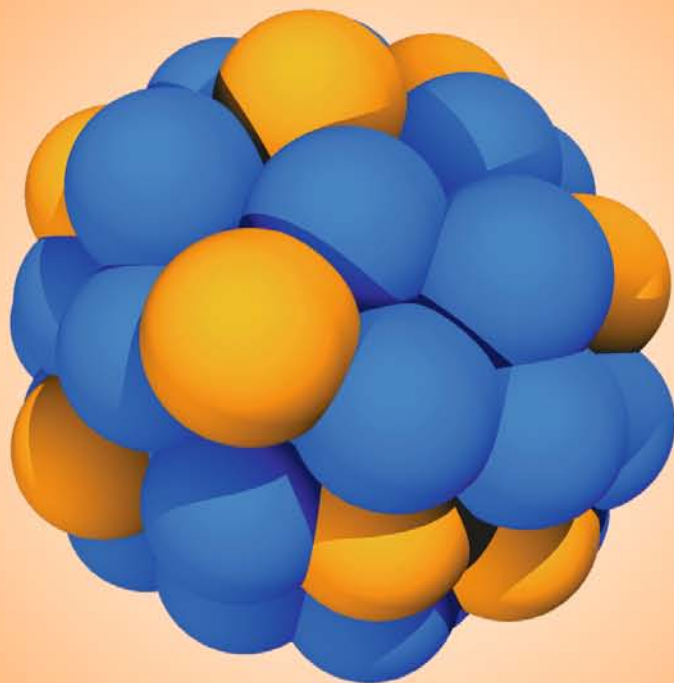


INVESTIGACION CIENCIA

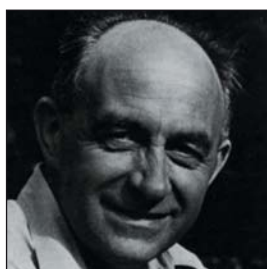
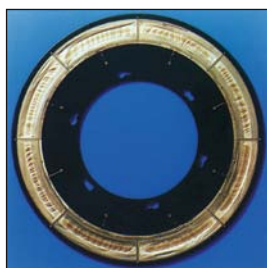
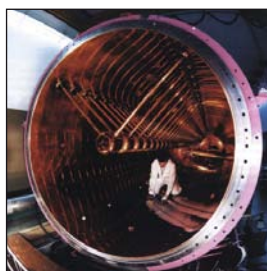
Edición española de **SCIENTIFIC AMERICAN**

Núcleos atómicos y radiactividad



Los espacios en gris
corresponden a publicidad
en la edición impresa

Sumario



Introducción 2
Paul Caro

El descubrimiento de la radiactividad 4
Pierre Radvanyi y Monique Bordry

La radioquímica 13

Los enigmas de la radiactividad 14
René Bimbot

Núcleos atómicos exóticos 24
J. H. Hamilton y J. A. Maruhn

De los núcleos exóticos a los haces radiactivos 34
Philippe Chomaz

La síntesis de los elementos superpesados 41
Peter Armbruster

Nuevas radiactividades 54
Walter Greiner y Aurel Sandulescu

Núcleos con halo 62
Sam M. Austin y George F. Bertsch

La ecuación de estado nuclear 69
Hans Gutbrod y Horst Stöcker

La desintegración beta doble 77
Michael K. Moe y Simon Peter Rosen

La desintegración del protón 85
Steven Weinberg

Núcleos ligeros exóticos 98
Joseph Cerny y Arthur M. Poskanzer

Introducción

Paul Caro

Todos conocemos la palabra “radiactividad”. Lo que evoca en nosotros no se limita a su definición física, sino que comporta cierta carga de misterio; rezuma poder; parece conjurar lo innombrable. Engendra emoción, pánico, comportamiento irracional. Suena, en el repertorio de los horrores posibles, como debió sonar en la Edad Media la palabra “peste”. El emblema de la radiactividad, esa especie de trébol trífido negro sobre fondo amarillo que se señalan las materias radiactivas —y por tanto el peligro— suma a la palabra la potencia del símbolo especializado; es la expresión de una barrera, de una interdicción.

