

Imagen tomada y modificada de: http://www.geo.arizona.edu/xtal/nats101/7_3.jpg

Los fenómenos radiactivos y el descubrimiento del núcleo atómico:

El experimento de la hoja de oro

Carlos Velázquez

Luces y colores

Del fin del siglo XIX al inicio del siglo XX hubo una época de espectaculares hallazgos en la física. El descubrimiento de nuevos fenómenos se daba por todas partes y estaban a punto de proponerse las nuevas teorías de la mecánica cuántica y la relatividad. A pesar de esto, pocos parecían darse cuenta de que se estaban tambaleando los cimientos

mismos de esta ciencia y por el contrario todos creían que la física era completamente estable y sólo estaban apareciendo algunas novedades exóticas.

Quizá la más celebrada de estas novedades fue el descubrimiento de la radiactividad, y es que su misma historia invitaba a quedarse sorprendido: primero fue el descubrimiento de nuevos rayos invisibles, los rayos X, generados en un tubo al vacío por Röntgen; luego Henri Becquerel, un físico francés, demostró que el uranio producía un nuevo tipo de rayos invisibles y finalmente los esposos Curie agregaron un par de elementos más a la lista (ver "Hacia la Regla de Oro: química y radiactividad" aquí en Cienciorama). La vistosidad de los fenómenos radiactivos era mucha, ya que agregando un par de compuestos químicos a los nuevos elementos radiactivos se podían ver fenómenos luminosos de fluorescencia que mantenían cuartos llenos de color; de hecho la radiactividad del elemento radio es tanta que hace brillar el aire a su alrededor. Más adelante estas luces mostrarían sus terribles poderes. Sin embargo, después del entusiasmo inicial, todavía quedaba mucho camino por recorrer y también, como lo mostró la experiencia, sorpresas aún mayores por descubrir.

Alfa, beta, gama...

El siguiente paso en la dirección de la recién descubierta radiactividad y de la aún innombrada física nuclear lo dio Ernest Rutherford. Él era un ciudadano británico nacido en Nueva Zelanda en 1871 en ese tiempo Nueva Zelanda era colonia británica (para saber un poco más de Nueva Zelanda e Inglaterra te recomiendo la película *River Queen*). Rutherford

logró obtener una beca para estudiar en la Universidad de Nueva Zelanda, donde se unió a grupos de debate y equipos de rugby. En 1895 fue premiado por su notable desempeño académico y se le concedió la oportunidad de continuar sus estudios en Inglaterra, donde estuvo bajo la dirección de J. J. Thomson.

Una vez que Rutherford llegó a Inglaterra y se encontró bajo la dirección de Thomson, comenzó uno de los mejores capítulos en la historia de la física nuclear. De inmediato se dieron cuenta de que ambos tenían el interés común de comprender profundamente la naturaleza a través de la física, e inmediatamente emprendieron una investigación acerca de los efectos de los rayos X sobre los gases. Después de observar varios efectos completamente nuevos, propusieron la existencia dentro de los átomos de una pequeña partícula cargada, que más tarde sería conocida como electrón, y demostraron su hipótesis utilizando un tubo de rayos catódicos especialmente adaptado.

