

## EL RECENT TUB COOLIDGE DE RAIGS CATODICS

### ELS SEUS ANTECEDENTS

DESPRÉS de perfeccionar considerablement una bomba de mercuri per a la producció del buit i d'aconseguir remarcables resultats en l'estudi de les repulsions causades indirectament per les radiacions lluminoses, CROOKES emprengué, fa ja 52 anys, l'estudi de les descàrregues elèctriques en el buit.

Sense cap llei de dubte, aquestes recerques, en les quals HITTORF, i VARLEY que descobrí els raigs catòdics, l'havien precedit, assenyalen el començament d'una era, que, per un felix encadenament de descobertes i troballes, ha fet més profundes les nostres coneixences físiques, i ens ha permès d'arribar a les interioritats de l'àtom, el què era, fins a les primeries d'aquest segle, hipòtesi solament per a molts físics i monjoia infranquejable per a tots.

És ben sabut que en sentir de CROOKES, els raigs catòdics eren una manifestació de l'estat *radiant* de la matèria; les apassionades controvèrsies que aquesta hipòtesi—en el fons pur verbalisme—suscità, tenen una gran part en la fecunditat de les recerques a què donaren lloc. Avui, en què MILLIKAN, després d'establir en experiències de corpreneadora bella-sa la valor de la càrrega d'un electron, ha pogut dir:

"És completament legítim el considerar un corrent elèctric com el pas d'una substància definida, material i granular, al llarg d'un conductor. Altrament dit, aquestes dues entitats: *electricitat* i *matèria*, que el segle XIX considerava com a distintes, s'ens comencen a aparèixer com a dos aspectes diferents d'una sola i mateixa cosa",

ens sentim inclinats a l'admiració envers CROOKES que intuï genialment la més curta i precisa descripció de l'allavors boirós fenomen.

La remarca de HERTZ de què dins del tub de CROOKES, els raigs catòdics travessaven una prima fulla d'alumini absolutament opaca a la llum, interposada en llur trajectòria, portà LENARD a imaginar la possibilitat de fer ús d'aquesta propietat per tractar de fer-los sortir del tub de buit; repetint aquest experiment, del qual parlarem després, RÖNTGEN en 1895 trobà els raigs X.

Totjust descoberts aquests, POINCARÉ es preguntà si tota vegada que



la producció de raigs X s'acompanya de fluorescències del vidre de l'ampolla o tub, la causa dels raigs X no fóra precisament aquesta fluorescència. BECQUEREL, per tal de comprovar-ho, sotmeté a la irradiació solar uns cristalls de sulfat d'urani posats damunt una placa fotogràfica recoberta de paper negre i, en trobar la imatge d'aquells un cop revelada la placa, pensà haver comprovat que la fluorescència del sulfat d'urani, que semblava provocada per la insolació, produïa radiacions similars a les de RÖNTGEN.

Repetit, però, l'experiment sense sotmetre a la llum solar els cristalls d'urani, la imatge d'aquests persistia en la placa; no era, doncs, la fluorescència la causa dels raigs X, ni dels raigs de BECQUEREL, que així foren anomenats, de bon antuvi, els emesos pels cossos radiactius, la descoberta dels quals pels esposos CURIE fou la conseqüència del punt de vista inicial—que es demostrà després ésser fals—, suggerit per la troballa dels raigs X.

L'estudi de la radiactivitat conduí al descobriment del Poloni, l'Actini i el Radi, presents en els minerals d'Urani i Thori. Això s'esdevenia en 1898. D'allavors ençà, la radiactivitat ha estat un camí de meravelles físiques.

En 1912, FRIEDRICHS i KNIPPING, en comprovar la hipòtesi de LAUE de què els raigs X havien d'ésser difractats per la finíssima estructura reticular que la ja antiga suposició de BRAVAIS atorgava als cossos cristallitzats, obren el camí a les recerques de BRAGG i de DE BROGLIE, entre molts altres, i ens donaven, no solament el mitjà de refer damunt noves i més fermes bases tota la cristallografia, sinó, demés, un mètode d'anàlisi físic de la identitat química dels àtoms, per mitjà de llurs radiacions RÖNTGEN característiques. Aquest mètode, MOSELEY demostrà que és el més precís de què disposem per, tal com justifica de manera objectiva, d'a-record amb la seva llei de les freqüències característiques aritmèticament creixents, les alteracions exigides per la classificació de MENDELEJEF en la sèrie de pesos atòmics.