Buen número de investigadores concuerda en que la radiactividad constituye un fenómeno misterioso. Ante todo porque se trata de un fenómeno complejo, en el que participa una gran variedad de procesos difíciles de entender, complejidad y misterio que están presentes desde su descubrimiento a finales del siglo XIX. Quedaban todavía en aquella época investigadores respetables que creían en fantasmas o en ectoplasmas. Por si fuera poco, los sucesivos descubrimientos de radiaciones misteriosas —ondas de radio, rayos X, rayos catódicos, etc.— conferían vigor a la idea de que la naturaleza producía “emanaciones” capaces de actuar a distancia y que los órganos de los sentidos no podían percibir. Algunos de estos fenómenos extraños parecían guardar mutua relación: los polos eléctricos positivo y negativo de los tubos de descarga en el vacío desempeñaban papeles diferentes en la creación de fenómenos luminosos. La luz, el magnetismo, la electricidad, el vacío, los variables comportamientos de la materia sometida a estas diversas radiaciones, constituían otras tantas piezas de un rompecabezas inmenso. El descubrimiento de la radiactividad, debido a Henri Becquerel en 1896, reforzaba el enigma, porque en esta ocasión la radiación se producía sin instrumentos: parecía ser “natural” y no producto del ingenio humano.

Para la identificación de los “portadores” de estas diversas radiaciones era imprescindible un espíritu sintético. La importancia de las cargas eléctricas era evidente, pues ciertas

radiaciones eran desviadas por los imanes; otras ionizaban el aire y descargaban los electros copios de panes de oro. Tal era el caso de los rayos uránicos de Becquerel, pero también el de los rayos X de Röntgen. La fuente de las radiaciones era, obviamente, la materia. Habría de ser, por tanto, un modelo de la materia el que proporcionase una explicación. Los esfuerzos por comprender las radiaciones cuajaron en un modelo del átomo: una estructura planetaria equilibrada entre la carga positiva, residente en un núcleo pesado, y una nube de cargas eléctricas negativas portadas por electrones. Se había demostrado también que la emisión luminosa era resultado de oscilaciones de los átomos entre dos estados de diferente energía. Poco a poco fue abriéndose paso la distinción entre las emisiones de ondas electromagnéticas, afines a la luz visible, como son los rayos X, y la emisión de flujos de partículas, como sucede con los electrones de los rayos catódicos. La radiactividad consiste en emisiones de ambos tipos; se manifiesta ora por la emisión de partículas, como las partículas α (núcleos de helio) o los electrones, ora por los rayos γ , ondas electromagnéticas de gran energía.

Los químicos se beneficiaron de este anhelo de comprensión de la materia. La teoría atómica facilitó la exploración de una clasificación periódica todavía insegura, pero, sobre todo, hizo que pudiera disponerse de los conceptos y los métodos llegados de la física como complemento de los criterios de clasificación tradicionales —las propiedades químicas—. No fue escaso el número de elementos que se descubrieron en esta época merced a la espectroscopía: las nuevas “rayas” luminosas —las líneas espectrales— revelaron elementos desconocidos; la intensidad de las líneas indicaba los progresos que se iban realizando en las separaciones y las purificaciones. El fenómeno de la radiactividad desempeñó este mismo papel en la preparación del polonio, primero, y del radio, después, por Marie Curie, quien medía, en lugar del espectro, el efecto de la intensidad radiactiva sobre la ionización del aire, que podía determinar con una gran precisión gracias al cuarzo piezoeléctrico de Pie-

re Curie, su marido. Curiosamente, y a pesar de los éxitos de los que fueron testigos presenciales, un buen número de químicos franceses se empeñaron en poner en duda la realidad del átomo hasta entrados los años treinta; así, la Sorbona continuó refiriéndose precavidamente durante mucho tiempo a la “hipótesis” atómica, mientras que todos los hechos la atestiguaban.

