

## EFEMÉRIDES

## 75º ANIVERSARIO DEL DESCUBRIMIENTO DE LA FISIÓN NUCLEAR

## INTRODUCCIÓN

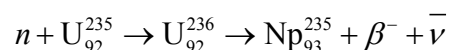
Desde el descubrimiento de la Radiactividad Natural por H. BECQUEREL en 1896, durante las primeras décadas del siglo XX se fueron sucediendo numerosos hallazgos relacionados con la radiactividad y la estructura nuclear. Pero en ningún momento la Física Nuclear que se estaba desarrollando en esa etapa podía predecir la fisión nuclear, ni muchos menos las aplicaciones que tuvo posteriormente.

En 1934 E. FERMI comenzó a experimentar con reacciones nucleares de núcleos pesados, entre las que bombardeaba uranio ( $Z = 92$ ) con neutrones con la



Figura 1: Lisa Meitner y Otto Hahn en su laboratorio del Instituto de Química Kaiser Wilhelm de Berlín en 1913.

esperanza de que se produjera una reacción de captura neutrónica y así obtener átomos del elemento más allá del uranio en la tabla periódica, con  $Z = 93$ , el neptunio que no había sido aún detectado. La reacción que el buscaba era la siguiente:



En esa reacción, el neutrón sería capturado por el  $\text{U}^{235}$  transformándose en  $\text{U}^{236}$  que es inestable y que mediante emisión beta<sup>1</sup> se transformaría en  $\text{Np}^{235}$ . Fermi había realizado reacciones parecidas con otras especies nucleares y había observado que los núcleos de elementos pesados eran proclives a capturar neutrones y transformarse, mediante una emisión beta posterior, en el siguiente elemento de la tabla periódica. Por eso en el caso del elemento más pesado, el uranio, supuso que el comportamiento sería similar y que por lo tanto había sintetizado elementos más pesados que el uranio. El razonamiento parecía lógico, teniendo en cuenta además que Fermi y sus colaboradores en su laboratorio de Roma, encontraron que al menos cinco emisores beta con distintos periodos de semidesintegración se producían en la desintegración, después de haber irradiado al uranio con neutrones. Pero Fermi no logró demostrar categóricamente la presencia de átomos del elemento 93. De hecho, su suposición levantó grandes polémicas en Alemania, donde varios investigadores asignaban la actividad detectada por Fermi al elemento 91, el protactinio.

## EL DESCUBRIMIENTO DE LA FISIÓN NUCLEAR

Los experimentos de Fermi llamaron la atención a OTTO HAHN y a LISE MEITNER, que eran investigadores del Instituto Kaiser Wilhelm de Química en Berlín. O. Hahn era químico y dirigía la Sección de Radioquímica del Instituto, mientras que L. Meitner era una física austriaca que a su vez dirigía la Sección de Física del mismo Instituto. Llevaban varios años colaborando, y fruto de esa colaboración entre otros resultados fue el descubrimiento en 1918 del protactinio. La posible

<sup>1</sup> Se comprobó posteriormente que esa desintegración no era posible, ya que el  $\text{U}^{236}$  es emisor alfa y no beta.

relación de los experimentos de Fermi con el protactinio fue un desafío para ellos, ya que al ser sus descubridores conocían bastante bien sus propiedades, esto junto a que Meitner había ido comprobando, uno a uno, los resultados previos del grupo de Fermi, y que para poder analizar los nuevos elementos transuránidos, si de eso se trataba, se necesitaba la ayuda de un radioquímico experto como era Hahn, les llevó a intentar comprobar qué elemento químico se formaba en la reacción propuesta por Fermi. Al grupo de investigación se incorporó también un joven químico analítico del Instituto, FRITZ STRASSMANN.

Desde 1934 hasta 1938 realizaron numerosos experimentos con la idea de explicar la reacción realizada por Fermi. Su idea era centrarse en los elementos transuránidos y la primera explicación que dieron a finales de 1934 era que los emisores beta obtenidos no se correspondía con ningún elemento conocido.

