

LEOPOLDO MUZZIOLI A.

EL APORTE DE LA FÍSICA
EUROPEA AL PROGRESO
CIENTÍFICO DE HOY, EN
LA CONQUISTA DEL
MUNDO ATOMICO

ANTES DE TODO deseo poner de relieve que el trascendental movimiento de ideas producido por las modernas mecánicas, cuántica y ondulatoria, y que dio lugar a una substancial renovación en el planteamiento y estudio del problema del átomo, nació en Europa y en Europa tuvo su desarrollo fundamental.

Tres nombres, Planck, De Broglie y Schrödinger, un alemán, un francés y un austríaco, fueron los pioneros en este campo, los iniciadores de esta nueva orientación, que se presentó, desde el comienzo, como revolucionaria.

Sin embargo, si esta nueva orientación, como método, puede considerarse como un retorno al verdadero espíritu galileano, puesto que establece categóricamente que toda representación apriorística de la naturaleza puede, a lo sumo, establecerse como instrumento de trabajo, y nada más; en verdad, va mucho más allá, de la posición, a pesar de todo, neoplatónica de Galileo, en cuanto afirma en forma explícita que, en la realidad del mundo físico, tenemos siempre algo que no se puede, y por consiguiente no se debe, purificar, idealizar, hasta el estado puramente geométrico-mecánico.

Así que estas nuevas teorías, que me atreví a llamar revolucionarias, han renegado, en forma radical, la que podría definirse como una concepción trascendente o metafísica de la naturaleza, y con la consecuente liquidación del mecanismo, quedaron desterradas, al igual que los objetos de museo, todas las utopías materialísticas de un tiempo.

El conocimiento de la naturaleza es el resultado de la experiencia y de la teoría. Experiencia y teoría deben completarse recíprocamente, aun cuando sea necesario cultivarlas separadamente, como sucede en el período actual, donde la notable madurez científica alcanzada por las matemáticas, y el enorme conjunto de técnicas experimentales, comple-

jas y difíciles que se tienen hoy día a disposición, imponen, por razones debidas a la limitación de las posibilidades humanas, la división del trabajo.

Y la armonía, el equilibrio del método, se obtiene solamente mediante una estrecha colaboración entre las dos funciones fundamentales del investigador; cuales son la de obtener, analizar y estudiar los datos experimentales relacionados con los fenómenos, y la de deducir las síntesis generales correspondientes.

En Europa, desde el comienzo de los estudios físicos, se vio claramente esta necesidad y todo lo que se ha hecho en estos últimos años de experimental y teórico, tendiente al conocimiento, o mejor dicho a la interpretación de la constitución del átomo, representa un ejemplo típico y una clara demostración, de esta necesaria, indispensable colaboración entre la experiencia y la teoría.

En el año 1910 el equipo del Instituto de Física de Cambridge, dirigido por el gran físico inglés Ernest Rutherford, estaba desarrollando un grandioso trabajo experimental sobre la difusión que sufre un haz de partículas "alfa" emitidas por una sustancia radiactiva, cuando atraviesa láminas metálicas delgadas. Estos experimentos pueden considerarse de una importancia verdaderamente trascendental; en efecto, no sólo encierran un valor conceptual enorme, sino que también fueron la causa de una primera, fundamental, revolucionaria, modificación de la interpretación de la constitución del átomo. Después de estas investigaciones, el átomo, ya no se podía considerar impenetrable; podía ser atravesado, y este fenómeno se manifestaba con características tales, que Rutherford fue inducido a enunciar su audaz hipótesis, donde afirmó explícitamente que no quedaba otro remedio que demoler valerosamente la concepción atómica clásica, y considerar el átomo a guisa de un microscópico sistema solar formado por una partícula central extremadamente pequeña, constituida por una masa material cargada de electricidad positiva, que llamó núcleo, y por una especie de atmósfera, penetrable, de dimensiones relativamente enormes, con respecto al núcleo, constituida por electrones, es decir, por cargas eléctricas negativas que, con toda probabilidad debían moverse alrededor del núcleo mismo, con órbitas probablemente circulares o elípticas.

Este paisaje atómico se presentaba atrayente, elegante, y por lo demás simpático; y dado que explicaba en forma brillante los resultados experimentales obtenidos, en forma tan cuidadosa y completa por Rutherford y colaboradores, se consideró, desde un principio, como una representación notablemente satisfactoria.

El primer problema que se trató de abordar y resolver, fue el de

saber cómo están ensambladas entre sí las dos partes principales del átomo: la material y la electrónica.

¿Cómo se pueden obtener las informaciones necesarias para este fin?

Mientras el sistema atómico está en condiciones normales, es mudo, sin vida, y no revela nada de sí mismo.

Para conocer su carácter, su temple, es necesario hacerlo hablar para ver cómo se expresa; es necesario hacerlo vivir, es necesario excitarlo oportunamente, para que emita luz y calor.

Las radiaciones emitidas por el átomo, son su manera de expresarse, y nosotros podremos encontrar la solución del enigma, estudiando precisamente el conjunto de las radiaciones que emite en las diversas condiciones de excitación a las cuales podemos someterlo.

Vamos a referirnos a un caso muy particular.

Como enseña la química, el átomo de Hidrógeno es el más liviano de todos y el más sencillo; y según la simpática representación de Rutherford está formado simplemente por un núcleo, constituido por un sólo protón, partícula material cargada de electricidad positiva, y por una atmósfera electrónica constituida por un único electrón superficial que gira alrededor del núcleo.

Encerramos un poco de Hidrógeno molecular en un tubo de vidrio donde se haya realizado previamente el vacío, y producimos en el tubo una descarga eléctrica conveniente; el Hidrógeno, separado en sus dos átomos componentes, resulta luminoso, emite radiaciones, irradia luces, mediante las cuales expresa su manera de actuar, manifiesta su personalidad.