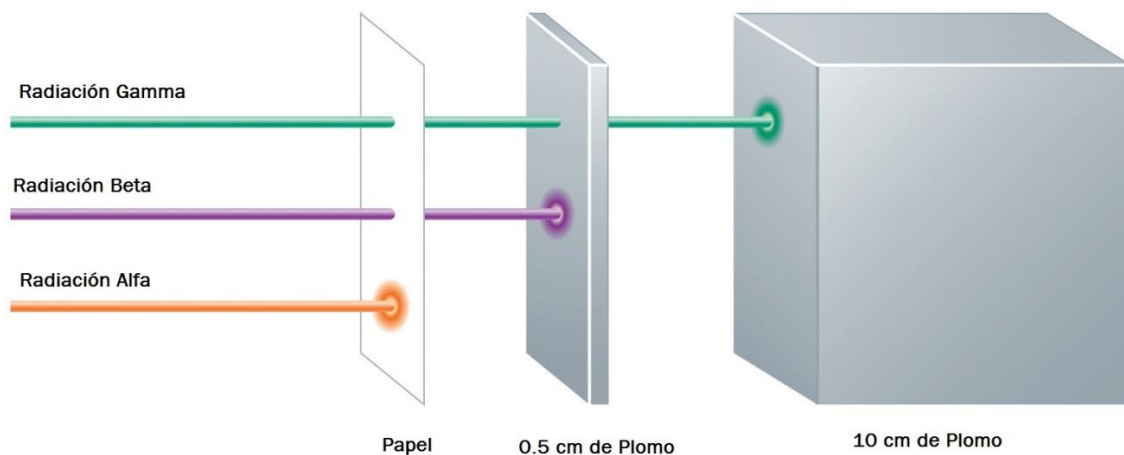
Después de escuchar acerca del descubrimiento de Becquerel, Rutherford decidió profundizar y explorar la radiactividad. Se dio cuenta de que las emisiones provenientes del uranio eran al menos de dos tipos, y que se diferenciaban entre sí por su poder de penetración y por la carga eléctrica que portaban: a la que era frenada más fácilmente por la materia y mostraba un signo positivo la llamó radiación alfa y a la que era capaz de atravesar obstáculos más grandes y tenía un signo negativo la llamó radiación beta. Rutherford supo que estas formas de radiación tenían carga eléctrica porque tenían la curiosa propiedad de cambiar su ruta cuando se hallaban en presencia de un campo magnético.

Tiempo después Rutherford supo de un tercer tipo de radiación que en 1900 Paul Villard, un físico francés, había observado en los elementos radiactivos obtenidos por los Curie. Esta radiación, a diferencia de la radiación alfa y beta de Rutherford, no se desviaba en presencia de campos magnéticos, no tenía carga eléctrica. Rutherford la llamó radiación gamma y es el nombre con el que se conoce hasta hoy en día.

Las radiaciones alfa, beta y gamma resultaron ser las llaves que abrirían las puertas del siguiente nivel del conocimiento nuclear.

¿Qué rayos de partículas?

¿Alfa, beta, gamma? En tiempos de Rutherford no era posible conocer la naturaleza exacta de las radiaciones que estaba nombrando, pero actualmente sabemos a qué se refiere cada una.



La radiación alfa, beta y gamma se diferencian por su poder de penetración en la materia: aunque los rayos alfa son muy energéticos, son frenados por una hoja de papel. Por otra parte, la radiación beta puede atravesar obstáculos mayores, de modo que se necesita un obstáculo de plomo con un grosor de 0.5 cm para detenerla, mientras que

para detener a la radiación gamma se necesita un sólido de plomo de 10 cm de grosor.

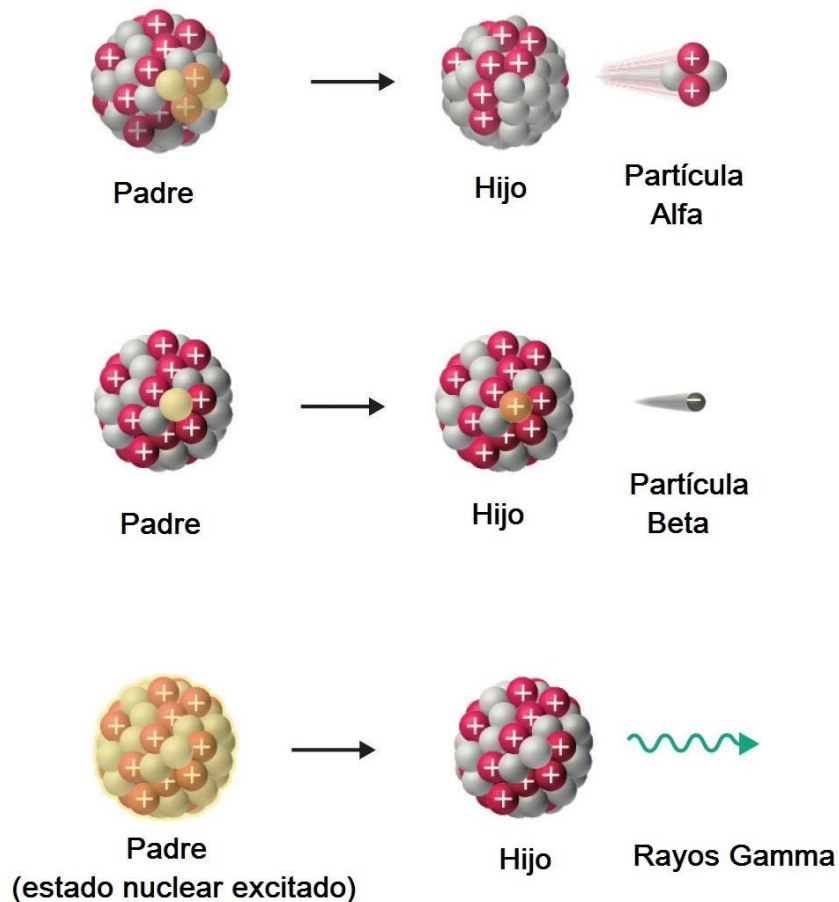
Imagen tomada y modificada de:

