

LISE MEITNER, OTTO HAHN I FRIEDRICH W. STRASSMAN

El descobriment de la fissió nuclear

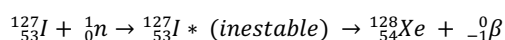
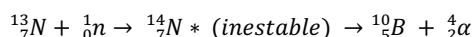
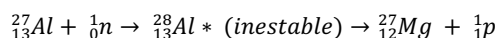
Josep Lluís Doménech
 Doctor en Química

Si el descobriment de la radioactivitat natural no despertà massa interès entre els científics, no passà el mateix amb el descobriment de la radioactivitat artificial. A París, Roma i Berlín grups d'investigadors se sentiren atrets per aquest camp. Com a resultat, **Lise Meitner, Otto Hahn** i **Friedrich W. Strassmann**, els components de l'equip berlinès, descobriren la fissió nuclear.

El 1934, el matrimoni format per **Irène i Frèdric Joliot-Curie** comunicava que làmines d'alumini, bor i magnesi, emetien positrons (electrons de càrrega positiva) quan eren bombardejades amb partícules alfa. El fet que les làmines continuaren emetent positrons després de retirar la font de partícules alfa mostrava que s'havia aconseguit la radioactivitat artificial.

Coneixedor de la troballa, l'italià **Enrico Fermi**, s'encarà a la producció de radioactivitat artificial, però no pel bombardeig dels nuclis amb partícules alfa, sinó amb neutrons (una partícula de massa semblant a la del protó, però sense càrrega elèctrica, que havia descobert **James Chadwick**, el 1932). Fermi suposava que l'absència de càrrega facilitaria l'entrada del neutró en el nucli atòmic (que presenta càrrega positiva).

El grup de Roma mamprengué la irradiació sistemàtica dels elements de la taula periòdica. En el curs d'aquests experiments, descobriren que els elements formats estaven pròxims als irradiats en la taula periòdica: en el cas d'elements lleugers, la captura del neutró anava acompanyada de la transformació de l'element en un altre de nombre atòmic una o dues unitats menor, i per l'emissió d'un protó, o d'una partícula alfa; amb els nuclis més pesants la captura neutrònica solia anar acompanyada d'una desintegració beta, transformant-se l'element en el següent en la taula periòdica. Per exemple,



El desafiament arribà quan es bombardejà l'urani, l'element de major nombre atòmic conegut aleshores, i es constatà que s'originaven elements amb activitat beta. Fermi identificà almenys cinc processos de desintegració diferents. D'entre tots, aconseguí aïllar i estudiar el comportament químic d'un element de 13 minuts de vida mitjana (temps que tarden a desintegrar-se la meitat dels nuclis existents d'un element). Com que no s'assemblava a cap dels elements pròxims al U en la taula periòdica, Fermi suposà que era un element de nombre atòmic superior a 92. És a dir, un element transurànic, per tal com estava situat més enllà de l'urani.

La suposició de Fermi, però, no era unànimement compartida. Advertia la química alemanya **Ida Noddack** que, quan bombardegem nuclis pesants amb neutrons, cap la possibilitat que els nuclis es trenquen en fragments que serien isòtops d'elements coneguts, encara que allunyats en la taula periòdica dels elements irradiats. L'advertiment tingué poca repercussió ja que, des d'un punt de vista teòric, s'estimava que la probabilitat d'un neutró de fragmentar un nucli era molt xicoteta. Més gent qüestionà l'existència d'elements amb una càrrega nuclear superior a 92. Alguns suggeriren que els elements formats en el bombardeig d'urani amb neutrons no eren una altra cosa que isòtops del protoactini, l'element de nombre atòmic inferior al de l'urani.

Lise Meitner, que treballava en física nuclear, restà tan captivada pels treballs de Fermi que decidí abordar el problema dels suposats elements transurànics. A tal fi, sol·licità l'ajuda d'Otto Hahn, un excel·lent radioquímic amb qui havia treballat des de 1907 fins 1922. El 1934, tots dos treballaven en la mateixa institució, l'Institut Kaiser Guillem, a Berlín, encara que en departaments diferents, ell en el de radioquímica, ella en el de física nuclear. A la parella s'uní el jove Friedrich W. Strassmann, especialista en anàlisi química.