Si analizamos las radiaciones emitidas mediante aquel maravilloso aparato, que es el espectroscopio, encontramos un espectro de rayas relativamente complicado. Algunas de estas rayas aparecen en la región visible, otras están en el ultravioleta y otras se encuentran en el infrarrojo. Cada raya corresponde a una vibración luminosa bien determinada y precisa.

Estamos en presencia de un primer misterio; ¿cómo es posible que el átomo de Hidrógeno, que es tan sencillo, sea capaz de vibrar de tantas maneras diferentes?; ¿hay alguna regularidad; es posible encontrar una cierta armonía en ese conjunto de radiaciones luminosas?

El físico suizo Balmer, en el año 1885, después de un largo trabajo, paciente y genial, logró poner en evidencia que las frecuencias observadas en el espectro visible obedecen todas a una única relación numérica relativamente sencilla. Esta relación previó otras radiaciones, además de las que se habían observado experimentalmente hasta entonces; y estas radiaciones se encontraron, parte en los laboratorios mediante

investigaciones espectrográficas más refinadas, y parte en espectrogramas de absorción de la luz emitida por estrellas rodeadas por este gas, donde se encuentra notablemente excitado.

Después de todas estas verificaciones, la regla encontrada por Balmer debía, por consiguiente, considerarse justa.

En seguida, el físico inglés Lyman constató que las rayas correspondientes a las radiaciones en el campo del ultravioleta obedecen a la misma relación; mientras que el físico suizo Ritz comprobó la misma ley para el espectro infrarrojo.

Ritz además transformó formalmente la relación numérica descubierta por Balmer, observando que cada frecuencia de toda radiación luminosa, visible y no visible, emitida por el átomo de Hidrógeno, oportunamente excitado, puede representarse como la diferencia de dos términos; y en una sencilla ecuación sintetizó el ordenamiento del inmenso material experimental recogido en tantos años de investigaciones realizadas por los espectroscopistas. ¡Armonía y regularidad, donde aparecía la confusión y el desorden!

La relación empírica de Balmer-Ritz, valedera para el espectro del Hidrógeno, lo es también, hechas las necesarias variaciones en la expresión de sus términos, para los espectros menos sencillos de los otros elementos.

Ya se tenía la llave que podía abrir la puerta del átomo.

Sin embargo esta ley, a pesar de su elegante sencillez, no fue tomada inmediatamente con la consideración que se merecía.

Las tupidas columnas de números que representaban las frecuencias obtenidas del examen cuidadoso y preciso de los espectros, las hermosas rayas coloreadas, e iridiscentes como el arco iris, que aparecían en el espectroscopio, fueron consideradas, aún después de la interesante relación de Balmer-Ritz, como algo complicado y no sugirieron tan luego la inspiración necesaria para una interpretación racional del fenómeno de la emisión de las radiaciones que emite el átomo cuando es convenientemente excitado.

Por otra parte la genial hipótesis de Rutherford no estaba todavía establecida y los físicos, por consiguiente, no tenían una base, una plataforma, convenientemente apta, para construir una posible teoría que diera una explicación racional de la ley de Balmer-Ritz que, como hemos visto, había sido obtenida en forma bastante empírica.

Fue solamente en el año 1913 que el gran físico danés Niels Bohr, utilizando la representación atómica de Rutherford, desarrolló su conocida teoría, mediante la cual encontró una justificación bastante racional de la relación Balmer-Ritz.

Cuando un electrón recorre una órbita circular o elíptica, como es el caso de un electrón superficial en la representación de Rutherford, según la electrodinámica clásica, debería emitir una radiación electromagnética. Sin embargo, esta concepción del proceso de irradiación, no sólo da lugar a consecuencias desastrosas para el electrón mismo, puesto que su movimiento debería terminar muy luego y debería caer inexorablemente sobre el núcleo después de haber cedido toda su energía; sino que también, esta concepción, no logra explicar los espectros de los elementos, ya determinados experimentalmente, ni sus regularidades, ya establecidas por la ley de Balmer-Ritz.

Bohr supera valerosamente esta dificultad, y renegando por primera vez un concepto clásico para la interpretación de los hechos atómicos, afirma categóricamente que durante sus evoluciones orbitales, los electrones sencillamente no emiten energía radiante. Una órbita representa un estado estacionario; recorrer una órbita determinada, es el modo de reposar del electrón, del cansancio que le procura la emisión o la absorción de radiaciones electromagnéticas.

Bohr desarrolló inicialmente su teoría para el caso del átomo de Hidrógeno, que, como hemos dicho, según la representación de Rutherford está constituido simplemente por un núcleo positivo que es un protón y un solo electrón superficial que gira alrededor del núcleo.

En su estado normal, el electrón del átomo de Hidrógeno se encuentra sobre una órbita determinada; pero hemos visto que se puede excitar el átomo si se le entrega energía (proceso de excitación), y hemos visto también que el átomo excitado puede devolver esa energía emitiendo radiaciones electromagnéticas, irradiando luz (proceso de emisión).

¿Qué significa esto para Bohr? ¿Cómo es su interpretación de estos dos procesos? ¿El de excitación y el de emisión?

Según Bohr, el electrón, que en su estado normal recorre una órbita determinada, aprovecha de la energía de excitación que se le entrega, para pasar a otra órbita más grande que la primera, o por lo menos, de forma diferente.

Además, la nueva órbita no es arbitraria, como tampoco es arbitraria la energía que se puede usar para que el electrón pueda hacer este pasaje.

Tenemos, por lo tanto, un número bien determinado y finito de órbitas posibles, cada una caracterizada por un nivel energético bien determinado y finito.

Las otras órbitas, diferentes de las prestablecidas, según el categórico, autoritario y, se podría decir, despótico comando de Bohr, deben ser ignoradas por el electrón, que no puede ni debe ocuparlas.

