcilment a formar part dels embolcalls d'altres electrons d'igual o diferent naturalesa: ells són els que principalment, com s'ha indicat abans, comuniquen a l'àtom les seves propietats químiques i d'una manera especial la valència.

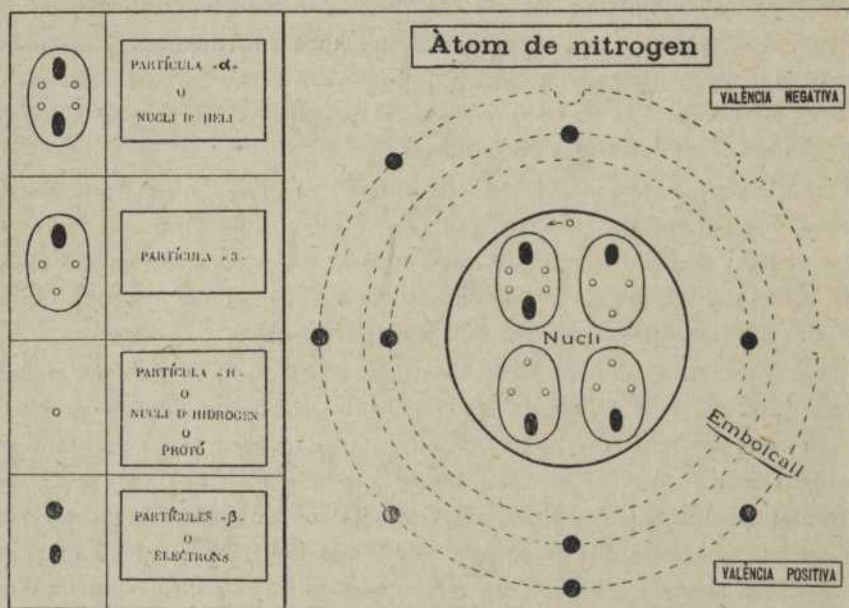


Fig. 1

Representació gràfica de l'àtom de nitrogen segons la teoria electrònica

Mme. CURIE proposa una nomenclatura i un simbolisme especials per designar els elements constitutius de l'àtom, segons la teoria electrònica de la matèria. Els nuclis d'heli proposa que s'anomenin *helions*; els electrons del nucli, *nuclions*, i els electrons perifèrics senzillament *electrons*; i, ja que s'ha comprovat també l'existència en el nucli de les partícules "3" amb càrrega elèctrica 2, d'ací que a aquestes partícules les vulgui designar amb el nom d'*isohelions*. Els símbols per expressar aquests elements de l'àtom es redueixen als següents: per a l'*helion*, α ; per al *nuclion*, β ; per a l'*electron perifèric*, e ; per al *proton* π ; per al *isohelion* α_i .

Prèvies aquestse anotacions, indispensables per a la perfecta comprensió del què va a seguir, temps és ja de què passem a formular el concepte d'isotopia.

Donada la constitució electrònica de la matèria que acabem d'exposar, es concep, teòricament, la possibilitat de què existeixin àtoms d'igual nombre d'electrons a l'embolcall, però amb diferent nucli: aquests àtoms, pel

fet de tenir igual embolcall, fruïran de les mateixes propietats químiques; en canvi els pesos atòmics seran diferents, per tenir nuclis diferents. A aquests elements s'els anomena *isòtops*. (Fig. 2.)