Durante los dos años siguientes, y después de mucho esfuerzo para poder separar químicamente los productos de la reacción, concluyeron que existían dos cadenas de desintegración paralelas, a las que denominaron procesos 1 y 2, pero seguían pensando que se trataba de transuránidos.

Los inconvenientes para dar una explicación correcta eran de índole tanto física como química. En Física, hasta el momento, se había comprobado que las reacciones nucleares producían siempre pequeños cambios, por lo que era impensable un fenómeno como la fisión, y en Química se suponía que los elementos transuránidos no eran diferentes a los elementos de transición por lo que tendrían similar comportamiento.

El primer paso era separar los productos de la reacción, lo que era una cuestión de Química. Una manera de abordar el problema consistía en añadir al sistema algún elemento estable que fuera químicamente similar a las minúsculas trazas de isótopos radiactivos que se estaban produciendo después del bombardeo del uranio. Posteriormente, se podría separar de la mezcla el elemento estable, transportando consigo (o al menos eso era lo que se esperaba) la traza de radiactividad, así el elemento estable sería un portador.

Uno de los portadores que añadieron al sistema era el elemento bario, con  $Z=56$ , y comprobaron que se llevaba una parte considerable de la radiactividad, concluyendo que uno de los isótopos que producía la emisión era un elemento químico con propiedades similares al bario, las

sospechas recayeron en el radio, con  $Z=88$ , que tenía unas propiedades químicas muy parecidas al bario.

Aunque el presunto radio, el que supuestamente tenía la radiactividad, tenía unas propiedades químicas muy parecidas a las del bario, no son del todo idénticos, por lo que se podían separar químicamente, algo que Hahn junto con Strassman intentaron hacer repetidas veces para aislar los isótopos radiactivos, concentrarlos y estudiarlos con detalle. Pero fracasaron repetidamente en su empeño, no podían separar el bario de lo que suponían que era radio. Con el tiempo Hahn veía cada vez más claramente que si no se podían separar es porque no había radio, y los isótopos que producían la radiactividad eran tan parecidos al bario que eran exactamente bario.

Mientras que se estaban produciendo estos últimos descubrimientos, la vida de Lise Meitner había sufrido un duro revés. Lise era judía y, después de que Hitler ocupara Austria pasando los ciudadanos austriacos a formar parte del imperio alemán, había perdido la protección que le proporcionaba su ciudadanía austriaca y tuvo que huir a Suecia. Allí comenzó a trabajar en el Instituto de Física de la Academia de Ciencias de Estocolmo y, pese a la distancia, se mantenía al corriente por carta de los últimos avances de Hahn.

En enero de 1939, los hallazgos sobre el bario de Hahn y Strassmann aparecieron publicados en "Naturwissenschaften",<sup>2</sup> en donde se revelaba cuáles eran realmente los productos de la reacción pero no se daba una explicación de la física del proceso.

## EXPLICACIÓN TEÓRICA DE LA FISIÓN NUCLEAR

Pero fue realmente Lise Meitner quien, junto con su sobrino OTTO R. FRISCH, logra dar una explicación teórica correcta de lo sucedido, que se publica también a comienzos del año 1939 en "Nature",<sup>3</sup> pocas semanas después del artículo de Hahn y Strassmann. Lise, cuando recibió los resultados definitivos de Hahn, llegó a la conclusión de que por muy difícil que fuera de explicar con la Física Nuclear que se conocía entonces, sólo podía haber una explicación y ésa era que el núcleo de uranio se había "partido", escindido (fisionado<sup>4</sup>) en dos isótopos diferentes, uno de ellos el bario separado por Hahn y

<sup>2</sup> *Naturwissenschaften*, 27, 11 (enero de 1939).

<sup>3</sup> *Nature*, 143, 239 (11 de febrero de 1939).

<sup>4</sup> El término fisión (fission) fue introducido por Meitner en su artículo y aceptado por la comunidad científica como el nombre del nuevo tipo de reacción nuclear.

## Letters to the Editor

*The Editor does not hold himself responsible for opinions expressed by his correspondents. He cannot undertake to return, or to correspond with the writers of, rejected manuscripts intended for this or any other part of NATURE. No notice is taken of anonymous communications.*

NOTES ON POINTS IN SOME OF THIS WEEK'S LETTERS APPEAR ON P. 247.