Con la absorción de una conveniente cantidad de energía, entregada por la excitación, el electrón superficial del átomo de Hidrógeno puede pasar entonces a otra órbita; pero puede permanecer en ella un lapso brevísimo, un cienmillonésimo de segundo, porque cuando se encuentra en esta nueva órbita, el sistema atómico es inestable y no satisface más a las condiciones de equilibrio que corresponden al mínimo de energía total; baja así, casi inmediatamente, a una órbita inferior, o cae directamente sobre la órbita de partida, es decir, la más estable.

En esta forma, después de haber absorbido energía con la excitación, emite energía bajo forma de radiación luminosa en la emisión.

Lo que es valedero para el átomo de Hidrógeno vale también para los átomos más complicados. Así que en general, un átomo cualquiera absorbe energía en la excitación y emite energía en la irradiación, mediante saltos que los electrones superficiales del átomo realizan entre dos órbitas diversas con diferentes niveles energéticos; y la relación numérica que mide estos procesos satisface plenamente la ley experimental Balmer-Ritz.

Sin embargo, toda esta hermosa y elegante construcción teórica de Bohr, basada en el simpático, diminuto sistema solar de Rutherford, contenía mucha fantasía, fantasía creadora, pero fantasía.

El físico puede, y diría debe, mediante el esfuerzo de su inspirada meditación y el vuelo de su fantasía, crear representaciones ideales de la realidad, porque muy a menudo estas representaciones pueden ser la fuente de nuevos descubrimientos y la posibilidad de frutos inesperados; sin embargo, debe tener plena conciencia que estas extrapolaciones, a veces tan hermosas y audaces, le son permitidas solamente como medio de trabajo, y nada más; porque es siempre y sólo la experiencia la que puede y debe dar su definitivo e inexorable veredicto final.

La naturaleza es como es, y se comporta como se comporta, a su manera, como ha sido creada, e independientemente de lo que pueda pensar e idear el hombre, por genial que sea.

Hay conocidas posiciones filosóficas que sostienen que no hay objeto pensado sin el sujeto pensante; o viceversa que hay el objeto pensado, si hay el sujeto pensante; pero estas maneras de razonar u otras semejantes, no dicen absolutamente nada para nosotros los físicos.

La experiencia vio y comprobó las radiaciones luminosas emitidas por los átomos, midió sus frecuencias y determinó sus niveles energéticos, y esto ha quedado y quedará siempre; pero la experiencia nunca vio las órbitas de Bohr; y lo que es más importante y perjudicial para

su suerte, es que estas órbitas nunca podrán ponerse en evidencia experimentalmente.

El principio de indeterminación del gran físico alemán Heisenberg demuestra en efecto que no es posible, ni con experimentos prácticamente realizables, ni con experimentos idealmente realizables, conocer la posición y la cantidad de movimiento de un electrón en un determinado instante; por consiguiente, las eventuales órbitas de Bohr no son calculables por medio de datos experimentales, es inútil insistir sobre su posible o imposible existencia y no queda otro camino que dejarlas de un lado y olvidarlas sin añoranzas, a pesar de los servicios que nos habían prestado, a pesar de su elegancia y simpatía. El instrumento inventado con tanta genialidad y perspicacia por Bohr debía ser sustituido por otras representaciones más adherentes a la realidad; así lo imponía el categórico y decisivo descubrimiento de Heisenberg.

Una de las conquistas más trascendentales de la Física Moderna Europea es la concepción dualística de los dos componentes fundamentales del Mundo Físico: la energía radiante y la materia.

Es decir, tanto la energía radiante como la materia, tienen un doble comportamiento: pueden manifestarse a veces como ondas y a veces como corpúsculos.

Por efecto de esta nueva, audaz y admirable concepción, que los hechos experimentales y las expresiones analíticas dan por cierta y verdadera, el electrón que se había considerado como un elemento puramente corpuscular, y cuyos atributos eran solamente su masa, su carga y su energía cinética debe ahora considerarse también con propiedades ondulatorias. En otros términos el electrón no debe considerarse más un ente con características puramente corpusculares, sino que como un ente con características también ondulatorias, y con una onda asociada cuya longitud tiene, en cada caso, un valor bien determinado y preciso, dependiente de su masa, de su velocidad y de la constante universal de Planck. Esta representación, que es el lógico resultado que se deduce de la interpretación física de la mecánica ondulatoria de Schrödinger-De Broglie, ofrece una representación de la estructura atómica, de un valor conceptual enorme.

Para formarse una idea de la constitución del átomo en el cuadro de la mecánica ondulatoria, creo oportuno buscar en la acústica el modelo que puede servirnos.

Imaginemos un tubo de órgano cerrado en los dos extremos. Suponemos que en el aire contenido en el tubo se propaga una onda sonora. Esta onda parte del fondo del tubo, sube y llega al extremo superior; ahí se refleja. La onda reflejada que vuelve hacia abajo encuentra otra onda que se propaga hacia arriba; las dos ondas interfieren.

Puede formarse así aquel sistema de vibraciones, en el interior del tubo, denominado ondas estacionarias, donde a pesar que las vibraciones del aire son diferentes de punto a punto, en un punto determinado la vibración mantiene sus características invariables.

Ahora bien, la posibilidad de formación de ondas estacionarias en un tubo está limitada solamente a ciertas ondas, cuya longitud depende de la longitud del tubo.

Existen, en otros términos, condiciones bien determinadas y precisas para que un sistema de ondas pueda quedar encerrado en un tubo, o en general, en una caja cualquiera.

Los electrones convivientes en el átomo, en la concepción de Schrödinger-De Broglie, son como ondas encerradas en una caja.

A *grosso modo*, se puede pensar que los límites de la caja atómica están determinados por las fuerzas de atracción del núcleo, que siendo positivo no permite que los electrones negativos se alejen de él.