Es concep també la possibilitat d'altres elements, els nuclis dels quals constin d'igual nombre de protons, però amb embolcall de diferent nombre d'electrons: per seqüència de la primera condició, dits elements tindran

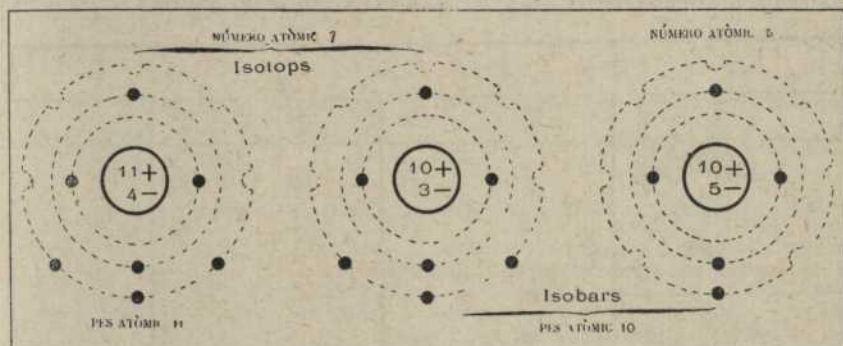


Fig 2
Representació gràfica dels isòtops i isòbars

el pes atòmic idèntic; i per seqüència de la segona, diferiran en llurs propietats químiques. Aquests elements s'anomenen *isòbars*.

El descobriment dels isòtops i dels isòbars ha donat la clau per arribar a una més perfecta classificació periòdica dels elements; puix la isotopia resol el problema de l'excés d'elements amb relació al de llocs disponibles en la dita sèrie. El fonament de la nova classificació, després d'aquestes troballes, no és ja el pes atòmic, com en la llista de MEYER i MENDELÉEFF per tal com el que determina la posició de l'element dins la sèrie, és l'anomenat *número atòmic*, o sigui, el nombre d'electrons constitutius de l'embolcall. Molts són els autors que han contribuït a aquesta nova classificació periòdica dels elements, essent els principals RYDBERG i MOSELEY.

Però aquesta classificació ha assolit un alt grau de perfecció amb la disposició ideada pel P. Eugenio SAZ, S. J., professor de Química mineral a l'Institut Químic de Sarrià, en la qual els diferents períodes es divideixen en sèries i en semisèries. Amb la disposició del P. SAZ, els períodes contenen un nombre d'elements que segueix rigorosament la llei de RYDBERG, segons la qual el nombre d'elements dels diferents períodes creix amb els quadrats dels números naturals multiplicats per quatre, o sigui:

$$1^2 \times 4 = 4 \text{ elements}$$

$$2^2 \times 4 = 16 \quad \text{"}$$

$$3^2 \times 4 = 36 \text{ elements}$$

$$4^2 \times 4 = 64 \quad \text{"}$$

Aquesta llei no la segueix la classificació internacional. D'on resulta que amb la modificació del P. SAZ el primer període contindrà quatre elements, en lloc de dos: amb la qual cosa romanen dos llocs buits, que és possible que siguin els elements extraterrestres sospitats de fa temps i que s'nomenen *coronium* i *nebulim*. Per tant, els números atòmics de tots els elements, llevat de l'hidrogen, queden correguts en la taula del P. SAZ dues unitats, respecte de la taula internacional (Fig. 3); i així, l'urani que en aquesta taula ostenta