El descubrimiento de la radiactividad ha aportado mucho a la química. Ernest Rutherford y Frederick Soddy demostraron en 1901 la transmutación, átomo por átomo, del torio radiactivo en radio. La transmutación, el viejo sueño de los alquimistas, parecía realizada. No sólo existían los átomos, sino que se transformaban y podían ser inestables. Y el aparato de Pierre Curie, tan sensible, revelaba la enorme cantidad de energía asociada, átomo por átomo, a estos fenómenos radiactivos: una cantidad de energía que ningún otro proceso conocido ponía en juego. Nació así la idea de que la materia oculta cantidades fabulosas de energía y que la radiactividad no es, quizá, sino un medio para liberarla. El tema mítico del genio encerrado en la botella salió a la luz sin tardanza: la primera descripción de una bomba atómica (a base de radio) se encuentra en una novela de Anatole France, *La isla de los pingüinos*. La radiactividad entraba en la cultura.

Las energías observadas rebasaban las percibidas por la química habitual. Comenzaba el estudio de la estructura del núcleo. Al mismo tiempo, las radiaciones y, sobre todo, los rayos X revelaban por difracción

la disposición geométrica de los átomos en los cristales. No sólo se volvió a descubrir en la materia a los sólidos platónicos, sino también a las leyes matemáticas que gobiernan la simetría y los números. La física (y la química) tornábase matemática. La teoría cuántica llevaba las ecuaciones hasta el corazón de la materia. Mediante observaciones de gran sutileza fue posible establecer las leyes de las radiaciones radiactivas, se logró conjeturar la estructura de los núcleos y se consiguió la identificación de las entidades que lo componen: los protones y los neutrones. Las primeras experiencias contenían ya los gérmenes de la actual física de las partículas “elementales”: la materia es un ensamblaje de quarks, gluones, etc. La radiactividad es madre de una física nuclear experimental, esa que construye gigantescos “cascanueces” donde se hacen chocar frontalmente partículas aceleradas a enorme velocidad, para luego rebuscar entre los residuos indicios de la forma en que están contruidos los protagonistas de estos choques.

Más poético es el neutrino, la partícula que acompaña al electrón en una de las formas de radiactividad, la radiactividad β . El neutrino desafía a los investigadores por su indiferencia ante la materia, a la que atraviesa sin interacción (motivo por el que este tipo de radiación carece de aplicaciones). Hoy es perseguido por las montañas de los Alpes o del Cáucaso, con la intención de tenderle una trampa basada en sus escasas interacciones con ciertos elementos. Plantea con toda claridad el problema de los detectores, es decir, de los instrumentos o procedimientos que revelen lo que nos es invisible. El antepasado del detector nuclear es la placa fotográfica utilizada por Becquerel. Los detectores actuales no sólo pueden medir la intensidad de una radiación, sino también su energía.

No todas las diferentes ramas de la física y de la química nacidas del estudio de la radiactividad son tan difíciles como la búsqueda de la *Gran Unificación* (esto es, de un único formalismo que describa todas las interacciones de la naturaleza). Algunas de ellas poseen aplicaciones prácticas, utilitarias y, sobre todo, militares. La radiactividad artificial fue descubierta en el decenio de 1930; se fabricaron en aquella época cierto número de elementos inexistentes en la naturaleza; también se elaboraron las técnicas de separación (de enriquecimiento) de isótopos radiactivos poco concentrados en las fuentes

naturales (caso de los minerales de uranio, por ejemplo). Gracias a fisiones espontáneas de los núcleos, en cascada o en cadena, estos elementos podían engendrar, de un solo golpe, una monstruosa cantidad de energía. La bomba atómica ha dado cuerpo al mito de la aniquilación mediante una bola de fuego. Sin embargo, controlado, domesticado, ralentizado, el mismo proceso físico proporciona una fuente de energía térmica controlable: en las centrales nucleares, la energía desprendida de las reacciones nucleares provoca la ebullición del agua de una máquina de vapor que, asociada a un generador, produce electricidad.

En los Estados Unidos, durante la Segunda Guerra Mundial, el Proyecto Manhattan demostró la importancia de la calidad de los materiales en cualquier explotación de la radiactividad. Fue necesario, así, purificar el grafito con extremo cuidado para poner a punto, en Chicago, la primera pila atómica. El arte de la preparación de sustancias activas ha progresado mucho y, con él, el conocimiento de las interacciones entre la radiación y la materia. El trabajo emprendido contribuyó más tarde a la puesta a punto de los luminóforos de las pantallas de televisión y a la fabricación del silicio monocristalino ultrapuro, indispensable en los dispositivos electrónicos, en los transistores y los circuitos integrados. Tal es la participación de la radiactividad en la revolución informática, en los formidables progresos del cálculo numérico y del tratamiento de datos. Los modos de producción indispensables en lo nuclear se transfirieron a la industria y han conducido a la fabricación de multitud de objetos que se utilizan hoy de forma habitual.