La conductibilitat dels gasos que s'entreveia assimilable, per la seva naturalesa, a la dels electròlits, no pogué ésser explicada fins a la descoberta dels raigs X i l'estudi dels fenòmens d'ionització provocats per aquests raigs. La possibilitat de mesurar la càrrega de l'electron és un dels seus fruits més importants, el qual, junt amb l'espectrometria d'alta freqüència iniciada en la descoberta de LAUE, ha conduït l'atomística al punt de comprovar en tots els àtoms, com a fonamentada en la seva part més important, la teoria atòmica de BOHR, basada en les teories de PLANCK dels *quanta* d'energia. Aquesta teoria de BOHR, ha permès a SOMMERFELD, en preveure els fets d'estructura fina de les ratlles espectrals i comprovar-



los principalment en el domini dels raigs de RÖNTGEN, establir la certesa dels nivells d'energia i òrbites quàntiques dels electrons corticals de l'àtom i demostrar, a l'ensem, que les variacions de massa, que són conseqüència de les de velocitat, obeeixen a les lleis de relativitat establertes per EINSTEIN.

Veiem, doncs, que els raigs X es troben en la base de totes les descobertes i adquisicions que són fites importants de la Física moderna.

La producció de raigs X en un tub o ampolla de RÖNTGEN té lloc quan les condicions d'enrarament del gas són tals que la descàrrega s'inicia, adés perquè, sota la influència del camp elèctric aplicat entre els elèctrodes, el càtode emet un cert nombre d'electrons que donen lloc a la ionització i consegüent conductibilitat del gas, adés per ésser aquesta conductibilitat produïda com a conseqüència de radiacions ultrapenetrants provinents de l'espai.

Els ions positius són atrets pel càtode i prenen el nom de raigs positius o raigs canals. Aquest nom és degut a GOLDSTEIN, per tal com els conduí a través d'una canal practicada en el càtode, a un clos de l'ampolla existent darrera d'aquest darrer; VILLARD els designà també sota el nom d'*aflux catòdic*. Com a conseqüència, probablement, de l'efecte tèrmic produït sobre el càtode per l'aflux catòdic o bombardeigs d'àtoms materials de massa relativament elevada que es mouen amb velocitats de l'ordre de 10.000 km per segon, el càtode emet electrons, o càrregues elementals d'electricitat negativa, els quals són accelerats per la diferència de potencial aplicada. La topada d'algun d'aquests electrons amb els àtoms del gas enrarit, manté la ionització d'aquest i la descàrrega continua amb el mateix mecanisme.

Els restants electrons són projectats sobre l'anticàtode amb velocitats enormes, corresponents als voltatges que s'apliquen, i constitueixen el feix de raigs catòdics, els quals, en arribar a l'esmentat anticàtode són aturats sobtadament, amb el què una petita part de llur energia cinètica, de l'ordre del mil·lèsim, es converteix en raigs X.

Tenim, per tant, en l'ampolla de Röntgen, tres menes de radiacions: els raigs X, de natura oscil·latòria; els raigs positius o raigs canals, de natura material, i els raigs catòdics, constituïts per electrons en rapidíssim moviment.

Els fenòmens de radiactivitat s'acompanyen aiximateix de tres radiacions similars: els raigs *gamma*, de natura oscil·latòria, que són, possiblement, els raigs X característics del Radi, o millor, del seu nucli; els raigs *alfa*, o nuclis d'Heli expulsats pel Radi en la seva transmutació, comparables als raigs canals; els raigs *beta*, constituïts per electrons exacta-



ment idèntics als que formen els raigs catòdics, enc que animats de velocitats molt superiors a les d'aquests.

Si els raigs X i els seus anàlegs els raigs *gamma* del Radi, derivats tots ells de les recerques de CROOKES, ens han donat tan meravellosos fruits, les altres radiacions que els acompanyen han estat, aiximateix, ben fecundes.