$\overset{1}{\text{H}}$ $\overset{2}{\text{He}}$	$\overset{3}{\text{Li}}$ $\overset{4}{\text{Be}}$	$\overset{5}{\text{B}}$ $\overset{6}{\text{C}}$ $\overset{7}{\text{N}}$ $\overset{8}{\text{O}}$	$\overset{9}{\text{F}}$ $\overset{10}{\text{Ne}}$	$\overset{11}{\text{Na}}$ $\overset{12}{\text{Mg}}$	$\overset{13}{\text{Al}}$ $\overset{14}{\text{Si}}$ $\overset{15}{\text{P}}$ $\overset{16}{\text{S}}$	$\overset{17}{\text{Cl}}$ $\overset{18}{\text{Ar}}$	$\overset{19}{\text{K}}$ $\overset{20}{\text{Ca}}$	$\overset{21}{\text{Sc}}$ $\overset{22}{\text{Ti}}$ $\overset{23}{\text{V}}$ $\overset{24}{\text{Cr}}$ $\overset{25}{\text{Mn}}$ $\overset{26}{\text{Fe}}$ $\overset{27}{\text{Co}}$ $\overset{28}{\text{Ni}}$ $\overset{29}{\text{Cu}}$ $\overset{30}{\text{Zn}}$ $\overset{31}{\text{Ga}}$ $\overset{32}{\text{Ge}}$	$\overset{33}{\text{As}}$ $\overset{34}{\text{Se}}$ $\overset{35}{\text{Br}}$ $\overset{36}{\text{Kr}}$	$\overset{37}{\text{Rb}}$ $\overset{38}{\text{Sr}}$	$\overset{39}{\text{Y}}$ $\overset{40}{\text{Zr}}$ $\overset{41}{\text{Nb}}$ $\overset{42}{\text{Mo}}$ $\overset{43}{\text{Tc}}$ $\overset{44}{\text{Ru}}$ $\overset{45}{\text{Rh}}$ $\overset{46}{\text{Pd}}$ $\overset{47}{\text{Ag}}$ $\overset{48}{\text{Cd}}$ $\overset{49}{\text{In}}$ $\overset{50}{\text{Sn}}$	$\overset{51}{\text{Sb}}$ $\overset{52}{\text{Te}}$ $\overset{53}{\text{I}}$ $\overset{54}{\text{Xe}}$	$\overset{55}{\text{Cs}}$ $\overset{56}{\text{Ba}}$	$\overset{57}{\text{La}}$ $\overset{58}{\text{Ce}}$ $\overset{59}{\text{Pr}}$ $\overset{60}{\text{Nd}}$ $\overset{61}{\text{Pm}}$ $\overset{62}{\text{Sm}}$ $\overset{63}{\text{Eu}}$ $\overset{64}{\text{Gd}}$ $\overset{65}{\text{Tb}}$ $\overset{66}{\text{Dy}}$ $\overset{67}{\text{Ho}}$ $\overset{68}{\text{Er}}$ $\overset{69}{\text{Tm}}$ $\overset{70}{\text{Yb}}$ $\overset{71}{\text{Lu}}$	$\overset{72}{\text{Hf}}$ $\overset{73}{\text{Ta}}$ $\overset{74}{\text{W}}$ $\overset{75}{\text{Re}}$ $\overset{76}{\text{Os}}$ $\overset{77}{\text{Ir}}$ $\overset{78}{\text{Pt}}$ $\overset{79}{\text{Au}}$ $\overset{80}{\text{Hg}}$	$\overset{81}{\text{Tl}}$ $\overset{82}{\text{Pb}}$ $\overset{83}{\text{Bi}}$ $\overset{84}{\text{Po}}$ $\overset{85}{\text{At}}$ $\overset{86}{\text{Rn}}$	$\overset{87}{\text{Fr}}$ $\overset{88}{\text{Ra}}$	$\overset{89}{\text{Ac}}$ $\overset{90}{\text{Th}}$ $\overset{91}{\text{Pa}}$ $\overset{92}{\text{U}}$ $\overset{93}{\text{Np}}$ $\overset{94}{\text{Pu}}$ $\overset{95}{\text{Am}}$ $\overset{96}{\text{Cm}}$ $\overset{97}{\text{Bk}}$ $\overset{98}{\text{Cf}}$ $\overset{99}{\text{Es}}$ $\overset{100}{\text{Fm}}$	$\overset{101}{\text{La}}$ $\overset{102}{\text{Ce}}$ $\overset{103}{\text{Pr}}$ $\overset{104}{\text{Nd}}$ $\overset{105}{\text{Pm}}$ $\overset{106}{\text{Sm}}$ $\overset{107}{\text{Eu}}$ $\overset{108}{\text{Gd}}$ $\overset{109}{\text{Tb}}$ $\overset{110}{\text{Dy}}$ $\overset{111}{\text{Ho}}$ $\overset{112}{\text{Er}}$ $\overset{113}{\text{Tm}}$ $\overset{114}{\text{Yb}}$ $\overset{115}{\text{Lu}}$	$\overset{116}{\text{Hf}}$ $\overset{117}{\text{Ta}}$ $\overset{118}{\text{W}}$ $\overset{119}{\text{Re}}$ $\overset{120}{\text{Os}}$ $\overset{121}{\text{Ir}}$ $\overset{122}{\text{Pt}}$ $\overset{123}{\text{Au}}$ $\overset{124}{\text{Hg}}$	$\overset{125}{\text{Tl}}$ $\overset{126}{\text{Pb}}$ $\overset{127}{\text{Bi}}$ $\overset{128}{\text{Po}}$ $\overset{129}{\text{At}}$ $\overset{130}{\text{Rn}}$	$\overset{131}{\text{Fr}}$ $\overset{132}{\text{Ra}}$	$\overset{133}{\text{Ac}}$ $\overset{134}{\text{Th}}$ $\overset{135}{\text{Pa}}$ $\overset{136}{\text{U}}$ $\overset{137}{\text{Np}}$ $\overset{138}{\text{Pu}}$ $\overset{139}{\text{Am}}$ $\overset{140}{\text{Cm}}$ $\overset{141}{\text{Bk}}$ $\overset{142}{\text{Cf}}$ $\overset{143}{\text{Es}}$ $\overset{144}{\text{Fm}}$
SEMISÈRIE NEGATIVA				SEMISÈRIE POSITIVA				SEMISÈRIE NEGATIVA				SEMISÈRIE POSITIVA											
1 ^a SÈRIE				2 ^a SÈRIE				3 ^a SÈRIE				4 ^a SÈRIE											
1 ^a SÈRIE				2 ^a SÈRIE				3 ^a SÈRIE				4 ^a SÈRIE											
4 ^a PERÍODE				3 ^a PERÍODE				2 ^a PERÍODE				1 ^a PERÍODE											