La radiactividad no es como la electricidad: no basta pulsar un botón para conectarla o desconectarla; existe permanentemente. La duración de su vida o, mejor, las duraciones de sus vidas, nos dejan atónitos. El abanico de duraciones es inmenso, desde una fracción de milisegundo hasta varios miles de millones de años. Ciertos átomos radiactivos se transforman inmediatamente, otros lo hacen al cabo de tiempos geológicos. Los radioquímicos estudian átomos “calientes”, elementos de gran masa atómica, que se producen durante las reacciones nucleares y tienen muy efímera existencia; durante este tiempo tan breve realizan operaciones químicas tradicionales manejando cantidades ínfimas. Es la química llevada a lo extremo.

En medicina y en las ciencias de la Tierra, la radiactividad ofrece una

importante ventaja: se puede rastrear con un ejército de sensibles detectores inventados por los físicos. Introducidos en la naturaleza o en el organismo, los elementos radiactivos ofrecen la posibilidad de estudiar recorridos o procesos, del mismo modo que un colorante sigue las correrías de un líquido.

La radiactividad está muy ligada al tiempo. Por un lado, ayuda a los geólogos a medir la edad de la Tierra y a los arqueólogos a datar los yacimientos prehistóricos. Por otro, inspira una fuerte angustia, porque es indestructible. Incluso enterrada a gran profundidad, la sentimos como una fiera al acecho, que espera que nos olvidemos de ella para atacar a los inocentes futuros. La radiactividad posee la imagen implacable de la paciencia.

Al principio se consideró la radiactividad como una forma concreta de radiación y los rayos eran, genéricamente, *buenos*. Esto tal vez se debiera a que en la imaginería religiosa tradicional la Divinidad irradia y se comunica a distancia con los fieles mediante haces de luz. Ello no impide que los rayos sean efectivamente buenos y que la radiactividad cure más de lo que mata. Son millares las personas cuidadas y curadas anualmente por la medicina nuclear. Numerosos tumores se eliminan definitivamente mediante los “rayos”.

El temor, legítimo, de accidente técnico de gran importancia quedó reforzado por los acontecimientos de Chernóbil. Sin embargo, los controles de las instalaciones nucleares industriales son estrictos. También producen inquietud las dosis que la población recibe de las fuentes naturales en ciertas zonas graníticas; es cierto que en nuestro mundo bañado de influencias físicas y psicológicas son múltiples las causas que coadyuvan a las patologías. La radiactividad es inseparable de la noción de riesgo, un riesgo que han de afrontar todas las civilizaciones técnicas.

El descubrimiento y el dominio de la radiactividad constituye una de las grandes conquistas de la humanidad. Amplía desmesuradamente el poder del hombre y hace gravitar sobre el destino de nuestra especie la amenaza de la locura de unos pocos. Pero ha sido el germen, tanto conceptual como técnico, de multitud de avances de los que nos beneficiamos a diario. Se encuentra asimismo anclada en la imaginación colectiva. El mundo no podía seguir siendo el mismo tras el descubrimiento de este asombroso *fenómeno natural* que es la radiactividad.

El descubrimiento de la radiactividad

Pierre Radvanyi y Monique Bordry

El descubrimiento de la radiactividad ha sido crucial en la historia de las ciencias.

*Es, en las ciencias físicas, fermento de las grandes teorías de nuestro siglo:
la relatividad de Einstein, la mecánica cuántica y la física de partículas*

Los investigadores del siglo XIX habían acumulado muchos conocimientos sobre el mundo macroscópico: la química, el electromagnetismo, la óptica. El descubrimiento de la radiactividad en 1896 sacude y agrieta este sólido edificio de conocimientos y amplía los campos de investigación; sus efectos se propagan a todas las disciplinas científicas: a la medicina, a la biología, a la geología y, claro está, a la física, como vamos a ver a continuación.