El seu seria un treball interdisciplinari: mentre Meitner s'encarregaria de la irradiació de l'urani i



H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La* 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92												

Terres rars	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
----------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Taula periòdica acceptada en la dècada de 1930. Si hui en dia els actínids, inclosos Th, Pa i U, constitueixen un grup que se situa baix de les terres rares, en la dècada de 1930 aquests tres elements eren classificats com a metalls de transició. Els elements posteriors a l'urani s'esperava que foren homòlegs als situats tot just dalt d'ells (el 93 tindria propietats semblants al Re, d'ací que el nom fora Eka-Re, el 94 al Os, Eka-Os, etc.)

d'estudiar la radioactivitat dels elements formats, Hahn i Strassmann es dedicarien a separar i identificar les espècies radioactives formades.

La primera tasca consistí a repetir l'experiment que havia portat Fermi a l'element de vida mitjana 23 minuts per tal de decidir si era o no protoactini. Era una faena a la mesura de Meitner i Hahn, i això pel coneixement químic que tenien del protoactini, ja que, el 1917, havien estat els descobridors d'aquest element. Prompte descartaren que l'element 23 min fóra un isòtop del protoactini, ni tampoc d'un element conegut pròxim a l'urani. Amb açò, la suposició que era un element transurànic, en concret, el Eka-Re, n'eixia reforçada.

En els quatre anys següents, el grup de Berlín constatà que els fenòmens relacionats amb la irradiació de l'urani amb neutrons eren més complicats de com havien suposat, i això per tan minúscules com eren les quantitats dels radioisòtops que es formaven (en ocasions, uns millars d'àtoms, que detectaven pel poder ionitzant de les radiacions que els acompanyaven). Com que allò que els interessava eren els elements transurànics, i s'esperava que aquests s'assemblarien als metalls de transició, Hahn i Strassmann, després de dissoldre els subproductes formats, separaven de la dissolució els elements transurànics per coprecipitació, usant com a portadors compostos de metalls de transició. L'equip de Berlín suposà que en aquest precipitat estaven l'Eka-Re, l'Eka-Os, etc.

Per la seua part, Meitner aconseguí assignar els

radioisòtops formats a tres processos diferents. En els tres casos, la captura d'un neutró pel nucli de U (ella havia determinat teòricament que es tractava de U-238, l'isòtop més abundant) originava un nucli inestable de U, a partir del qual, per decaïments de tipus beta, es formaven els successius elements. Si dues sèries radioactives eren àmplies, en la tercera sols hi havia un decaïment. Els tres esquemes de descomposició proposats per Meitner eren (entre parèntesi, la vida mitjana):

- $^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \text{ (molt lent)} \rightarrow ^{239}_{92}\text{U} * \text{ (10 s)} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + ^{239}_{93}\text{Eka} - \text{Re} \text{ (2,2 min)} \rightarrow$
 $\rightarrow {}^0_{-1}\beta + ^{239}_{94}\text{Eka} - \text{Os} \text{ (59 m)} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + ^{239}_{95}\text{Eka} - \text{Ir} \text{ (66 h)} \rightarrow$
 $\rightarrow {}^0_{-1}\beta + ^{239}_{96}\text{Eka} - \text{Pt} \text{ (2,5 h)} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + ^{239}_{97}\text{Eka} - \text{Au}?$
- $^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \text{ (molt lent)} \rightarrow ^{239}_{92}\text{U} * \text{ (40 s)} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + ^{239}_{93}\text{Eka} - \text{Re} \text{ (16 min)} \rightarrow$
 $\rightarrow {}^0_{-1}\beta + ^{239}_{94}\text{Eka} - \text{Os} \text{ (5,79 h)} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + ^{239}_{95}\text{Eka} - \text{Ir}$
- $^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \text{ (lent)} \rightarrow ^{239}_{92}\text{U} * \text{ (23 min)} \rightarrow {}^0_{-1}\beta + ^{239}_{93}\text{Eka} - \text{Re}?$

Malgrat l'ordenació aconseguida, Meitner reconeixia les dificultats teòriques per a acceptar aquestes sèries. Allò que més li'n preocupava era com podia un únic isòtop, el U-239, iniciar tres processos de desintegració diferents.

La solució no vingué del camp de la física sinó del de la química. La primera pista la proporcionà l'equip de París. El 1938, Irene Joliot-Curie i **Pavel Savitch**, que també estaven interessats en els elements transurànics, informaren que, abans de la coprecipitació, havien detectat una substància de 3,5 hores de vida mitjana que inicialment pensaren que era tori (Z=90). El fet, però, que acompanyara

al lantà en les separacions químiques els portà a suposar que seria Ac ($Z=89$). No obstant això, finalment, el catalogaren com a element transurànic.