Fig. 3

Divisió del sistema periòdic dels elements segons el P. SAZ, S. J.

el número atòmic 92, en la taula del P. SAZ porta el número 94. La significació teòrica d'aquest canvi de número atòmic no és tan pregona ni mancada de fonament, com de primer antuvi podria semblar; les dues taules donen el

mateix nombre total d'electrons als elements, i sols hi ha la diferència que el P. SAZ atribueix dos electrons més a l'embolcall que la taula internacional, la qual els considera com nucleals: ara bé, com que es tracta dels dos electrons més profunds de l'embolcall, no té res d'estrany que fins ara no s'hagin donat a conèixer pels mitjans utilitzats per descobrir els altres.

b) DESCOBRIMENT DE LA ISOTOPIA.

Havem indicat anteriorment que la isotopia ens resol el problema de l'excés d'elements sobre el de llocs disponibles en la sèrie periòdica. Com pot ésser això? Examinem-ho.

S'arribà a la solució d'aquest problema mitjançant la troballa de certs fets, els més imprevisos. Efectivament: s'observà que alguns elements radiactius, malgrat de presentar pesos atòmics diferents, demostraven una concordància tan perfecta en llurs propietats químiques, que es feia talment impossible separar-los un dels altres pels procediments de l'anàlisi químic.

El primer exemple d'aquest fenomen fou observat ja en 1907 per MAC COY i ROOS, amb el tori i el radi-tori. Un altre cas dels més diligentment estudiats fou el del radi i del plom. Quan aquest últim metall prové d'un mineral uranífer, posseeix sempre certa radiactivitat, que es deu a una petitíssima quantitat de radi D. Ara bé: PANETH i VON HEVESY intentaren per tots els mètodes imaginables separar aquests dos elements, utilitzant les precipitacions fraccionades, l'oxidació, vaporització, electròlisi, etc.; el resultat fou sempre nul. RICHARDS i HALL efectuaren fins a 1000 cristallitzacions fraccionades sense arribar tampoc a cap variació apreciable de la barreja. Els dos elements en qüestió, doncs, posseeixen propietats químiques idèntiques, i no obstant, es diferencien no poc sota diferents aspectes: un dels dos cossos és radiactiu i l'altre no; el pes atòmic del plom és 207'2 i el pes atòmic del radi D és 210. Finalment, aquest últim es forma lliure de plom ordinari en la desintegració de l'emanació de radi.