CORRESPONDENTS ARE INVITED TO ATTACH SIMILAR SUMMARIES TO THEIR COMMUNICATIONS.

**Disintegration of Uranium by Neutrons: a New Type of Nuclear Reaction**

ON bombarding uranium with neutrons, Fermi and collaborators<sup>1</sup> found that at least four radioactive substances were produced, to two of which atomic numbers larger than 92 were ascribed. Further investigations<sup>2</sup> demonstrated the existence of at least nine radioactive periods, six of which were assigned to elements beyond uranium, and nuclear isomerism had to be assumed in order to account for their chemical behaviour together with their genetic relations.

In making chemical assignments, it was always assumed that these radioactive bodies had atomic numbers near that of the element bombarded, since only particles with one or two charges were known to be emitted from nuclei. A body, for example, with similar properties to those of osmium was assumed to be eka-osmium ( $Z = 94$ ) rather than osmium ( $Z = 76$ ) or ruthenium ( $Z = 44$ ).

Following up an observation of Curie and Savitch<sup>3</sup>, Hahn and Strassmann<sup>4</sup> found that a group of at least three radioactive bodies, formed from uranium under neutron bombardment, were chemically similar to barium and, therefore, presumably isotopic with radium. Further investigation<sup>5</sup>, however, showed that it was impossible to separate these bodies from barium (although mesothorium, an isotope of radium, was readily separated in the same experiment), so that Hahn and Strassmann were forced to conclude that *isotopes of barium ( $Z = 56$ ) are formed as a consequence of the bombardment of uranium ( $Z = 92$ ) with neutrons.*

At first sight, this result seems very hard to understand. The formation of elements much below uranium has been considered before, but was always rejected for physical reasons, so long as the chemical evidence was not entirely clear cut. The emission, within a short time, of a large number of charged particles may be regarded as excluded by the small penetrability of the 'Coulomb barrier', indicated by Gamov's theory of alpha decay.

On the basis, however, of present ideas about the behaviour of heavy nuclei<sup>6</sup>, an entirely different and essentially classical picture of these new disintegration processes suggests itself. On account of their close packing and strong energy exchange, the particles in a heavy nucleus would be expected to move in a collective way which has some resemblance to the movement of a liquid drop. If the movement is made sufficiently violent by adding energy, such a drop may divide itself into two smaller drops.

In the discussion of the energies involved in the deformation of nuclei, the concept of surface tension of nuclear matter has been used<sup>7</sup> and its value has been estimated from simple considerations regarding nuclear forces. It must be remembered, however,

that the surface tension of a charged droplet is diminished by its charge, and a rough estimate shows that the surface tension of nuclei, decreasing with increasing nuclear charge, may become zero for atomic numbers of the order of 100.

It seems therefore possible that the uranium nucleus has only small stability of form, and may, after neutron capture, divide itself into two nuclei of roughly equal size (the precise ratio of sizes depending on finer structural features and perhaps partly on chance). These two nuclei will repel each other and should gain a total kinetic energy of c. 200 Mev., as calculated from nuclear radius and charge. This amount of energy may actually be expected to be available from the difference in packing fraction between uranium and the elements in the middle of the periodic system. The whole 'fission' process can thus be described in an essentially classical way, without having to consider quantum-mechanical 'tunnel effects', which would actually be extremely small, on account of the large masses involved.

After division, the high neutron/proton ratio of uranium will tend to readjust itself by beta decay to the lower value suitable for lighter elements. Probably each part will thus give rise to a chain of disintegrations. If one of the parts is an isotope of barium<sup>8</sup>, the other will be krypton ( $Z = 92 - 56$ ), which might decay through rubidium, strontium and yttrium to zirconium. Perhaps one or two of the supposed barium-lanthanum-cerium chains are then actually strontium-yttrium-zirconium chains.

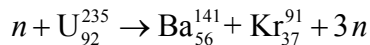
It is possible<sup>9</sup>, and seems to us rather probable, that the periods which have been ascribed to elements beyond uranium are also due to light elements. From the chemical evidence, the two short periods (10 sec. and 40 sec.) so far ascribed to <sup>235</sup>U might be masurium isotopes ( $Z = 43$ ) decaying through ruthenium, rhodium, palladium and silver into cadmium.

