

Llegando a los confines de la materia

Coming to the ends of matter

Allan Chen
Science & Technology Review
Lawrence Livermore National Laboratory (EEUU)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8324>

El número 118 es mayor que 117, pero la búsqueda del superpesado elemento 117, puede haber necesitado más inteligencia y esfuerzo de la comunidad científica que la del 118. Encontrar estos u otros elementos superpesados de la tabla periódica – los que tienen número atómico (Z) mayor de 104 – es objeto de una estrecha cooperación científica internacional, creatividad experimental y análisis novedoso y exacto. La síntesis e investigación de estos elementos aumenta el conocimiento de los científicos sobre el comportamiento químico y físico de la materia.

Seis instituciones de investigación rusas y americanas, incluyendo el *Laboratorio Nacional Lawrence Livermore* y el *Instituto Unido para la Investigación Nuclear de Rusia* (JINR), situado en Dubna, han colaborado en el descubrimiento del elemento 117. El artículo que anunció su detección fue publicado en abril de 2010, mientras que la evidencia del más pesado 118 se había obtenido cuatro años antes como resultado del trabajo hecho por el LLNL y el JINR, en parte porque el isótopo objetivo utilizado para generar el 118 tiene más larga vida y es más fácil de obtener.

Los elementos superpesados tienen vidas medias (tiempo requerido por una cantidad del elemento en decaer a la mitad, a menudo medido en segundos o milisegundos) muy cortas. La síntesis de estos elementos requiere haces acelerados de iones ricos en neutrones impactando contra un objetivo recubierto con un elemento de alto Z. De todas las colisiones producidas, unas pocas – menos de una docena entre 10^{19} – formarán átomos que decaerán rápidamente emitiendo partículas alfa – iones de helio formados por dos neutrones unidos a dos protones. Por ejemplo, un átomo del elemento 117 decae al 115 emitiendo una partícula alfa, perdiendo dos protones más el 115 decae al 113 y así hasta que el núcleo fisiona en dos fragmentos. Cada posición de la partícula alfa, su energía y tiempo de formación puede ser medida. La sucesión

completa produce un lote de productos único para cada elemento creado durante la colisión original. De estos productos de decaimiento los investigadores pueden pues determinar el elemento original.

Para generar solo unos pocos átomos de 117, el equipo necesitó bombardear un blanco revestido de berquelio-249 con un haz de iones de calcio-48 rico en neutrones. El Reactor de Isótopos de Flujo Elevado (HFIR) del *Laboratorio Nacional en Oak Ridge* generaba unos miligramos de berquelio-249, isótopo raro con una vida media de 320 días. El HFIR envía el isótopo al Instituto de Investigación de Reactores Atómicos que prepara los blancos revestidos de berquelio y los remite a Dubna, donde se realizan los experimentos. Como el tiempo va avanzando, todo debe ser hecho mucho antes de que se agote la corta vida del berquelio.

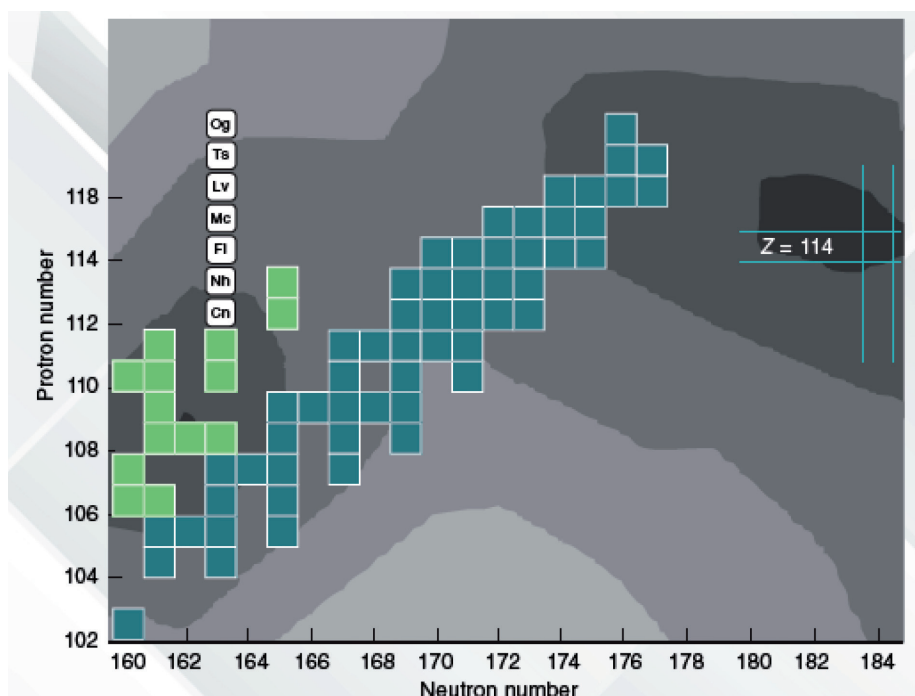
Encontrar un suceso entre miles de millones