Se podría decir que estas fuerzas constituyen las paredes contra las cuales la onda electrónica choca, y sobre las cuales la onda electrónica se refleja. Las condiciones para que un electrón pueda quedar encerrado en una caja atómica es que en ella el electrón pueda producir ondas estacionarias.

Solamente cuando los electrones poseen ciertas determinadas longitudes de onda asociadas pueden permanecer en el átomo; pero poseer ciertas longitudes de onda asociadas, significa poseer ciertas energías; y estas energías se suceden con discontinuidad, de la misma manera que con discontinuidad se sucedían los niveles energéticos vistos anteriormente y determinados experimentalmente, y que daban y dan lugar a las radiaciones que el átomo excitado es capaz de emitir.

El modelo ofrecido por la mecánica ondulatoria, para la estructura de la atmósfera electrónica del átomo es verdaderamente de un valor conceptual enorme: en efecto, esta representación, que la mecánica clásica no habría podido ni siquiera sospechar, permite resolver en forma satisfactoria, muchos enigmas.

Por ejemplo: ¿el único electrón del átomo de Hidrógeno, y su núcleo, constituido por un solo protón, cómo podían "llenar" el volumen relativamente enorme del átomo a pesar que estas dos partículas son tan extremadamente pequeñas?

Si nos representamos el electrón también como onda, esta cuestión recibe una luz completamente nueva: ahora debemos imaginarnos que la carga electrónica se encuentra como "difundida", en el sentido de la representación ondulatoria de Schrödinger-De Broglie, en todo el volumen del átomo, de manera que ya ese único electrón forma efectiva-

mente una "nube" electrónica, que "llena", diría, el átomo, y le da un aspecto quizás menos elegante del simpático y diminuto sistema solar de Rutherford-Bohr, pero mucho más adherente a las confirmaciones experimentales que logran determinar, por diferentes caminos, un diámetro y por consiguiente un volumen del átomo.

Investigaciones de cristalografía por rayos x, investigaciones sobre los gases, para no mencionar que éstas, dan la posibilidad de medir las magnitudes "espaciales" de los átomos; y todas estas determinaciones, obtenidas con métodos completamente diferentes e independientes, coinciden y dan como resultado el dato importantísimo que el diámetro de todos los átomos es del orden de un décimo de milimicrón.

Sin embargo, si la masa de un átomo puede medirse con extremada exactitud, y hay métodos experimentales que permiten obtener este dato, de tan trascendental importancia, con una precisión verdaderamente asombrosa; el diámetro de un átomo, en cambio, no puede medirse con la misma exactitud; sencillamente porque los átomos no tienen un diámetro exacto.

En efecto, no debemos, de ninguna manera, imaginarnos un átomo en el sentido democriteo, es decir, como por ejemplo, una esfera material lisa con una superficie bien delimitada y determinada, y con propiedades simplemente mecánicas, sino más bien, como una nube del cielo, cuyo contorno es fluctuante y cuyo diámetro no es de ninguna manera definido.

En otros términos, la nube electrónica generada por las ondas de Schrödinger-De Broglie asociadas a los electrones superficiales del átomo, debe interpretarse como una especie de nube del cielo; su contorno será también fluctuante y por consiguiente su diámetro tendrá un significado físico solamente si su valor está dado con relativa aproximación y es considerado como algo variable alrededor de este valor.

A *grosso modo* esta es la representación de la atmósfera electrónica a la luz de los resultados de las nuevas mecánicas.

Sin embargo, hasta ahora, hemos hablado de la atmósfera electrónica; ¿y el núcleo?; el núcleo que es la parte ponderable, esencial; la que verdaderamente caracteriza el átomo; ¿qué cosa es? ¿cómo es?

También la historia del núcleo comienza en Europa y precisamente en Francia en el año 1896.

El físico francés Henri Becquerel era un eminente especialista de los fenómenos de fluorescencia y fosforescencia y en particular se interesaba de las propiedades que el uranio poseía en este aspecto.

Hacia fines de 1895, el descubrimiento de los rayos x, hecho por Röntgen, había despertado un enorme interés entre todos los físicos

del tiempo. Como es sabido, Röntgen obtuvo los rayos x mediante una descarga de rayos catódicos que, golpeando la ampolla de vidrio donde se verifica la descarga, rinden esta ampolla fosforescente.

Después de una discusión que tuvo sobre este tema con Henri Poincaré, Becquerel pensó que, con mucha probabilidad, la fosforescencia estaba íntimamente ligada con la emisión de los rayos x. Por consiguiente se imponía la realización de un conjunto orgánico de experimentos, planificados racionalmente, con el objeto de observar y verificar si los cuerpos, que se ponen naturalmente fosforescentes cuando se exponen a la luz, emiten rayos x.

Siguiendo esta idea, que después se demostró errada, el eminente físico experimental francés comenzó sus investigaciones observando si algunas sales de uranio, puestas fosforescentes mediante una precedente exposición a la luz del sol, emitían rayos x.

A pesar de su aspecto apasionante, no creo necesario exponer el desarrollo de las investigaciones realizadas por Becquerel, por ser muy conocidas; baste recordar que debido al hecho casual que por varios días no apareció el sol, Becquerel pudo constatar que el uranio, a pesar de no haberse puesto fosforescente, es decir, sin haber sido expuesto al sol y haber adquirido fosforescencia, emitía, de todas maneras, continua y naturalmente radiaciones del tipo de los rayos x, pero todavía más penetrantes.

El lunes 2 de marzo de 1896, el eminente físico francés comunicó a la Academia de las Ciencias su descubrimiento que establecía por primera vez la existencia del fenómeno de la radiactividad natural.

En el año 1898, Marie y Pierre Curie, siempre en Francia, hicieron otros descubrimientos que confirmaban en forma irrefutable el fenómeno de la radiactividad. Me refiero a los descubrimientos del radio y del polonio.

Sucesivamente, en todos los laboratorios de Europa se desarrollaron intensas, febriles investigaciones sobre este tema de tan trascendental importancia.