In all these cases it might not be necessary to assume nuclear isomerism; but the different radioactive periods belonging to the same chemical element may then be attributed to different isotopes of this element, since varying proportions of neutrons may be given to the two parts of the uranium nucleus.

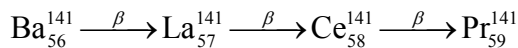
By bombarding thorium with neutrons, activities are obtained which have been ascribed to radium and actinium isotopes<sup>8</sup>. Some of these periods are approximately equal to periods of barium and lanthanum isotopes<sup>5</sup> resulting from the bombardment of uranium. We should therefore like to suggest that these periods are due to a 'fission' of thorium which is like that of uranium and results partly in the same products. Of course, it would be especially interesting if one could obtain one of these products from a light element, for example, by means of neutron capture.

Figura 2: Primera página de la carta al Editor publicada en Nature, donde Meitner junto Frisch dan la explicación teórica de la fisión nuclear.

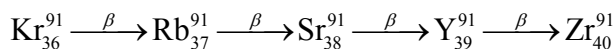
el otro, dedujo por conservación del número atómico, debía ser el kriptón. La reacción que se producía, en la que también se emitían 3 neutrones,<sup>5</sup> era entonces:



Tanto el Ba<sup>141</sup> como el Kr<sup>91</sup> son emisores beta y generan cadenas de desintegración, de ahí la actividad beta detectada después de la reacción nuclear. Las cadenas de desintegración generadas son:



y



La explicación planteada por Meitner consideraba que el núcleo de uranio no era muy estable y, tras la perturbación que se producía con la captura neutrónica, tendía a romperse en 2 núcleos de aproximadamente igual tamaño para alcanzar un estado de mayor estabilidad.

En septiembre de 1939, NIELS BOHR junto JOHN ARCHIBALD WHEELER elaboran una justificación completa del mecanismo de fisión basándose en el modelo nuclear de la gota líquida, partiendo de la descripción de Meitner y Frisch. Sus conclusiones se publicaron en el Physical Review.<sup>6</sup> En su trabajo hacían la analogía del proceso con la división de una gota de fluido esférica en dos gotas más pequeñas, como resultado de la deformación causada por una perturbación externa que, en este caso, sería la captura del neutrón. En la división del núcleo se liberaría una gran cantidad de energía; esta

<sup>5</sup>Estos neutrones son los que posteriormente podrían inducir reacciones en cadena.

<sup>6</sup>Physical Review, 56, 426. Septiembre de 1939.

propiedad es la que se utilizó posteriormente tanto en usos militares como para obtención de energía.

## PREMIO NOBEL POR EL DESCUBRIMIENTO

En 1944 el Premio Nobel de Química fue concedido a Otto Hahn en solitario por el descubrimiento de la fisión nuclear. Las razones que llevaron al jurado de los Nobel a ignorar la participación de Strassmann y, sobre todo, la de Meitner en el descubrimiento y posterior explicación de la fisión nuclear siguen sin estar claras. En el caso de Strassmann podía deberse a su juventud, y es que el jurado de los Nobel tiende a favorecer a investigadores experimentados. Pero la exclusión de Lise Meitner del galardón es sin lugar a dudas una gran injusticia, bien propiciada por su condición de mujer o de judía. Otto Hahn en ningún momento manifestó su desacuerdo con el agravio que se había cometido con la que había sido su colaboradora durante tantos años y de hecho lo justificaba aduciendo que el descubrimiento se había basado únicamente en experimentos químicos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. *Lise Meitner y el descubrimiento de la Fisión Nuclear*. Investigación y Ciencia, nº 258 (marzo, 1998).
2. *La Historia de la Energía Nuclear*, de Isaac Asimov. Alianza Editorial, (1985).
3. *The discovery of nuclear fission 50 years ago, a few remark*. J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 152, 5 (1990).

Amalia Williard Torres  
Dpto. de Física de los Materiales