El grup de Berlín sentí curiositat per identificar l'element de 3,5 h. En repetir, l'octubre de 1938, les experiències de París, Hahn i Strassmann notaren que un dels subproductes precipitava amb al bari. Per la proximitat al U, suposaren que es tractaria d'un isòtop del radi. Si això era així, pensaven els alemanys, l'element de vida mitjana 3,5 h no seria un transurànic sinó actini, el qual procediria de l'emissió beta del radi. Segons açò, l'urani s'havia transformat en radi per emissió de dues partícules alfa. Des d'Estocolm, on s'havia exiliat el juliol de 1938 fugint del règim nazi pel seu origen jueu, Meitner assenyalava que aquest procés era impossible. El 13 de novembre de 1938, en una reunió secreta a Copenhaguen, Meitner urgí a Hahn a revisar el procés de detecció del radi.

De tornada al laboratori, a principis de desembre de 1938, Hans i Strassmann s'adonaren de la impossibilitat de separar el radi del bari que havien usat com a portador per a separar-lo. Això només podia significar que no es formava radi, sinó bari. Amb açò resultava que l'element de 3,5 h no era actini, sinó lantà, el qual es formaria per emissió beta del bari. El 18 de desembre aconseguiren prou evidència experimental per a confirmar l'existència del bari.

L'endemà, Hans trametia una carta a Meitner, on, sense descartar que un cúmul de casualitats portara a la formació de bari, li demanava una explicació teòrica «fantàstica» (aquest era el terme que Hann utilitzà per a referir-se a un fet tan sorprenent com era l'aparició d'un element, el bari, tan allunyat de l'urani en la taula periòdica).

Mentre esperaven la resposta de Meitner, Hans i Strassmann publicaren el descobriment del bari el 6 de gener de 1939 en *Naturwiss*, encara que assenyalant dubtes sobre l'element detectat: «Com a químics hauríem de reemplaçar els símbols Ra, Ac i Th ... en el nostre esquema ... per Ba, La i Ce ... Però, com a químics nuclears, íntimament associats a la física, no podem decidir-nos a pegar un pas que contradiu tota l'experiència prèvia en física nuclear».

La carta li arribà a Meitner quan estava a Kungälv, prop de Göteborg, passant les vacances de Nadal junt al seu nebot **Otto R. Frisch**, també físic nuclear, i també exiliat forçós. Si anteriorment Meitner havia descartat de bell antuvi la formació de bari per tractar-se d'un element allunyat del U, la ratificació en la seua detecció per uns químics tan competents com Hahn i Strassmann, l'obligà a reconsiderar l'anàlisi teòrica del nucli. Ara la resposta

no fou tan taxant: «La ruptura em sembla difícil, però en la física nuclear hem experimentat tantes sorpreses que no podem afirmar incondicionalment: és impossible!».

Per primera vegada, Meitner contemplava la possibilitat que el nucli d'urani es partira en trossos. En els dies següents, ella i Frisch, utilitzaren el model del nucli com a gota líquida per a analitzar aquesta hipòtesi. S'adonaren que la clau era la interacció entre dues forces oposades: la força electrostàtica de repulsió entre els protons, i la força d'atracció entre els nucleons (l'equivalent a la tensió superficial en la gota líquida). La parella de físics constatà que les dues forces augmenten amb la



F. W. Strassmann, L. Meitner i O. Hahn.

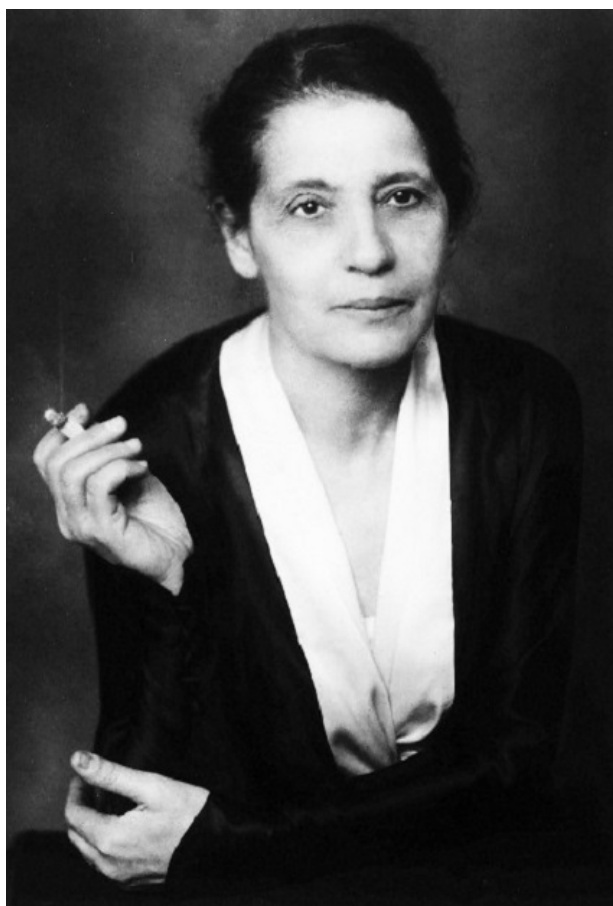
massa nuclear, encara que la repulsiva augmenta més que no l'atractiva. En el cas de l'urani, la força electrostàtica està en el límit de superar les atraccions entre els nucleons, de manera que el nucli està en una situació de tan extrema inestabilitat que l'impacte d'un neutró el pot dividir.