Puesto que es el núcleo atómico, el que caracteriza la individualidad química de los elementos y dado que durante un proceso radiactivo dicha individualidad queda modificada, en el fenómeno de la radiactividad es el núcleo el que debe desintegrarse.

Quedó por consiguiente evidente que también los núcleos deben ser complejos; también los núcleos deben tener una estructura, puesto que pueden desintegrarse.

En la búsqueda de una posible estructura de los núcleos, los físicos volvieron a una vieja hipótesis propuesta por el médico inglés Prout:

todos los elementos químicos deberían poderse formar con el más simple de ellos, el Hidrógeno.

Por otra parte, las únicas partículas elementales conocidas en aquel tiempo, eran el electrón y el protón, o núcleo del átomo de Hidrógeno; así que la hipótesis de la unidad de la materia, se presentaba de la manera siguiente: todos los núcleos atómicos (con excepción del Hidrógeno), deben ser formados por protones y electrones. Pero la masa del electrón es prácticamente despreciable con respecto a la del protón; así que, con esta hipótesis resultaba que la masa de cada núcleo debía ser, muy aproximadamente, igual a un múltiplo entero de la masa del protón. Sin embargo, este resultado estaba completamente en desacuerdo con el hecho que los pesos atómicos no tienen generalmente valores enteros; surgía así una dificultad muy grave que parecía demoler la hermosa concepción de la unidad de la materia.

Esta dificultad fue superada con el descubrimiento de la "isotopía" hecho también en Europa, y principalmente por los físicos ingleses Thomson y Aston.

Estudiando las desviaciones que experimentan los átomos con carga eléctrica, bajo la acción de campos eléctricos y magnéticos, es decir, utilizando un aparato llamado "espectrógrafo de masa", estos eminentes investigadores, demostraron que núcleos con el mismo número atómico, es decir, con la misma carga eléctrica, la misma construcción electrónica periférica, y por consiguiente con las mismas propiedades químicas, pueden tener masas diferentes.

Antes de este importantísimo descubrimiento todos afirmaban que cada elemento estaba constituido de átomos de igual masa y de iguales propiedades físicas y químicas, después ya no podía considerarse verdadera esta afirmación; era necesario pensar que casi todos los elementos son mezclas de dos o más especies de átomos de diferentes masas, pero con propiedades químicas idénticas, de modo que no pueden ser separados por medios químicos. Cada una de estas especies de átomos (y por consiguiente la substancia correspondiente, cuando se logra obtenerla pura) se llama "nuclido".

Los elementos químicos, entonces, no son cuerpos simples en sentido absoluto, sino solamente en sentido químico: los verdaderos cuerpos simples son los nuclidos.

El descubrimiento de la isotopía eliminó casi completamente las graves dificultades que se habían presentado en la nueva teoría de la unidad de la materia.

En efecto, si se toma en cuenta la isotopía se ve que las masas de

todos los núcleos atómicos son muy aproximadamente múltiplos enteros de la masa del protón.

Sin embargo, el descubrimiento de la isotopía no eliminó completamente las dificultades que se habían presentado (como dije anteriormente) en la nueva teoría de la unidad de la materia. Aun tomando en cuenta la isotopía, las masas de los núcleos no son en realidad múltiplos enteros exactos de la masa del protón. La diferencia entre la masa de un núcleo y el múltiplo entero más vecino de la masa del protón es pequeñísima, pero no nula y se llama "defecto de masa".

El origen de esta diferencia se explica en forma plenamente satisfactoria mediante el "principio de inercia de la energía" establecido en el año 1905 por el más grande de todos los físicos de nuestra época: el sumo físico alemán Albert Einstein.

Pero entonces, si los núcleos son edificios complejos que, en el caso de los radionuclidos naturales, tienen la facultad de desintegrarse espontáneamente, debe ser posible provocar su desintegración con medios exteriores.

Fue el gran físico inglés Ernest Rutherford que en el año 1919 logró realizar la primera desintegración nuclear; Lord Rutherford fue así el primer ser humano que haya sido capaz de transformar un elemento químico en otro, haciendo realidad el antiguo sueño de los alquimistas.

Bombardeando átomos de Nitrógeno con partículas "alfa" (núcleos de Helio) observó que los núcleos de Nitrógeno pueden absorber estas partículas, desintegrándose en seguida en un núcleo, isótopo del Oxígeno y en un protón veloz.

El Nitrógeno origina así, por desintegración, Oxígeno e Hidrógeno.

Fue entonces en Europa, en Inglaterra, que se realizó la primera desintegración artificial que corresponde quizás a uno de los objetivos científicos de más trascendental importancia alcanzado por el hombre.

En el año 1932 se realizó también en Europa un descubrimiento que puede considerarse de fundamental importancia para la interpretación de la estructura del núcleo. Me refiero al descubrimiento del neutrón que es una partícula de masa muy aproximadamente igual a la del protón, pero sin carga eléctrica.

El descubrimiento del neutrón es el resultado de una admirable colaboración científica que empieza con el alemán Bothe, sigue con los franceses Joliot y Curie, y termina con el inglés Chadwick.

En los primeros experimentos se obtuvo esta partícula, bombardeando con partículas "alfa" (núcleos de Helio), algunos átomos livianos (en particular el Boro, el Litio y sobre todo el Berilio).

Inmediatamente después del descubrimiento del neutrón el sumo físico alemán, Werner Heisenberg, concibió una teoría sobre la estructura de los núcleos que resultó mucho más exacta que la antigua.