http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/section_05/7a1af062781f215fc2bc5b90ccd6535d.jpg

Podemos explicar la radiación alfa de la siguiente manera: los núcleos atómicos son conjuntos de protones y neutrones; a veces, un par de protones pegados a un par de neutrones salen expulsados del núcleo con una gran energía, a esta combinación de dos protones con dos neutrones se le llama partícula alfa, y cuando tenemos un gran conjunto de estas partículas saliendo de una muestra material decimos que tenemos radiación alfa. Esta combinación de un par de protones junto a un par de neutrones también es un núcleo de helio. Los núcleos de helio son partículas sumamente pesadas --un protón pesa unas 1836 veces más que un electrón, mientras que un neutrón pesa 1838 veces más que un electrón--, sin embargo, una vez que se producen las partículas alfa interactúan rápidamente con los átomos de otros elementos a su alrededor creando nuevos núcleos o robándoles sus electrones para convertirse en átomos de helio, ésta es la razón de que no sean tan penetrantes.

En el caso de la radiación beta, la forma en que se desviaba en presencia de un campo magnético implicaba que ésta estaba formada por partículas cargadas negativamente, y más tarde se pudo comprobar que eran las mismas partículas que Rutherford y Thomson habían descubierto antes --los electrones-- pero con la diferencia de que los electrones de la

radiación beta estaban acelerados a velocidades muy altas (que pueden ir de un 10% a poco más de un 95% de la velocidad de la luz).



Los tres tipos principales de radiación originada en materiales radiactivos. En la radiación alfa tenemos la emisión de un núcleo de helio, en el caso de la radiación beta la emisión de un electrón muy energético y en el caso de la radiación gamma la emisión de un fotón. Sólo uno de estos tres procesos se da en un núcleo radiactivo dado, pero los núcleos hijos pueden tener otro tipo de emisiones, y es por esto que solemos encontrar los tres tipos de radiación combinados. Imagen tomada y modificada de:

<http://chemwiki.ucdavis.edu/@api/deki/files/16108/20.4.jpg>

Por último, la radiación gamma resulta ser simplemente radiación electromagnética, o sea es un tipo particular de luz, pero muy muy ¡muy! energética (para saber más sobre los fotones ver "[La luz ¿onda o partícula?](#)" en *Cienciorama*). Desde la época de Rutherford, estos tres tipos de radiación han sido los ingredientes y herramientas básicas de la investigación en física nuclear.

La habilidad experimental de Rutherford le permitió descubrir también el decaimiento radiactivo, o sea el hecho de que la cantidad de radiación observada en estas sustancias disminuye con el tiempo de acuerdo a reglas fijas, y también demostró que la radiación alfa está conformada por núcleos de helio.