En favor de la fissió, Meitner i Frisch, apuntaven que la molt considerable quantitat d'energia electrostàtica dels fragments, calculada a partir del radi i la càrrega nuclear, era de l'ordre de l'energia associada a la disminució de massa que acompanyava el procés de fissió, segons l'expressió d'Einstein, $E=mc^2$.

Quan **Niels Bohr** s'assabentà, per Frisch, de la descoberta coincidí plenament amb la interpretació teòrica que havien fet tia i nebot a Kungälv i els urgí a escriure'n un article. Frisch, en contacte telefònic amb Meitner, elaborà una carta que adreçà a l'editor de *Nature*. La carta aparegué l'11 de febrer de 1939. Per primera vegada usaven el terme fissió per a referir-se al procés de divisió nuclear, un terme que els hi havia suggerit un biòleg per la semblança que presentava amb la divisió cel·lular.

Acceptada la fissió, era clar que les sèries 1 i 2 de Meitner eren el subproductes originats a partir dels dos fragments en què s'havia partit el nucli d'urani: «Sembla possible», afirmaven Hahn





Lise Meitner.



Otto R. Fritz.

i Strassman en l'article, «que el nucli d'U tinga sols una xicoteta estabilitat i que, després de la captura de neutrons, es dividisca en dos nuclis d'aproximadament la mateixa grandària ... i amb un gran alliberament d'energia ... Després de la divisió, l'elevada relació neutrons/protons del 'U tendirà a reajustar-se per la desintegració beta al valor més adequat per a elements més lleugers. Probablement, cada part donarà lloc a una cadena de desintegracions. Si una de les parts és un isòtop del Ba ($Z=56$), l'altra serà del Kr ($Z=92-56$)...», que posteriorment es descompondran segons les cadenes Ba-La-Ce-Pr i Kr-Rb-Sr-Y-Zr. Sols la sèrie número 3 conduïa a l'element 93.

Quan Hahn i Strassmann conegueren la carta de Meitner i Frisch intentaren detectar la presència del Kr i la resta d'elements entre els productes de desintegració. La confirmació de la seua presència suposà l'acceptació de la fissió.

Aribats ací, ens podem preguntar per què Hahn i Strassmann tardaren quatre anys a detectar el bari? La resposta està en l'etapa en què separaven els suposats transurànics per coprecipitació. El precipitat, que contenia els elements semblants als metalls de transició, els suposats transurànics, era allò que els interessava. Els elements que no eren de transició, el bari entre ells, quedaven en la dissolució, però com que no els interessaven, eren ignorats.

El setembre de 1939, Bohr i **John A. Wheeler**, a partir de les idees inicials de Meitner i Frisch, elaboraren una justificació teòrica més completa del mecanisme de fissió.

Otto Hahn fou guardonat amb el premi Nobel de química de 1944 pel descobriment de la fissió dels nuclis pesants, però no així Meitner ni Strassmann.

El 1938, més de 40 anys després del descobriment de la radioactivitat ningú no pensava que l'energia nuclear tinguera cap aplicació pràctica. Sense anar més lluny, el 1933, **Ernst Rutherford** afirmava: «una justa paraula d'advertiment als qui busquen fonts de poder en les transmutacions atòmiques: això són meres il·lusions». La situació canvià amb el descobriment de la fissió.

El 1945, amb els bombardejos de Hiroshima i de Nagasaki es mostrava el poder de l'energia nuclear. Uns dies després, en una reunió que tingué amb **Eleanor Roosevelt**, en aquell moment, la primera dama dels EUA, Meitner li manifestà: «Les dones tenen una gran responsabilitat i estan obligades a intentar, dins de les nostres possibilitats, evitar una altra guerra. Espere que la construcció de la bomba atòmica no només ajude a acabar aquesta terrible guerra, sinó que també puguem utilitzar aquesta gran energia que s'ha alliberat per al treball pacífic».