Según Heisenberg, los núcleos no estarían constituidos por protones y electrones, sino por protones y neutrones. La producción de electrones negativos o de electrones positivos, que se verifica en las desintegraciones naturales y artificiales, se explicaría entonces, no por el hecho que estos electrones preexisten con su individualidad en el núcleo, sino por el hecho que si un núcleo emite un electrón negativo, entonces un neutrón del núcleo se transforma en un protón; si en cambio un núcleo emite un electrón positivo, entonces es un protón que se transforma en neutrón. Por consiguiente, según la concepción de Heisenberg el protón y el neutrón corresponderían a dos estados, el primero cargado positivamente y el otro neutro, de una misma partícula pesada, el "nucleón", que viene a ser el constituyente fundamental de los núcleos atómicos.

Esta concepción fue el fundamento de la teoría de los núcleos atómicos y resultó de notable utilidad para el estudio y la previsión de todas las innumerables reacciones nucleares realizadas hasta hoy.

Uno de los descubrimientos de más trascendental importancia, comparable con la realización de la primera transmutación artificial de la materia, hecho (como hemos dicho) por Rutherford en Inglaterra, fue el descubrimiento del fenómeno de la radiactividad artificial. A comienzos del año 1934 los cónyuges Joliot-Curie, en Francia, bombardeando un cierto número de sustancias con partículas "alfa" (núcleos de Helio), encontraron que las sustancias bombardeadas se convertían en sustancias radiactivas, es decir, lograron la producción de radiactividad artificial.

El descubrimiento era extremadamente importante, siendo el primer caso que la radiactividad se substruía a aquellas leyes ineludibles según las cuales, hasta entonces, se creía que los fenómenos radiactivos no se podían de ninguna manera producir artificialmente. Con el descubrimiento de los eminentes físicos franceses Joliot y Curie se aprendió por primera vez a "fabricar" sustancias radiactivas.

Hoy día se conocen los isótopos radiactivos de todos, he dicho de todos, los elementos y más de la mitad de los nuclidos conocidos son radiactivos; en otros términos, hoy día, la radiactividad nos aparece como un fenómeno mucho más general e importante de lo que podía aparecer antes de 1934. La radiactividad artificial ha otorgado además el medio de mejorar enormemente el estudio de las transmutaciones artificiales, por el hecho que cuando los productos de estas transmu-

taciones son radiactivos, se pueden revelar muy fácilmente sea mediante los efectos de sus radiaciones como por medios químicos.

Y ahora (estamos en el año 1934) vamos a continuar nuestra historia, quedando siempre en Europa, pero trasladándonos de Francia a Italia; vamos precisamente en Roma, en el Instituto de Física de aquella Universidad, dirigido, en aquel tiempo, por el dinámico y genial físico italiano Orso Maria Corbino.

En el año 1934, entre el personal docente del Instituto de Física de la Universidad de Roma, estaba un joven físico que durante toda su activísima vida alcanzó a realizar investigaciones y descubrimientos, sea teóricos como experimentales, de envergadura tan notable que fue considerado, justamente, como uno de los más grandes físicos contemporáneos.

Me refiero al físico italiano Enrique Fermi.

Ahora bien, fue precisamente en 1934, poco después del descubrimiento de la radiactividad artificial, que Fermi pensó que no sólo las partículas "alfa" podrían producir esta radiactividad artificial, sino también los neutrones y era previsible (lo que la experiencia confirmó sucesivamente) que los neutrones debían presentar muchas ventajas con respecto a las partículas "alfa", porque siendo eléctricamente neutros, podrían acercarse al núcleo atómico positivo sin ser repelidos.

Fue así como Fermi inició en 1934 sus célebres investigaciones, y en menos de un año, trabajando día y noche con un entusiasmo y una actividad impresionantes, él y sus colaboradores de la "Escuela de Roma", Amaldi (actual Director del Instituto de Física de la Universidad de Roma), Rasetti, D'Agostino, Segré y Pontecorvo, lograron obtener e identificar más de cincuenta elementos radiactivos.

En el año 1934 yo estaba en Italia, desempeñando la cátedra de Física Experimental y la Dirección del Instituto de Física en la Universidad de Siena, y seguí muy de cerca las trascendentales investigaciones que se realizaban en Roma, tanto que creo poder contaros, en forma, diría, familiar, lo que sucedía en el Instituto de Física de aquella Universidad, casi como si hubiese tenido la suerte de participar personalmente en estos trabajos.

En realidad esto no tiene nada de raro, por el contrario, tengo el convencimiento que cualquier físico que trabajara en Italia en aquel tiempo, cualesquiera que fuesen sus actividades científicas, habría podido hacer lo mismo, tanto fue el interés que despertaban los descubrimientos que nacían en Roma.

Para obtener la radiactividad artificial mediante los neutrones, Fermi

y sus colaboradores utilizaron medios experimentales de sorprendente sencillez.

Trataron ante todo de obtener una fuente de neutrones porque, como es sabido, no existen en la naturaleza fuentes directas de estas partículas, siendo ellas mismas el producto de una desintegración nuclear.

Voy, por lo tanto, a contaros brevemente cómo nuestros geniales investigadores lograron materializar una fuente neutrónica que une en forma maravillosa las dotes de sencillez y eficacia.

Dicha fuente consiste simplemente en un tubito de vidrio de más o menos un centímetro y medio de altura, donde se ponen gránulos de Berilio.

Antes de soldar el tubito se introduce en él una cierta cantidad de Emanación de Radio, "Radón".

Las partículas "alfa" (núcleos de Helio) emitidas por el "Radón" chocan sobre el Berilio produciendo neutrones.

Se trata fundamentalmente de la reacción Joliot-Curie, que en este caso da lugar a la producción de aproximadamente un millón de neutrones cada segundo.

La fuente neutrónica utilizada, por lo tanto, era no sólo muy sencilla, sino que también notablemente cómoda, por cuanto (entre otras cosas), no tenía necesidad de ninguna mantención. La Emanación de Radio, "Radón", una vez introducida en el tubito, emitía partículas "alfa" sin necesidad de ninguna intervención o ayuda del experimentador y el aparatito continuaba así, automáticamente, produciendo neutrones.