La majoria dels elements radiactius donen lloc a observacions anàlogues: es tracta, doncs, d'un fenomen general. Per tant, donat que en la classificació periòdica dels elements modificada per RYDBERG la posició de cada element queda determinada pel conjunt de les seves propietats químiques, és clar que els elements químicament idèntics han d'ocupar el mateix lloc: amb la qual cosa el curt nombre de places disponibles deixa ja d'ésser un obstacle per fer entrar en la classificació tots els elements radiactius.

SODDY donà, en 1910, al fenomen que acabem de descriure, el nom d'*isotopia* i el d'*isòtops* als elements químicament inseparables, però amb diferent pes atòmic. Quan bé li escau el nom a aquest fenomen ho palesa la seva eti-

mologia; puix que el nom *isòtop* prové de les dues paraules gregues *isos* el mateix, i *topos* lloc. Ara bé: segons havem dit, cossos isòtops són aquells que ocupen el mateix lloc en la sèrie periòdica dels elements.

Llegint els últims escrits de SODDY es veu que atribueix a ell mateix la glòria d'haver estat el primer, no solament a formular les paraules, sinó àdhuc a descobrir la noció mateixa a què es refereixen; i així, en el *Consell de Química* celebrat a Brusselles pel mes d'abril de 1922, s'expressa en els següents termes:

"Al meu entendre, el concepte d'isòtops data de la meua pròpia experiència i de la descoberta verificada al mateix temps en 1910 per MARCK WALD sobre la identitat completa de caràcter químic entre els mesotori I i el radi. Un altre pas fou la identificació obtinguda per FLECK entre el mesotori II i l'actini, que forma part de les nombroses caracteritzacions realitzades en el meu laboratori durant els tres anys següents."

Altres autors, sense negar a SODDY una important intervenció en aquesta matèria, s'expressen en termes diferents que redueixen un xic aquests mèrits.

Són dignes d'ésser conegudes les expressions amb què SODDY començà la seva Memòria, llegida a l'esmentat *Consell de Química* de Brusselles, on declara palesament que els isòtops foren reconeguts primer experimentalment, abans de caure en el compte de llur possibilitat per especulacions teòriques:

"És un tribut, diu, que devem retre a una sorpresa de la natura i una demostració palpable de la debilitat de l'enteniment humà, el fet de no haver-se previst la possibilitat de l'existència dels isòtops abans que es descobrissin. És cert que alguna cosa d'això obrirà ja CROOKES durant el curs de les seves investigacions sobre els elements de les terres rares; puix, segons les seves idees, aquest autor arribà a admetre l'existència de lleugeres diferències en la massa i en les propietats dels àtoms individuals d'un mateix element; de sort que les propietats d'aquest serien el promig de les propietats dels *meta-elements*, com ell els anomena, és a dir, unitats constitutives lleugerament diferents entre elles. Mes aquesta idea dista molt d'ésser la noció d'isòtops: puix aquesta noció comporta la idea d'una barreja d'àtoms de caràcter químic idèntic; però que, no obstant, es diferencien en llur massa, no d'una manera contínua, sinó *per saltum*, i aquests cossos foren descoberts experimentalment abans de preveure'ls ningú. De fet, els isòtops foren descoberts sense que encara existís aquest epítet: solament més tard es canvià per la paraula isòtops la designació més borda, però més explícita, d'*elements amb caràcters idèntics, no separables per mitjans químics*. És a dir: després del desenrotllament teòric que associà la identitat química dels elements al fet d'ocupar el mateix lloc en la taula periòdica."