La radiactividad, al dar acceso a la estructura microscópica de la materia y a las fuerzas que en ella se manifiestan, confiere un nuevo sentido a los fenómenos físicos macroscópicos. Y, en el mismo momento en que la química admite la existencia de átomos, la radiactividad pone de manifiesto que no son indivisibles.

La hipótesis atómica

Aunque suele atribuirse la hipótesis atómica a los filósofos griegos, median más de 2 milenios entre Leucipo y Demócrito y la formulación, en 1803, de la teoría atómica moderna,

debida al inglés John Dalton. Dalton sostiene que cada elemento está compuesto por átomos (de la palabra griega “indivisible”), que poseen una masa y unas dimensiones propias y que permanecen invariables en las transformaciones químicas.

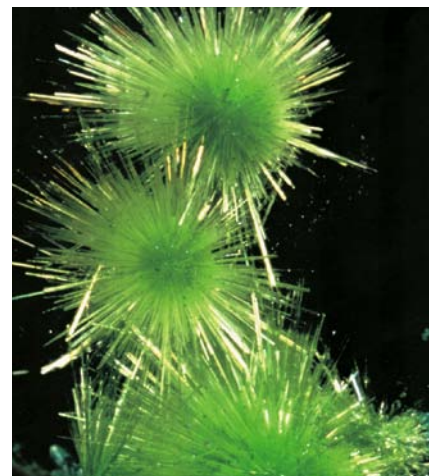
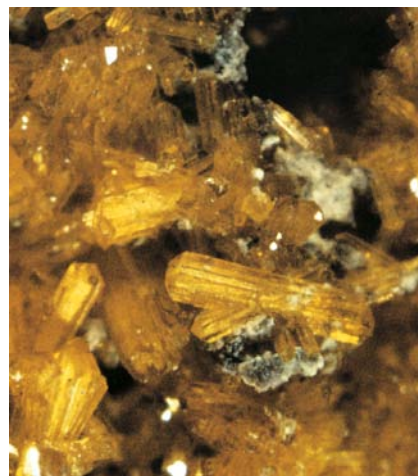
Dalton funda su hipótesis atómica en que los gases, al combinarse químicamente, lo hacen en proporciones definidas, obedeciendo a las llamadas leyes estequiométricas. Así, según él, un átomo de oxígeno se une a un átomo de hidrógeno para formar agua; pasará una decena de años antes de que se descubra la verdadera proporción: dos átomos de hidrógeno por cada átomo de oxígeno.

La hipótesis atómica se abre paso lentamente. En 1869, cuando están empezando a ser aceptadas las nociones de átomo y de molécula, el químico ruso Dimitri Ivánovich Mendeleiev propone su clasificación periódica de los elementos, poniendo de manifiesto que sus propiedades químicas son funciones “periódicas” de su peso atómico.

En paralelo con la química, la física está evolucionando también a grandes

pasos. La mecánica clásica alcanza un grado elevado de perfección. Tanto que, en 1846, Urbain Le Verrier descubre un nuevo planeta, Neptuno, a partir de ciertas irregularidades observadas en la órbita de Urano. También progresan la observación y la explicación de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Por citar sólo un ejemplo, el químico y físico Michael Faraday descubre la inducción electromagnética (1831) y la electrólisis (1833-1834). Nace una idea: la electricidad es transportada por vehículos materiales. James Clerk Maxwell unifica en 1864 la descripción de los fenómenos eléctricos y magnéticos mediante sus célebres ecuaciones, que implican la existencia de ondas electromagnéticas, puestas de manifiesto experimentalmente por Heinrich Hertz en 1888.