Ahora, para obtener la radiactividad artificial por medio de los neutrones así producidos, Fermi y sus colaboradores procedían también de manera muy sencilla.

En efecto, el experimento se realiza de la siguiente forma:

Cerca de la fuente neutrónica se pone, por ejemplo, una laminilla de Aluminio o una laminilla de Fierro, o una laminilla del elemento que se quiere estudiar, y se le deja por un cierto tiempo, que puede ser de minutos, horas, días, según los casos.

Los neutrones que salen de la fuente logran golpear algunos núcleos de estas substancias. Esto se verifica sobre todo por el hecho que cuando un neutrón se acerca a un núcleo de un átomo del elemento bombardeado, no es repelido, porque es neutro. Por consiguiente, a pesar de que el núcleo es muy pequeño, y, por lo tanto, un blanco bastante difícil, la probabilidad que tiene el neutrón de llegar hasta el núcleo bom-

bardeado es bastante notable, porque el núcleo no puede defenderse, por decirlo así.

Ahora bien, cuando el neutrón golpea el núcleo, pueden verificarse fenómenos diversos, es decir, pueden verificarse reacciones de tipo muy diferente.

En cada una de estas reacciones se forma un núcleo diferente de aquel bombardeado; se parte, en general, de un núcleo estable y se llega la mayoría de las veces a un núcleo no estable, es decir, a un núcleo radiactivo.

Pero como es sabido, la radiactividad puede medirse con métodos experimentales bastante sencillos y de refinada sensibilidad, como por ejemplo, mediante los contadores Geiger y Müller.

Aun cuando sean pocos los átomos radiactivos que se desintegren en un segundo o en un minuto, el contador Geiger-Müller logra señalar las desintegraciones correspondientes. Por consiguiente, a pesar que el fenómeno en los experimentos de Fermi abarcaba cantidades extremadamente pequeñas de materia, se podía observar con mucha facilidad.

Puesta en evidencia la radiactividad de la laminilla del elemento en examen, bombardeada por los neutrones que salían del tubito de vidrio con Berilio y "Radón", era necesario hacer el análisis químico del producto mismo.

Llamaban a gritos a D'Agostino, el químico del grupo para que actuara en sus funciones peculiares, y D'Agostino superó siempre las dificultades en forma satisfactoria.

Como dije anteriormente, en el período más o menos de un año, Fermi y sus colaboradores lograron descubrir e identificar por primera vez en la historia de la ciencia, más de cincuenta nuevos elementos radiactivos, así que los neutrones, como había intuido y previsto la genial mente directiva del equipo, resultaron un medio potente y eficaz para la producción de la radiactividad artificial.

Por la suerte que tuve de seguir, desde Siena, paso a paso las investigaciones de Roma, puedo contaros ahora que después de estos maravillosos resultados, nuestros geniales físicos estaban convencidos que los neutrones habían dado, más o menos, todo lo que podían dar, cuando un día el grupo tuvo la suerte, de hacer uno de esos descubrimientos en los cuales el azar desempeña un papel dominante. He dicho dominante, pero no exclusivo, porque como lo demuestran numerosos ejemplos de la historia de la ciencia, nunca el azar por sí sólo es suficiente para dar lugar a un gran descubrimiento; es indispensable que sea acompañado por la aguda observación del investigador, que con su genialidad logra aprovechar el hecho casual que se le presenta, para

obtener las deducciones apropiadas para realizar el descubrimiento científico.

Sin embargo Fermi, después del descubrimiento de las propiedades de los "neutrones lentos", se expresó con toda franqueza con estas palabras:

"Fue una experiencia que no habría esperado nunca que se verificase. Y esto no es para mí muy halagador, porque como físico teórico debería tener la capacidad de prever lo que puede suceder durante una investigación científica, en cambio, el descubrimiento de las propiedades de los "neutrones lentos", resultó así en forma casual, imprevista, sin ser buscada de ninguna manera en forma racional".

Voy ahora a contaros cómo nuestros investigadores hicieron este importantísimo descubrimiento científico verdaderamente trascendental, ya que este descubrimiento permitió después a Fermi idear, proyectar y construir su "Pila Atómica" con la que se inicia la verdadera "Era Atómica", en otros términos, el pasaje histórico desde los experimentos de laboratorio, donde las energías en juego eran notablemente limitadas, hasta los experimentos en escala práctica industrial, donde las energías en juego son, en cambio como sabéis, enormes.

En aquel período de intensa y febril actividad, había evidentemente un notable desorden y confusión en los laboratorios del Instituto de Física de la Universidad de Roma, y nuestros físicos trabajaban necesariamente en condiciones no perfectamente reproducibles, porque había muchos elementos por investigar y a veces se debía investigar algunos, a veces otros, de manera no siempre idéntica en los varios casos.

Ahora bien, debido a este modo un poco irregular de proceder se empezaron a notar diferencias que parecían sin explicación; es decir: a veces la actividad inducida por el bombardeo neutrónico en ciertas condiciones resultaba pequeña, a veces resultaba grande, sin una modalidad bien definida y determinada. Entre otras cosas resultó el hecho asombroso que poniendo la laminilla por bombardear bastante lejana de la fuente neutrónica, donde la actividad habría debido resultar casi nula, se obtenía, en cambio, una cierta actividad, a veces mayor que la que se medía cuando la laminilla estaba cerca de la fuente neutrónica.

Puesto que el fenómeno, aunque extraño, podía reproducirse, se empezó a hacer una serie de observaciones un poco al azar, poniendo las laminillas por activar ahora aquí, ahora allá, con la esperanza de coger algunas circunstancias que dieran una clave para resolver el problema; y la clave resultó por casualidad cuando un pequeño pedazo de parafina, por el desorden que había en el laboratorio, se encontró casualmente entre la fuente neutrónica y la laminilla por

bombardear; este pequeño pedazo de parafina hizo aumentar en forma apreciable la actividad del elemento bombardeado.