Els raigs canals de GOLDSTEIN, primer en mans de J. J. THOMSON, després en les d'ASTON, han permès la mesura precisa de les masses atòmiques, i aquest darrer, amb el seu espectròmetre de masses, ha pogut demostrar que un gran nombre d'elements, el pes atòmic dels quals no és exactament múltiple de la unitat, són simples mescles d'elements isotòpics de pesos atòmics distints, múltiples exactes de la unitat, que difícilment per cap altre mitjà físic o químic haurien pogut amb certesa ésser des- triats.

La noció d'isotopia introduïda per SODDY vers el 1914, per designar els elements que amb tot i tenir pesos atòmics distints, ocupen el mateix lloc en la classificació periòdica, fou establerta per seqüència de la constatació de què en els cossos radiactius a cada emissió de raigs *beta* o electrons, les propietats químiques d'aquells cossos varien, per tal com aquestes propietats depenen del nombre de càrregues positives lliures del nucli atòmic. Aquesta noció d'isotopia com a conseqüència dels treballs d'ASTON, s'estén a tots els elements, amb la qual cosa ens acostem a la hipòtesi de PROUT, segons la qual tots ells són compostos d'hidrogen, enc que no atribuïm a aquest un pes atòmic igual a la unitat, sinó superior a ella en 0,008.

El nucli de l'àtom d'hidrogen, la càrrega elèctrica del qual és, però amb signe positiu, igual a la del electron, ens sembla, junt amb aquest, ésser un constituent universal de la matèria. Reforça aquesta suposició, fonamentada en innumbrables concordàncies experimentals, si bé indirectes, el fet que RUTHERFORD, al qual devem les hipòtesis inicials sobre els nuclis atòmics, formulades a la llum de les seves recerques sobre la radiactivitat, provocà la primera transmutació artificial constatada, mitjançant el bombardeig amb raigs *alfa* de nuclis atòmics de diferents cossos, especialment del Nitrogen, dels quals alliberà àtoms d'Hidrogen.

Una transmutació de sentit invers, que vindria també a confirmar aquella creença, sembla haver estat recentment provocada per PANETH i PETERS, els quals creuen obtenir Heli a partir de l'Hidrogen, fent que aquest, rigorosament purificat, sigui absorbit, a la temperatura ordinària, per Palladi finament pulveritzat.

Els raigs catòdics, després d'haver donat ocasió per a la descoberta de RÖNTGEN, havien romàs molt temps sense estendre llur domini; però el 20



d'octubre darrer, el Dr. W. D. COOLIDGE, llegí una comunicació sobre nous i interessants fenòmens provocats pels mateixos, amb ocasió d'ésser-li atorgada la medalla d'or del premi HOWARD N. POTTS pel *Franklin Institute* de Filadèlfia.

La personalitat del Dr. COOLIDGE adquirí un gran relleu fa deu o dotze anys amb la creació del seu tub de raigs X de filament incandescent, en el qual la descàrrega és purament electrònica sense producció de raigs positius, car no hi ha ionització del gas residual, àdhuc ni a tensions superiors a 200 Kv., per tal com ha estat exhaurit fins al punt on permeten les modernes tècniques del buid. Els electrons que intervenen en la descàrrega i que formen el feix catòdic s'obtenen per efecte EDISON, portant a la incandescència, mitjançant un corrent auxiliar, el filament contingut en el càtode de l'ampolla.

Els avantatges que presenta aquest sistema són tan nombrosos, que l'ús de les ampolles o tubs COOLIDGE en els seus diversos models s'ha extès universalment, permetent investigacions notabilíssimes i contribuint poderosíssimament al perfeccionament de l'aparellatge i aplicacions dels raigs X. Per aquests motius rebé el Dr. COOLIDGE el premi abans esmentat, el què li donà ocasió a presentar el seu nou tub de raigs catòdics.

Hem dit ja que LENARD, coneixent l'observació de HERTZ relativa a la transparència per als raigs catòdics d'una minça fulla d'alumini, es proposà aprofitar aquesta propietat per fer que els raigs catòdics deixessin el clos de l'ampolla i penetressin en l'atmosfera. Per aconseguir-ho, disposà enfront del càtode (els raigs catòdics es propaguen perpendicularment a la superfície d'aquest) una prima làmina d'alumini de 2,5 mil·lèsimes de mil·límetre d'espessor, la qual recobria un petit forat practicat en una peça metàl·lica subjecta a la paret del tub.