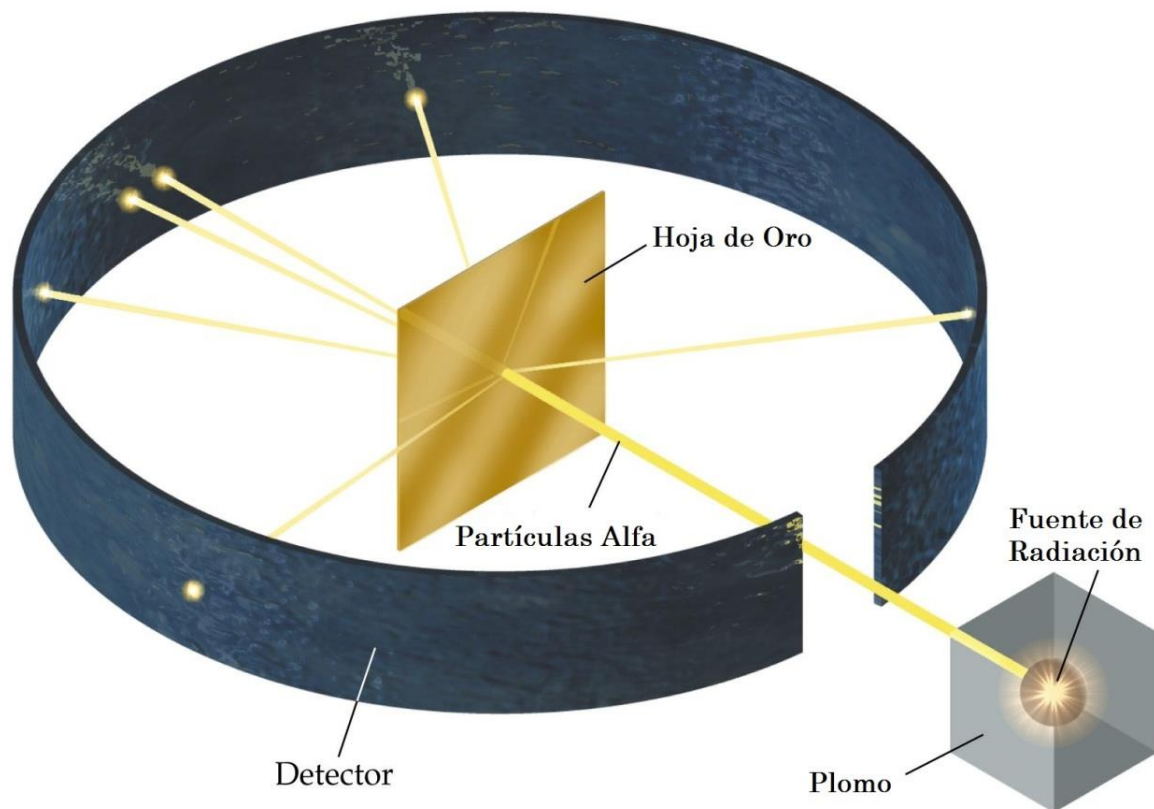
Esta serie de descubrimientos lo llevaron a ganar el premio Nobel en 1908, pero curiosamente su más memorable logro lo hizo después de ganar este galardón. Aunque también es cierto que Rutherford siempre se sintió descontento ya que le fue otorgado el premio Nobel en química y no en física, como él hubiera querido.

El núcleo de la cuestión: la hoja de oro

Una vez descubierta la existencia de los electrones, Thomson propuso uno de los primeros modelos atómicos: el modelo del pudín de pasas. Este modelo suponía que la carga negativa estaba concentrada en los dichosos electrones (las pasas del pudín), mientras que la carga positiva debía estar repartida por todo el espacio que ocupaba el átomo. Hasta ese momento no había ninguna razón para aceptar o rechazar de manera tajante este modelo. De hecho en esa época ya se tenía una idea de cuáles debían

ser las dimensiones atómicas, y el modelo explicaba de manera burda la neutralidad eléctrica del átomo.

En 1909, Hans Geiger y Ernst Marsden, un par de físicos, el primero alemán y el segundo británico, decidieron hacer un experimento en colaboración con Rutherford para tratar de discernir si el modelo de Thomson era correcto.



Experimento de la hoja de oro. Se hacen colisionar partículas alfa con una hoja delgada de oro a partir de una fuente radiactiva. Las partículas alfa chocan con los átomos de la hoja de oro de una manera que sólo es explicable si se supone la existencia de un núcleo atómico que concentre la mayor parte de la materia del átomo. Imagen tomada y modificada de:

http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/476/488316/Instructor_Resources/Chapter_04/FG04_04.JPG

Este experimento consistía en poner una fuente de radiación alfa dirigida directamente hacia una hoja delgada de oro (en realidad, el hecho de que el material utilizado fuera oro no es crucial para el experimento, pero el oro tiene la ventaja de que tiene poca oxidación, de modo que no incorpora otros átomos; por otra parte, la caja de plomo que se ve en la ilustración sirve para hacer que la radiación salga en una sola dirección). Si la teoría de Thomson era cierta, lo que cabía esperar era que la mayor parte de las partículas alfa atravesarían la hoja y sólo se verían ligeramente afectadas sus trayectorias, de modo que lo que se observaría sería a las partículas alfa atravesando la susodicha hoja de oro, y el haz de partículas se haría más ancho, como si pasáramos la luz de una lámpara por un vidrio un poco corrugado.