Fins aquí SODDY.

c) LA ISOTOPIA I LA UNITAT DE LA MATERIA

La isotopia encara ha fet quelcom més, i ha estat el contribuir en aquests últims temps a què fos més universalment admesa la unitat de la matèria. En efecte: el descobriment de la radiactivitat amb l'emissió de partícules *alfa* o nuclis de gas heli i de les partícules *beta* o electrons, així com també les experiències de RUTHERFORD amb els àtoms lleugers, que per l'acció de les partícules *alfa* emeten partícules "H" o nuclis d'hidrogen i partícules "3" o nuclis d'un element de pes atòmic tres, feren pensar des d'un principi que els elements tots es componen de protons i electrons. No obstant, una dificultat molt sèria s'oferia sempre al davant per admetre sense reserves aquesta teoria, i era la dels pesos atòmics, els quals, en lloc d'ésser números sencers, com exigeix aquesta teoria, es presenten ordinàriament amb una o varies xifres decimals.

La solució completa d'aquesta dificultat, admetent l'existència dels cossos isòtops, exigeix que ens translladem ara, uns breus moments, al començament de la Química, on ja llavors es topà amb una dificultat semblant, sempre que s'intentà sostenir la doctrina de la unitat de la matèria.

Ben coneguda de tots els que han saludat la Química és la teoria atòmica de DALTON, que pot condensar-se en els tres postulats següents: 1er. Tots els elements es troben formats de partícules molt petites, els àtoms, que permaneixen indivisibles durant les reaccions químiques. 2on. Els àtoms d'un mateix element són idèntics entre ells i en particular tots ells tenen el mateix pes, mentre que els àtoms d'elements diversos són diferents. 3r. Les combinacions químiques resulten de la juxtaposició dels àtoms dels elements components, que s'uneixen en nombre determinat per a formar les molècules.

No havien passat 12 anys des de que DALTON exposà sa teoria, quan PROUT, en 1805, discutint el pes relatiu dels àtoms tal com es determinava en aquella època, emeté la idea de què els pesos atòmics dels diferents elements eren múltiples del pes de l'àtom d'hidrogen; fins al punt de què tots ells resultarien números sencers, si s'assignés a l'àtom d'hidrogen un pes igual a la unitat; d'on tragué la conclusió de què l'hidrogen era la matèria primordial i única, constitutiva de tots els cossos.

El cèlebre químic J. B. DUMAS s'entusiasmà de moment amb la idea, i adés amb BOUSSIGNAULT, adés amb STAS, emprengué la tasca de comprovar aquesta hipòtesi mitjançant una revisió, el més precisa possible, dels pesos atòmics. Amb aquesta ocasió es comprovà que els pesos atòmics dels elements no eren coneguts amb prou justesa per formular cap hipòtesi en aquest sentit, puix entre les valors admeses per PROUT arribaren a desco-

lirir-se errors superiors a una unitat. No devem ometre ací que sota l'impuls d'investigadors de tanta competència s'obrí una nova era en la precisió de les determinacions de pesos atòmics. MARIGNAC, qui també s'associà al moviment, fou el primer a demostrar que les noves determinacions del pes atòmic del clor exigien que es dividís per dos la unitat proposada per PROUT, si s'havia d'admetre el principi de la unitat de la matèria; ja que, efectivament, el número de MARIGNAC era $Cl = 35,5$, essent així que la unitat de PROUT reclamava per al clor 35 o 36.