Els raigs catòdics produïts per ionització del gas restant en el tub, sortien a l'exterior a través d'aquesta mena de finestrella, que resistia, no obstant, la pressió atmosfèrica, i formaven a la sortida un tènue pinzell de raigs electrònics ràpidament absorbits per l'aire ambient. El voltatge aplicat als terminals del tub era de l'ordre de 30 kilovolts i el buid relativament dèbil.

És de notar que LENARD, cosa comprensible, no veia els fenòmens que provocava, com els veiem nosaltres i fou no sense resistència notable que admeté, d'acord amb el calculat per SCHUSTER, que els raigs catòdics eren radiacions corpusculars, sense, però, profunditzar en llur natura totalment incerta en aquella època.

El Dr. COOLIDGE ha reprès i modernitzat l'experiment de LENARD i ha obtingut efectes verament sorprenents amb el potent feix de raigs catòdics emesos pel seu nou tub. En aquest, els raigs catòdics es produeixen



per l'acceleració comunicada als electrons emesos per un filament incandescent, com el del seu tub de raigs X, sota l'acció d'una tensió contínua que assoleix els 350.000 volts, aplicada entre el càtode i l'ànode de què després parlarem.

La finestrella a través de la qual emergeixen els raigs catòdics és de níquel, de gruix semblant al de la del tub de LENARD, però amb un diàmetre de 75 mm. El buid practicat en el tub és quasi perfecte i, per tant, la pressió exterior que ha de resistir la finestrella de níquel és, almenys, de 100 lliures (unes 7 atmosferes); esforç enorme que no podria sostenir sense estar reforçada a bastament per una estructura alveolar, en forma de bresca, construïda en molibdèn.

El càtode, que conté el filament incandescent, està situat en el centre de l'esfera de vidre i separat uns 25 mil·límetres de l'extrem del tub de coure que constitueix l'ànode, per l'interior del qual passa el flux d'electrons, sense que aquests puguin atènyer el vidre i ocasionar-ne la perforació, àdhuc als voltatges més alts.

El tub o ànode d'aram es perllonga a l'interior d'una tubulura de vidre i fineix en un disc de metall invar soldat directament al vidre d'aquesta tubulura, amb el què s'obté un junt absolutament hermètic, el què fa que el tub pot ésser separat de la bomba o instal·lació d'evacuació i manipulat amb idèntica facilitat que els tubs de raigs X. Demés, per tenir l'invar el mateix coeficient de dilatació que el vidre, àdhuc en el cas d'augmentar l'extrem del tub de temperatura, la resistència de la juntura no s'altera. Damunt del disc d'invar, és soldada la finestrella de níquel amb el reforç de molibdèn abans descrit.

La regulació es fa modificant la incandescència del filament, igual que en els tubs COOLIDGE de raigs X, i actuant sobre del voltatge continu aplicat al tub. Sota la influència de la tensió aplicada, els electrons emesos pel filament a una velocitat de uns 3 km per segon, s'acceleren fins assolir una velocitat de 245.000 km per segon, i per dintre del tub d'aram anòdic arriben a la finestra de níquel, que travessen, i surten a l'atmosfera amb sols una lleugera disminució de velocitat.

Amb tot i que els electrons emesos pel tub no assoleixen la velocitat dels que formen els raigs *beta* del Radi, llur nombre, en sentir de COOLIDGE, és igual al dels que serien emesos per una tona de Radi.

En posar en funcionament el tub es forma davant la finestrella una boira purpúrea del tamany d'una esfera de 60 cm de diàmetre, produïda per la ionització de l'aire pels electrons ràpids que surten del tub. Llur poder penetrant depèn del voltatge de funcionament: és lleuger en les substàncies sòlides i quasi inapreciable en els metalls densos.

Irradiant per un instant cristalls de calcita, aquests prenen l'aspecte de



brases de foc, amb tot i brillar amb llum absolutament freda; llur esclat comença en l'àrea més pròxima a la superfície per on penetren els raigs. Aquesta luminiscència ataronjada pot mantenir-se durant varies hores si la irradiació és prolongada. Quan fineix, s'observen en l'interior del cristall nombroses espurnes o destells blau-blancs, veritables explosions elèctriques, resultants del bombardeig dels àtoms del cristall pels electrons d'alta velocitat.