Fermi y colaboradores se dieron cuenta inmediatamente que allí, en este pequeño pedazo de parafina, estaba la clave para resolver el problema.

Orientaron entonces sus investigaciones en ese sentido, cambiando en seguida el pequeño pedazo de parafina con otro mucho más grande, de modo que todos los neutrones que salían de la fuente de Berilio y "Radón" debían atravesar la parafina para llegar a la laminilla por bombardear.

La intensidad de la actividad radiactiva resultó entonces muy grande; resultó multiplicada por un factor que variaba de 25 a 50 veces, según el caso.

Ya no había ninguna duda; la parafina colocada entre la fuente neutrónica y la laminilla por bombardear, en vez de disminuir la acción del bombardeo, aumentaba notablemente la actividad.

Se trataba entonces de un fenómeno bastante raro, pero absolutamente cierto.

Fermi intuyó inmediatamente la razón de dicho fenómeno, que, según él, como físico teórico debía haber previsto: se trata de la propiedad característica de los neutrones lentos, que precisamente debido a su lentitud, tienen una probabilidad mucho mayor que la de los veloces, de ser captados por los núcleos de los elementos bombardeados.

Después de este descubrimiento, Fermi y sus colaboradores, de la Escuela de Roma, iniciaron una nueva etapa en sus investigaciones.

Utilizando los neutrones lentos, con un trabajo científico sistemático verdaderamente maravilloso, lograron, en pocos años, por primera vez en la historia de la ciencia, desintegrar todos los 92 elementos de la naturaleza.

En 1938, especialmente por estas trascendentales investigaciones, Fermi obtuvo el Premio Nóbel.

Después de haber recibido el Premio Nóbel, Enrique Fermi se trasladó a Estados Unidos, donde obtuvo la cátedra de Física en la Universidad de Columbia, ocupando posteriormente la misma cátedra en la Universidad de Chicago.

Fue precisamente en Chicago que Fermi realizó su obra cumbre, su obra de más trascendental importancia: la realización de la "Pila Atómica".

La "Pila Atómica" de Fermi, a veces conocida con el nombre de "Pila de Uranio y Grafito" a causa de su estructura, funcionó satisfactoriamente, por primera vez en Chicago el 2 de diciembre de 1942.

Por consiguiente, el 2 de diciembre de 1942 debe considerarse un día memorable, no sólo en la historia de la ciencia, sino también en la historia de la humanidad.

En efecto, es el día en que se da comienzo a la "Era Atómica" actual.

No creo posible, ni oportuno, desarrollar las características de los diferentes tipos de "Pilas Atómicas" o "Reactores Nucleares", como ahora se llaman, que la ciencia y las técnicas modernas, han logrado realizar, desde la primera "máquina" de Fermi.

Deseo sí afirmar explícitamente que, en este caso, las contribuciones para estas complejas y difíciles realizaciones, no se deben solamente a Europa, por el contrario, se deben sobre todo a otros países extra-europeos, especialmente a Estados Unidos: sin embargo, deseo, por otra parte, poner de relieve, que en todos estos "aparatos", dominan los fenómenos de la "fisión nuclear" y de la "reacción en cadena" y no puedo ocultar que los descubrimientos de estos fenómenos se deben a una admirable sucesión de investigaciones, en las cuales, los nombres del italiano Fermi y de los alemanes Hann, Straussman, Meitner y Frisch, figuran como pioneros para este nuevo método que ha encontrado el hombre para producir energía.

Nuevo método que, como dije, ha dado comienzo a una nueva era para la humanidad.

Esta reseña, a pesar de haber sido necesariamente incompleta e intencionadamente sólo informativa, conceptual y cualitativa, espero que haya podido poner en relieve el aporte decisivo de la física europea en el desarrollo de las investigaciones que han conducido a la conquista del mundo atómico.

Sin embargo, las ciencias en general y la física en particular, son por su naturaleza, internacionales, es decir, no pueden detenerse, ni se detienen, en las fronteras de ciertos países o en los límites de ciertos continentes; sin embargo, nadie puede refutar que el aporte de la vieja y siempre, eternamente joven Europa, fue y es de importancia básica para el progreso científico mundial.

La ciencia avanza inexorablemente, con un proceso que me atrevería a definir como un proceso de dilatación; porque la conquista de nuevos descubrimientos, ampliando el área del conocimiento, amplía también el área de las cosas desconocidas y aleja en cambio de acercar la ilusión del hombre de poder alcanzar el dominio absoluto y definitivo de la verdad.

Es la eterna, tormentosa vicisitud del humano saber.

En la física en particular, como en la ciencia en general, no hay

reposo, no hay límites donde descansar. En efecto, la meta de un científico no es, no puede ser, el inalcanzable dominio absoluto y definitivo de la verdad, sino que es el noble e inagotable esfuerzo para perseguir esa verdad, aun sabiendo de no poderla alcanzar jamás.

En esta maravillosa y noble carrera hacia la investigación de la verdad, todos los pueblos civilizados actúan y deben actuar con un sentido de colaboración y armonía, uniendo y orientando sus esfuerzos hacia un objetivo que no debe ser solamente material.

Verdad y utilidad nunca deben confundirse.

Las ciencias en general y la física en particular, no deben considerarse, no son, solamente factores de progreso material, sino que deben considerarse, y son, un elemento de enorme importancia en la evolución espiritual del hombre.

Los descubrimientos científicos son conquistas del espíritu; y estas conquistas del espíritu no deben dirigirse exclusivamente hacia la realización del progreso material.

Actualmente, el intercambio de conocimientos puede realizarse en mucha mayor medida que hace tiempo: debe actuarse e intensificarse, este intercambio, con honradez y con un noble sentido de colaboración y armonía, entre todas las naciones del mundo, para lograr un siempre mayor adelanto, no sólo material, sino también, y sobre todo, espiritual del hombre.