Sin embargo, siguiendo su intuición, Rutherford les pidió a Geiger y Madsen que estuvieran muy atentos y reportaran si había partículas alfa que siguieran trayectorias inesperadas. Las sospechas de Rutherford se vieron confirmadas, ya que una pequeña cantidad de partículas alfa se desviaron como si se hubieran estrellado contra algo muy masivo, y de hecho algunas parecían chocar tan violentamente contra la hoja que cambiaban por completo su trayectoria y regresaban hacia atrás.



Modelo de Thomson comparado con el modelo de Rutherford del átomo. En el caso del modelo de Thomson las partículas alfa solamente se ven verían frenadas sin cambiar apreciablemente su trayectoria. En el caso del experimento de Rutherford, los núcleos

atómicos cambian por completo la trayectoria de unas pocas partículas alfa. Imagen tomada y modificada de: <http://myweb.usf.edu/~mhigh/goldfoilatoms.png>

Aunque Rutherford no estaba muy de acuerdo con el modelo de Thomson, el hecho de que existieran estas desviaciones y rebotes de partículas alfa resultó completamente sorprendente. Después de recolectar una cantidad suficiente de datos experimentales, Rutherford notó un patrón y empezó a preguntarse qué es lo que podría dar como resultado una dispersión tan particular de las partículas alfa.

El gran problema que surgía con los resultados del experimento era que si la carga positiva estaba repartida más o menos uniformemente en el espacio, como decía Thomson, el campo eléctrico repulsivo que experimentarían las partículas alfa proveniente de esta carga positiva del átomo no sería suficientemente intenso para lograr un efecto de rebote, ya que si la carga eléctrica está repartida en un gran espacio la intensidad del campo eléctrico disminuye. En su momento los resultados tuvieron tan desconcertado a Rutherford, que años más tarde diría: "Realmente era el evento más increíble que me había sucedido en la vida. Era casi tan increíble como si ustedes dispararan una bala de cañón a un pedazo de papel delgado y la bala rebotara".

Finalmente, para resolver todo el misterio, Rutherford decidió plantearlo de la siguiente manera: primero, para maximizar el efecto de repulsión, supuso que éste se debía a que toda la carga positiva --que repele a las partículas alfa-- estaba en una esfera y que la influencia de los electrones, de alguna manera no contaba; en términos del modelo de Thomson, le quitó las pasitas al pudín. También para maximizar este efecto supuso que la mayor parte de la masa se encontraba en esta esfera

positiva. Por último, modeló la desviación de una partícula al pasar por la vecindad de esta esfera y calculó los efectos que sufriría a medida que se variaba el radio de esta esfera positiva. Para sorpresa de Rutherford, mientras más pequeño era el radio de su esfera sus predicciones se acercaban más y más a los datos experimentales, y de hecho ¡predecían los resultados de manera perfecta en el límite cuando el radio tendía a cero!

Rutherford reconoció al momento lo que esto quería decir: toda la masa --o casi toda-- junto con toda la carga positiva se encuentran concentradas en una región diminuta del átomo --comparado con sus dimensiones totales--, mientras que los electrones se encontraban alejados de esta región, llenando todo el demás espacio del átomo. Rutherford había descubierto el núcleo atómico.