También la óptica se desarrolla vigorosamente durante el siglo XIX. Augustin Fresnel estudia los fenómenos de interferencia y difracción; Hippolyte Fizeau propone una medición de la velocidad de la luz (1849); los alemanes Robert Wilhelm Bunsen y Gustav Robert Kirchhoff (1859)



1. ALGUNOS MINERALES URANIFEROS han recibido nombres en honor de los esposos Curie. De izquierda a derecha: la curita, la sklodowskita (por el apellido de soltera de Marie Curie) y la cuprosklodowskita.



a

b

c

d

e

2. LOS PRINCIPALES PROTAGONISTAS del descubrimiento de la radiactividad. Wilhelm Conrad Röntgen (a) descubrió los rayos X en 1895. Henri Becquerel (b) observó las radiaciones emitidas por el uranio en 1896. Pierre y Marie Curie (c y d) aislaron nuevos elementos radiactivos. Ernest

Rutherford (e) explicó la radiactividad mediante la transmutación de átomos en 1903, demostró en 1909 que las partículas α son núcleos de helio y desveló la existencia del núcleo en el seno del átomo mediante sus experimentos de 1911.

desarrollan el análisis espectral, que asocia la presencia de un elemento químico a cada raya luminosa de un espectro óptico. Mediante el análisis de espectros de emisión y de absorción se detecta la presencia de nuevos elementos en la Tierra y en el Sol.

Por otra parte, desde comienzos del siglo XIX, el francés Sadi Carnot edifica la termodinámica, que es el estudio de las relaciones entre la temperatura y el calor. Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz enuncia el principio de la conservación de la energía en 1847. William Thomson (futuro Lord Kelvin) funda la teoría termodinámica en 1851 y, en 1877, Maxwell y el austriaco Ludwig Boltzmann admiten que los gases están constituidos por átomos y moléculas que obedecen a leyes estadísticas, elaborando así la teoría cinética de los gases.

Hasta las postrimerías del siglo XIX el átomo proporciona una interpretación satisfactoria, que explica las propiedades globales de la materia en química y en física. No se conocen, empero, ni sus dimensiones ni su naturaleza. Bruscamente, de 1895 a 1898, cinco descubrimientos abren una vía de acceso hacia las características de estos gránulos elementales: entre noviembre y diciembre de 1895, en Wurzburg, en Alemania, Wilhelm Conrad Röntgen descubre los rayos X; en París, en marzo de 1896, Henri Becquerel desvela la radiactividad del uranio; en agosto de 1896, en Leyden, Piéter Zeeman observa el desdoblamiento de las líneas emitidas por los átomos por acción de un campo magnético; en 1897, en Cambridge, Joseph John Thomson establece la existencia del electrón; entre julio y diciembre de 1898, en París, Marie y Pierre Curie aíslan el polonio y el radio.

De los rayos catódicos a los rayos X

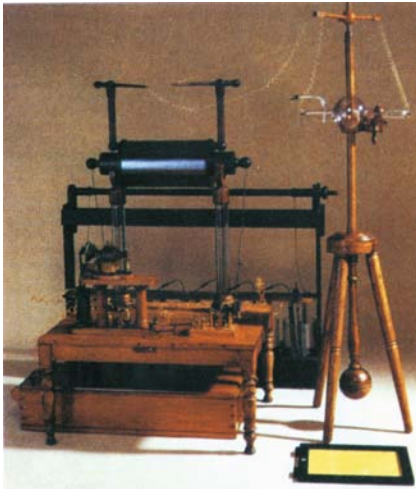
El paso de corrientes eléctricas a través de tubos llenos de gas enrarecido tenía intrigados a los físicos del siglo XIX. Cuando la diferencia de potencial aplicada es suficiente, se manifiestan en el gas fenómenos luminosos extraordinarios. Estos fenómenos dependen de la presión y de la naturaleza del gas. Faraday llevó a cabo experiencias de este tipo: a una presión de 60 milímetros de mercurio (la presión atmosférica es de 760), la descarga eléctrica produce algunas bandas luminosas de color púrpura; junto al cátodo (electrodo negativo) aparecía un espacio oscuro, denominado espacio de Faraday. Cuando se reducía la presión, las bandas se aproximaban. A 0,5 milímetros de mercurio, el cátodo aparecía rodeado de una luz violácea si el tubo contenía aire enrarecido, rojiza si el gas era hidrógeno y amarillo anaranjado si era nitrógeno. El paso de la corriente engendraba además una luminiscencia al entrar en contacto con la pared de vidrio.

Julius Plücker asoció la luminiscencia del vidrio a radiaciones procedentes del cátodo en 1858; de aquí su nombre de rayos catódicos. Su discípulo Johann Wilhelm Hittorf consiguió un vacío inferior a una centésima de milímetro de mercurio; en el interior del tubo, las estratificaciones de la luminiscencia fueron apagándose una por una, dejando una oscuridad casi completa, al tiempo que las paredes de vidrio se volvieron fosforescentes (con una luminiscencia persistente aun después de haber cesado la excitación).