El haz de iones citado bombardea el blanco unos meses durante los cuales los datos generados se analizan en tiempo real. El comprobar que una cadena de decaimiento observada durante un ciclo experimental presenta átomos de un elemento nuevo es más fruto de análisis

matemático y de descartar otras posibilidades que de la observación. “En general, supone alrededor de unos mil millones de eventos antes de que se pueda ver algo que parezca algo así como un evento verdadero”, nos dice la química nuclear **Nancy Stoyer**, miembro del equipo dedicado a elementos superpesados desde 1995. “¿Nos afectaba si la probabilidad aleatoria del evento era real o error aleatorio? ¿Nos sorprendería si pudiéramos usar los datos mismos. Podría decirnos si el evento era solo aleatorio?”

Stoyer junto con su marido, el químico nuclear **Mark Stoyer**, y otros miembros del equipo del Lawrence Livermore, iniciaron el desarrollo de métodos de análisis basados en la probabilidad para la investigación de elementos superpesados.

“El elemento 117 tiene una larga secuencia de decaimiento”, dice Mark Stoyer, “decae rápidamente, de modo que la probabilidad aleatoria es muy baja. Una de las más importantes contribuciones de Livermore a la colaboración, fue el uso de un análisis de datos independiente para verificar la certeza del descubrimiento – un grupo en Dubna y otro en Livermore comprobando cada uno los resultados del otro. Nosotros aportamos el análisis de probabilidad aleatoria”. Para el 117, Liver-



La isla de estabilidad es donde los químicos atómicos de Livermore y Dubna esperan encontrar elementos superpesados con vidas medias mayores de la escala de milisegundos – quizá suficientemente largas como para ser usados químicamente. En la zona gris oscura casi negra se situarían los elementos con vida media más larga, alrededor de (Z) 114 como número de protones

more se reunió en Oak Ridge con colegas de la *Universidad de Vanderbilt* y en Las Vegas con la *Universidad de Nevada*. El equipo desarrolló métodos de simulación para miles de millones de eventos nucleares generándolos aleatoriamente usando cálculos Monte Carlo. Gracias a este cuidadoso análisis, los grupos de Livermore y Dubna fueron capaces de demostrar que las cadenas de decaimiento observadas en Dubna eran eventos reales, no errores aleatorios del método de detección. Roger Henderson de Livermore condujo el análisis de los datos que identificó el elemento 117.

Incorporando el oganesón, el tennessio y el moscovio

Tras varios años de proceso para verificar resultados en diferentes laboratorios, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) dio su aceptación a la evidencia aportada sobre la detección de nuevos elementos. Después de la comunicación el pasado junio de una lista con nombres propuestos para opinión pública, los nombres nuevos de esos elementos se han hecho oficiales. Oganesson (Og), el 118, se ha denominado por Yuri Oganessian, líder del equipo de Dubna, adoptado por haber descubierto el conjunto de los seis elementos. Tennessio (Ts), el 117, en honor a Tennessee, el estado donde radica Oak Ridge, que facilitó los materiales nucleares de elementos pesados descubiertos ya hace años. El elemento 115 es ahora moscovio (Mc), también observado durante esta colaboración Livermore-Dubna. Para el elemento 113, la IUPAC aprobó el nombre de nihonio (Nh), por los trabajos de un laboratorio japonés que había observado un isótopo de este material distinto del obtenido en los experimentos Livermore-Dubna.

Estos cuatro elementos se unen ahora al livermorio (116)(Lv), llamado así por la ciudad donde se localiza Lawrence Livermore, y el flerovio (114) (Fl), nombrado en honor de Georgy Flerov (fundador ruso del Laboratorio de Dubna), como nuevas incorporaciones a la tabla periódica. Estos seis elementos, todos ellos descubiertos u observados en la colaboración ruso-americana, completan la séptima línea de la tabla.