En vista d'argument tan convincent, PROUT i algun dels seus partidaris, abans de donar-se per vençuts, intentaren encara noves solucions, fins que, com a suprem esforç, proposaren com a unitat de pesos atòmics la quarta part del pes atòmic de l'hidrogen: però tot fou inútil. El mateix STAS, que en els començaments de la seva carrera científica s'havia declarat fervent partidari de les idees de PROUT, es decantà a la banda contrària, fins al punt d'arribar a fer-se un dels més grans enemics d'aquella teoria. Les seves conclusions foren aquestes: 1.^a Són il·lusòries totes les relacions proposades entre els pesos atòmics dels diferents elements. 2.^a Els pesos atòmics poden admetre xifres decimals qualsevols. I, com a conclusió dels seus treballs, invità STAS als demés químics a què repetissin les seves pròpies experiències, perquè:

“Si aquestes investigacions, deia ell, confirmen els meus perseverants estudis, llavors els qui admeten l'existència d'una matèria primera i única ens tindran d'explicar com conceben que els productes d'agregació d'aquesta matèria única presentin masses ponderables fixes en relacions incommensurables. Per tant, fins que no s'hagi donat aquesta explicació, la hipòtesi de l'existència d'una matèria primera i única no podrà entrar en la ciència, donat que no podrà ésser considerada com a una cosa possible.”

No obstant, com tot seguit veurem, la ciència actual, i en particular la teoria dels isòtops, han donat una resposta satisfactòria a aquesta pregunta de STAS.

És de més el dir que, en aquells començaments de la Química i davant de tals adversaris, la hipòtesi de PROUT havia de romandre completament desacreditada. I així fou en efecte: el descrèdit li durà gairebé un segle. Tot i amb això, durant el temps d'un tan llarg ensopiment no li mancaren a la hipòtesi de PROUT alguns fervents partidaris, entre els quals mereixen recordarse SCHUTZENBERGER, HINRICHS i RAMSAY; aquest últim féu notar, en 1911, que dels 81 elements llavors coneguts, 43 tenien pesos atòmics que no es separaven del número sencer més d'una dècima d'unitat, per excés o per defecte, i valent-se del càlcul de probabilitats, demostrà que hi havia 20 mil milions de probabilitats contra una de què aquest fet no fos casual.

Avui dia, gràcies a les noves doctrines electròniques, la hipòtesi de PROUT ha tornat a conquerir el favor que li restà l'escola de MARIGNAC i de STAS; però no sense pagar-ho a gran preu, o sigui renunciant al principi de la conservació de la massa. Aquest ressorgiment de la teoria de PROUT es deu principalment a ASTON, amb les seves determinacions dels pesos atòmics mitjançant l'espectrògraf de masses. L'esmentat autor ha trobat que molts dels elements químics estan constituïts de dos o més elements isòtops amb pes atòmic diferent. Ara bé; els elements químics que es presenten com a senzills tenen els pesos atòmics que s'expressen per números sencers en el sistema $O=16$; i els isòtops dels elements químics *complexos* obeeixen a la mateixa llei. Les determinacions d'ASTON són exactes fins a la mil·lèsima, la qual cosa no deixa d'ésser una garantia per inclinar-nos a admetre els extrems d'aquest cèlebre físic-químic anglès.

No deixa encara de presentar-se una petita nèbula que cal exposar. Si la llei d'ASTON es realitzés en el sistema $H = 1$, en lloc de verificar-se en el sistema $O = 16$, la llei de PROUT apareixeria rigorosament exacta i gairebé no podria dubtar-se de què tot àtom fos la resultant de la condensació d'àtoms d'hidrogen. En aquesta hipòtesi, el protó seria, a no dubtar-ho, el constituent universal de la matèria: però, no realitzant-se la llei d'ASTON en el sistema Hidrogen = 1, d'aquí que encara en alguns esperits romanguin certs dubtes. Per dissipar-los en part ha estat necessari en el sistema $O = 16$ suprimir a la massa de l'àtom d'hidrogen la seva xifra decimal. Aquesta eliminació podria semblar despreciable i no dubtaria ningú a decidir-se per ella si el decimal en qüestió entrés dins l'ordre dels errors possibles d'experiència; però es dona el cas que aquest error possible és unes 10 vegades més petit. Per tant, actualment la llei de PROUT cal formular-la en aquests termes: *els pesos dels àtoms són múltiples sencers de l'hidrogen disminuït en 8 mil·lèsimes.*