El físico inglés William Crookes confirma en 1879 que estos rayos se

propagan en línea recta, como había observado Hittorf: una cruz de Malta de mica introducida en el tubo proyecta su sombra sobre la pared de vidrio. Al acercar un imán al tubo, la sombra se desplaza en el sentido esperado para un flujo de partículas cargadas negativamente. Diez años más tarde, Philip Lenard, ayudante de Hertz, hace salir los rayos catódicos de la ampolla de vidrio a través de una ventana muy delgada de aluminio. Entran entonces en conflicto dos concepciones distintas: los físicos ingleses, como Crookes y luego J. J. Thomson, creen que los rayos catódicos están constituidos por corpúsculos cargados (se verá que se trata de electrones) mientras que los físicos alemanes, como Hertz y Lenard, estiman que se trata de ondas.

En noviembre de 1895, en la Universidad de Wurzburg, Röntgen estudia estos rayos catódicos, con un tubo de Hittorf primero y luego con otro de Crookes, aplicando descargas eléctricas de alta tensión. Röntgen ha recubierto cuidadosamente el tubo con cartulina negra. A pesar de ello, una pantalla recubierta de platinocianuro de bario, situada sobre una mesa, a poca distancia del tubo, reluce en la oscuridad. Esta luminiscencia solamente aparece cuando el tubo está conectado a la alta tensión. Röntgen se aísla durante varias semanas en su laboratorio para estudiar este efecto. Comprueba que los rayos invisibles que confieren luminiscencia a la pantalla provienen del tubo, que atraviesan el cartón, que se propagan en línea recta, que impresionan las placas fotográficas y que ionizan el aire. Pueden atravesar espesores importantes de materia, con facilidad tanto mayor cuanto menor sea la densidad de ésta. Röntgen los bautiza rayos X.



3. UNO DE LOS PRIMEROS TUBOS de rayos X. El tubo de cristal se encuentra en la parte superior, a la derecha. El carrete de Ruhmkorff, al fondo, generaba impulsos de alta tensión para el tubo.

Al interponer la mano en el camino de los rayos, Röntgen ve la sombra de los huesos de sus dedos, que registra en una placa fotográfica. Publica sus resultados a finales del mes de diciembre en las Actas de las sesiones de la Sociedad de Física y Medicina de Wurzburg, con el título: "Sobre un nuevo tipo de rayos". Envía copias de sus fotografías por toda Europa. El descubrimiento causa sensación en el mundo entero; las aplicaciones médicas son inmediatas. Se demuestra, como bien suponía el sabio alemán, que los rayos X son una radiación electromagnética de muy pequeña longitud de onda, situada más allá del ultravioleta. Röntgen sería el primer laureado con el Premio Nobel de Física, en 1901.

Los rayos uránicos

Henri Poincaré presenta los resultados de Röntgen y las fotografías que ilustran las propiedades de los rayos X en la Academia de Ciencias de París el 20 de febrero de 1896. Poincaré opina que la emisión de rayos X y la luminiscencia de la porción de pared de vidrio desde la que son emitidos constituyen fenómenos asociados. Por una feliz circunstancia, uno de los académicos presentes, Henri Becquerel, profesor en el Museo Nacional de Historia Natural, es especialista en luminiscencia y fosforescencia, como lo fue su padre, Edmond Becquerel. La luminiscencia consiste en la emisión de luz tras una excitación; en el caso de la fosforescencia, la emisión perdura cierto tiempo después de cesar la excitación. Tras una

discusión con Poincaré, Becquerel, de vuelta a su laboratorio del Museo, se propone la búsqueda de otras sustancias luminiscentes que fueran emisoras de rayos X. Seleccionó, para tal estudio, cristales de sulfato doble de uranio y potasio, que había ya preparado en otras ocasiones con su padre.