El predominio de nombres americanos y rusos en los elementos nuevos refleja la estrecha colaboración entre Livermore y el JINR que comenzó en 1989. Ken Hulet fundó este grupo en Livermore, cuyo liderazgo ha pasado sucesivamente a Ron Loughheed, Ken Moody y Dawn Shaugh-

nessy, actual líder del Grupo de Química Nuclear y Radioactiva. El Programa de Investigación y Desarrollo Dirigido (LDRD) del Laboratorio financió la mayor parte de la investigación, mientras que la Oficina de Ciencias del Departamento de Energía (DoE) financió algunos trabajos en Livermore, así como los de Oak Ridge para producir los isótopos necesarios para el experimento 117.

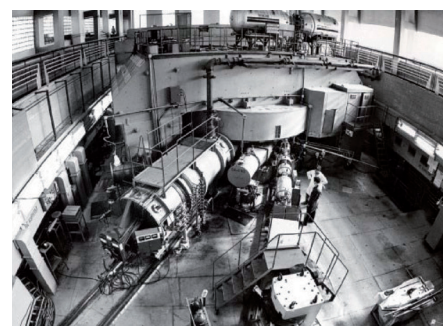
El futuro de la investigación de elementos superpesados

El descubrimiento de estos nuevos elementos es parte de un largo proceso. Quedan aún muchas preguntas fundamentales sobre las limitaciones de la materia y su comportamiento químico en el lejano extremo de la tabla periódica. Shaughnessy y sus colegas están abordando la química de estos nuevos elementos. Shaughnessy dice *"El elemento 114 (flerovio) es como el Santo Grial, por las muchas predicciones hechas sobre su química – algunos le califican como metal y otros como gas noble – y porque uno de sus isótopos tiene una vida media de unos dos segundos, suficientemente larga como para un estudio adecuado. Realizar este estudio no sería fácil, pero sí posible con los medios químicos existentes"*. En 2017, en un proyecto postdoctoral financiado por el LDRD, **John Despotopulos** trabajará la química acuosa del flerovio para establecer técnicas de trabajo para estudiar la química de isótopos fabricados en un acelerador de partículas y posteriormente llevados a una cámara de reacción conteniendo líquido.

"Como nos encontramos en esta zona de la tabla periódica, el núcleo tiene tantos protones que afectan relativamente al comportamiento de los electrones", explica Shaughnessy. *"Los electrones se mueven a velocidades cercanas a una fracción de la velocidad de la luz, lo que incrementa su masa y les une de forma distinta a otros elementos del grupo. Si estas predicciones de la química relativista cuántica son correctas y el 114 no es reactivo, la ciencia tendría que rehacer la misma tabla periódica para reflejar la naturaleza de esa unión"*

Sin embargo los físicos también opinan. A los científicos les gustaría saber dónde está el final de la tabla. Con qué número atómico ya no es posible generar un nuevo elemento. El físico **Richard Feynmann** sugiere que la tabla periódica puede llegar hasta el elemento 137, mientras que el químico finlandés **Pekka Pyykkö** calcula que los elementos podrían

alcanzar un nivel tan alto como 172. Los elementos más allá del oganesón, ocuparían la octava fila de la tabla periódica, donde los electrones más exteriores empezarían a situarse en el octavo nivel y sus sub-niveles, conocidos como orbitales. Electrones del oganesón se sitúan en el orbital exterior 7f del octavo nivel y algunos elementos en el orbital g, lo que nunca ha sido observado e introduciría nuevos y desconocidos comportamientos químicos.



El ciclotrón U400 del Laboratorio Flerov de Reacciones Nucleares

El equipo Livermore está trabajando con sus colegas rusos para encontrar más isótopos del 118, con un acelerador adicional dedicado a ello en Dubna. *"Esto aumentará la velocidad de producción de elementos superpesados en más de un orden de magnitud – de 30 y 50 átomos al año a miles"*, dice **Mark Stoyer**. Su esperanza es que eventualmente encontrar elementos en la isla de estabilidad – una zona de la tabla periódica donde pueden existir elementos de vida media mucho más larga. Sin embargo, el conseguirlo requerirá colisiones entre haces de iones más pesados ricos en neutrones contra blancos recubiertos con actínidos para producir nuevos isótopos con muchos más neutrones y protones, o colisiones que transfieran neutrones o protones múltiples entre proyectil y blanco – nueva técnica para la producción de elementos superpesados. El nuevo acelerador de Dubna permitirá la colaboración para intentar esas técnicas y abrir nuevos experimentos a la química, la física atómica y la medición de masa – y quizá para añadir aún más nombres a la tabla periódica.