La sal ordinària pren una color bruna i fins molt temps després no recupera son color i aspecte usuals. El granet, mescla de varis minerals, emet diverses colors, algunes ràpidament fugisseres, mentre que altres romanen bastant de temps. El vidre corrent es torna negre; l'aigua esdevé rogenca; la llet queda pasteuritzada a l'acte, però pren una sentor desagradable.

El més sorprenent dels experiments portats a terme ha estat la transformació del gas acetilèn, ordinàriament incolor, en una pols groga, sem-

Fig. 1  
Tub COOLIDGE de raigs X  
model *Standard*

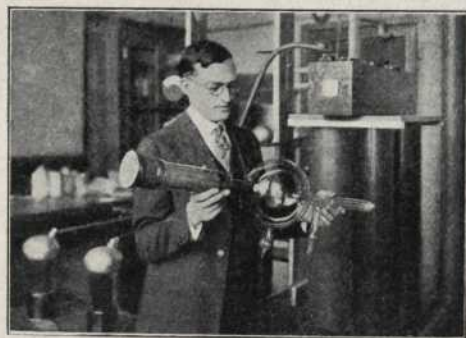
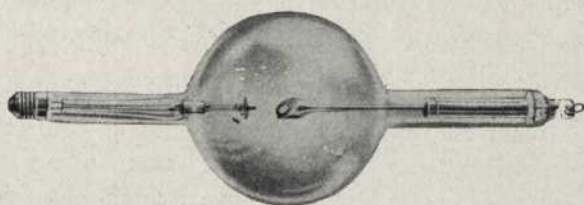


Fig. 2  
El nou tub de raigs catòdics del Dr. COOLIDGE

blant a l'obtinguda en petitíssimes quantitats tractant l'acetilèn amb el Radi. Aquesta substància groguenca pot produir-se en quantitats relativament grans, adés en forma de polsina lleugera, adés com un vernís fortament adherent en peces col·locades dintre del gas. Sotmesa a l'acció de molts dissolvents ha resultat del tot insoluble, d'on sembla entreveure's la possibilitat pràctica d'emprar-la com a vernís o capa protectora per a metalls.

L'oli de ricí es solidifica també en ésser bombardejat pels electrons ràpids del nou tub.

Les bactèries i petits insectes moren instantàniament sota la irradiació i es provoquen amb ella altres modificacions biològiques, com la següent:

L'exposició durant una dècima de segon d'una petita superfície delimitada damunt l'orella d'un conill gris, produí la pèrdua temporal del pèl. Augmentant l'exposició fins a un segon damunt un altra àrea circular, es formà sobre d'aquesta una escata o crosta. En desprendre's s'emportà el pèl subjacent i al cap d'algunes setmanes aparegué damunt l'àrea tractada una profusa vegetació de pèl molt més llarg i de color blanc com la neu.

Prolongant les exposicions fins a un minut, es produeix la crosta en ambdós costats de l'orella i en el forat que deixen en desprendre's, es forma una franja de pèl blanc.

Aquestes són les més interessants de les primeres experiències fetes amb el nou tub. No hem volgut relatar-les sense donar abans una idea de com s'enllaça l'instrument que les produeix a les investigacions que l'han precedit, enumerades tan sols per tal de presentar una visió de conjunt de les trascendentals coneixences derivades de l'estudi de la descàrrega elèctrica en els gasos.

El tub COOLIDGE de raigs catòdics no és, fins ara, més que un aparell de laboratori. Independentment de les aplicacions pràctiques a què podrà ésser dedicat, ens sembla fora de dubte la seva vàlua en el terreny de la investigació, puix si s'ha dit que les radiacions ultra-violetes, els raigs X i els raigs del Radi ens permeten veure l'interior dels àtoms, és segur que els raigs catòdics d'alta velocitat, o raigs LENARD-COOLIDGE, ens ajudaran també a aclarir el misteri de la matèria, de l'aprofitament de l'energia interna de la qual està cobejosa la Física moderna.

JOSEP GRAU CASAS

*Director d'Il·dea*