Cert que no és possible atribuir a la casualitat aquesta relació; ans el contrari, ella demostra, amb força evidència, que *tots els àtoms resulten de la condensació de varis àtoms d'hidrogen*. Més per arribar a aquesta conclusió ha calgut interposar una subtileza teòrica, treta de la doctrina de la relativitat d'EINSTEIN. Efectivament: segons EINSTEIN la massa no és més que un dels aspectes de l'energia; per tant, basta admetre que l'associació de protons en un àtom desprèn una notable quantitat d'energia, perquè, en conseqüència, la seva massa disminueixi sensiblement. Les despeses, doncs, d'aquesta emissió correran a càrrec del decimal del pes atòmic de l'hidrogen, o dit en altres termes, la massa de l'hidrogen, representada per l'esmentat decimal, equivaldria a l'energia dissipada en la síntesi dels àtoms partint de l'hidrogen. Segons aquesta doctrina, en l'àtom

d'heli ($\text{He} = 4$) hi hauran 4 protons, o sigui 4 àtoms d'electricitat positiva; en l'àtom d'oxigen ($\text{O} = 16$) hi hauran 16 protons, etc. I, venint ja a un cas concret, la condensació de 4 àtoms d'hidrogen, que donen segons acabem de dir, un àtom d'heli, correspon a una pèrdua de massa 0'032, que dóna la mesura de l'energia de cohesió del conjunt i que els anglesos anomenen *packing effect* i representa $4'45 \times 10^{-5}$ ergs per àtom d'heli format.

Per tant, els únics elements els pesos atòmics dels quals presentaran decimals correspondran a elements complexos, és a dir, als elements constituïts per isòtops associats. Per exemple: el clor amb pes atòmic no sencer ($\text{Cl} = 35'45$) s'ha comprovat ésser compost de dos isòtops, les masses atòmiques dels quals, 35 i 37, estan representades en el sistema $\text{O} = 16$ per números sencers. El decimal del pes atòmic del clor ordinari ens dóna a comprendre que aquest element inclou unes quatre vegades més de l'isòtop 35 que no pas de l'isòtop 37: en números exactes 77'777 per 100. I com els elements complexos poden tenir llurs diferents isòtops en proporcions qualsevols, d'ací resulta també que els decimals de llur pes atòmic podran ésser també qualsevols. Mitjançant aquest artifici tan enginyós s'ha pogut conciliar la llei d'ASTON, forma actual de la llei de PROUT, amb les conclusions de STAS.

Tot i amb això, no ens hem d'imaginar que la introducció en la Química del fenomen de la isotopia, contribueixi a simplificar aquesta ciència; sinó que, al contrari, aportarà, sens dubte, sota certs punts de vista, una lamentable confusió. MILLIKAN i HARKINS (1921-1922) en el decurs de llurs treballs sobre els isòtops, han calculat el nombre de compostos diferents que es podran obtenir d'alguns elements isòtops. Llurs conclusions no deixen d'oferir certa curiositat. Si el potassi té dos isòtops, el platí sis i el clor dos, resulta la possibilitat de 126 isòtops diferents de cloroplatinat potàssic, K_2PtCl_6 . Si l'estany presenta dos isòtops, hi hauran 30 espècies moleculars de clorur estànnic, SnCl_4 ; i si el mercuri té sis isòtops, existiran 63 isòtops de clorur mercuriós, HgCl_2 . Una complexitat semblant existiria en Química orgànica, on s'introduirien noves menes d'isomeria, puix immediatament es presenten com a possibles nous isòmers òptics, des del moment que s'admeten els isòtops com a substituïts distints per a la creació de carbons asimètrics. No obstant, pel moment, no s'obria encara un influx pràctic dels isòtops en la Química, donat que en la natura es troben sempre barrejats en les mateixes proporcions.

IGNASI PUIG, S. J.

Subdirector de l'Observatori de l'Ebre