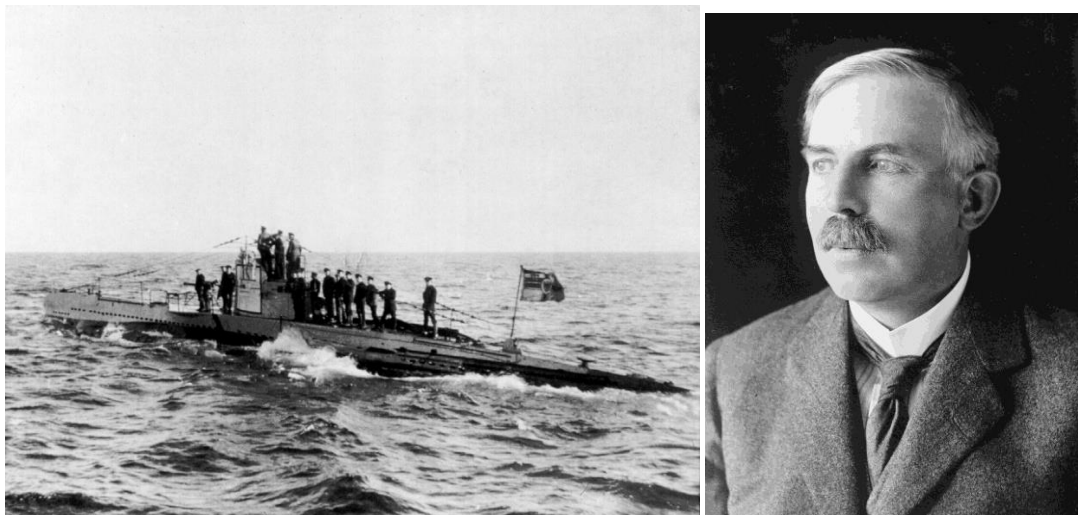
Rutherford refinó aún más su idea y propuso un nuevo modelo en el que los electrones se encontraban orbitando en los alrededores del núcleo, de una manera análoga a como los planetas orbitan alrededor del Sol. Este modelo llegó a ser conocido como el modelo solar ¿planetario? del átomo. Aunque hoy sabemos que esta imagen no es tan correcta, significó un gran paso adelante en la comprensión de la estructura atómica.

Caballero nuclear

El descubrimiento del núcleo atómico fue el inicio formal de la física nuclear y con ello comenzó la época que hoy vivimos, y que ha tenido sus episodios más dramáticos en las detonaciones de las bombas nucleares.

Rutherford, sin embargo, no llegó a ver el inicio de la carrera atómica, aunque siguió contribuyendo de manera espectacular al campo de la física nuclear. En todo caso, colaboró de manera secreta en el esfuerzo bélico de Inglaterra durante la primera guerra mundial para resolver los problemas de detección submarina mediante sonar, lo cual nos recuerda que en la ciencia siempre se tendrá que resolver la delicada cuestión de servir o no a la tecnología de la destrucción.

Después de las sorprendentes teorías y los experimentos en los que participó Rutherford, las perspectivas de investigación en el ámbito de la física nuclear se abrieron más que nunca, y esto dio oportunidad a que aparecieran otros físicos que lograrían encontrar algunas de las llaves mejor disimuladas dentro de este apasionante juego de escondidillas.



Rutherford participó en el esfuerzo bélico de Inglaterra durante la primera guerra mundial resolviendo problemas de detección submarina.

Imágenes tomadas de:

<http://www.uprm.edu/library/media/diapositivas/56.jpg>

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Ernest_Rutherford_LOC.jpg

Por ahora ha sido todo, como vemos la física nuclear, aunque íntimamente relacionada con la mecánica cuántica y la relatividad tuvo un comienzo independiente, y gran parte de sus logros más aclamados se dieron sin tomar en cuenta las nuevas teorías, pero una vez que se conjuntaron para explicar unificadamente los fenómenos naturales alcanzaron alturas insospechadas. Yo por mi parte me despido y les recuerdo que hay un montón de llaves regadas por todo nuestro mundo-universo que nos pueden llevar a descubrimientos increíbles, y las reglas para encontrarlas es que mantengan los ojos bien abiertos y hagan un montón de preguntas impertinentes, hasta la próxima.

Bibliografía:

- Milorad Mladjenovic, "The history of early nuclear physics (1896-1931)", *World Scientific*, Singapur, 1992.
- Alex Keller, *The infancy of atomic physics: Hercules in his cradle*, Clarendon Press, Oxford, 1983.
- Luis Justo, prólogo de Miguel Boyer Salvador, *Los cazadores de partículas: La fascinante historia de la búsqueda y descubrimientos de los fundamentos y últimos componentes de la materia*, Gedisa, Barcelona, 1988