Hacia el 20 de febrero coloca esta sal sobre una placa fotográfica envuelta en dos hojas de papel negro grueso y expone al sol el conjunto durante varias horas. Al revelar la placa reconoce la silueta de la sustancia fosforescente perfilada en negro sobre el cliché. Esta observación confirma la hipótesis de Henri Poincaré. Al igual que los rayos X, los rayos observados atraviesan no sólo las hojas de papel negro, sino también placas de aluminio y una delgada lámina de cobre.

A consecuencia de un azar climatológico, Becquerel realiza una observación importante: "Algunos de estos experimentos habían sido preparados el miércoles 26 y el jueves 27 de febrero y, dado que el sol no asomaba sino de manera intermitente, conservé las experiencias, completamente preparadas, y guardé los marcos en el cajón de un mueble, en la oscuridad, dejando colocadas las lamelas de sal de uranio. No habiendo lucido el sol durante los días siguientes, revelé las placas el primero de marzo, esperando encontrarme imágenes muy débiles. Las siluetas aparecieron, por el contrario, con gran intensidad. Pensé enseguida que la acción había tenido que continuar en la oscuridad..."

En consecuencia, la excitación previa por la luz solar no es necesaria. Las radiaciones invisibles provienen de una fosforescencia mucho más persistente que la fosforescencia ordinaria. Estos rayos, que recibirán el nombre de "rayos uránicos" o "rayos de Becquerel", ¿son los mismos que los rayos X descubiertos por Röntgen? Veremos que no. A partir del 9 de marzo y con la ayuda de un electroscopeco de panes de oro, Becquerel comprueba que los rayos uránicos descargan los cuerpos electrizados, propiedad que comparten con los rayos X. Observa además que los elementos pesados absorben los rayos más que los ligeros. Por último, su intensidad no parece disminuir con el tiempo.

El 18 de mayo, tras haber observado que la intensidad sigue invariable al cabo de dos meses, Becquerel anuncia un nuevo resultado importante: también las sales de uranio no fosforescentes emiten esta radiación. Escribe: "Me he visto, pues, llevado a concluir

que este efecto era debido a la presencia del elemento uranio en estas sales y que el metal tendría que producir efectos más intensos que sus compuestos. El experimento ha confirmado tal previsión." Y añade: "El metal presenta un efecto del orden de una fosforescencia invisible." Más tarde señala: "Todavía no hemos podido reconocer de dónde toma prestada el uranio la energía que emite con tan larga persistencia." El 12 de abril de 1897, en una nueva comunicación, observa que, pasado más de un año, la radiación del uranio no ha disminuido.

Becquerel establece así una propiedad nueva de un cuerpo natural, el elemento uranio, el cual emite espontáneamente una radiación penetrante. Convencido de haber agotado provisionalmente el tema, dirige su interés hacia el efecto Zeeman, descubierto hacía pocos meses. No volverá a reanudar las experiencias sobre cuerpos radiactivos hasta marzo de 1899, tras el descubrimiento del polonio y del radio por Pierre y Marie Curie.

El electrón, portador de la electricidad

Es curioso que se realizaran pocos experimentos con los rayos uránicos fuera de Francia. Cierto es que en esta época los físicos creyeron ver todo tipo de radiaciones, "hallazgos" que terminaron por resultar carentes de fundamento. La emisión de rayos uránicos se consideraba una propiedad interesante, pero a los contemporáneos se les escapaba su importancia y su significado. No se valoraría debidamente el fenómeno hasta que se produjeran los descubrimientos de Pierre y Marie Curie.

En 1896-97 los físicos están entregados al estudio de las propiedades de los rayos X y de dos grandes descubrimientos relativos al electrón. Von Helmholtz y el irlandés George Johnstone Stoney suponen, desde 1881, que la electricidad está dividida en cuantos elementales, a los que Stoney denomina electrones. En Leyden, en los Países Bajos, el joven físico Piéter Zeeman, ayudante del físico teórico Hendrik Antoon Lorentz, investiga los efectos de los campos magnéticos sobre la luz, efectos que deberían existir si la luz fuese, como se cree, una radiación electromagnética. En agosto de 1896 coloca la llama de un mechero de gas entre los polos de un electroimán e introduce en ella un poco de cloruro sódico. Utilizando su nuevo espectroscopio de retículo, elaborado por el estadounidense Henry August