

EL CAMINO que desembocaría en los trágicos acontecimientos de Hiroshima y Nagasaki relatado en un artículo anterior puede considerarse que empieza cuando James Chadwick descubre en 1932 el neutrón. Esta nueva partícula había sido predicha por Ernest Rutherford once años antes y casi identificada por W. Bethe como una "radiación penetrante" en 1930. Pronto se comprueba que es prácticamente igual al protón de los núcleos atómicos, pero sin carga eléctrica. Sin embargo, y esto es clave, sí lo hace con el protón mediante un nuevo tipo de fuerza de la naturaleza (la llamada Interacción Fuerte) que tiene para la Física la misma consideración que la Fuerza Gravitatoria o la Electromagnética como una interacción fundamental.

Serán W. Heisenberg y N. Bohr quienes establecerían el esquema básico de núcleo atómico que, a grandes rasgos, consideramos vigente: una pequeña esfera de un radio de una mil billonésima de metro en la que hay protones y neutrones, actuando estos últimos como una suerte de pegamento nuclear para contra restar las intensas fuerzas de repulsión eléctrica entre los protones. Quedaba claro que la clave de la estabilidad de los núcleos eran los neutrones y este nuevo modelo permitió diseñar experimentos para averiguar qué ocurría a esa escala ínfima de la materia. Resumamos algunas conclusiones para ver el estado de la cuestión en los años treinta del siglo XX.

Del mismo modo que la emisión de luz por los átomos nos proporciona información de su estructura (así se consiguió entender de qué están hechos) los núcleos emiten diversos tipos de radiaciones. Es la Radiactividad que se conocía desde finales del siglo XIX gracias a Becquerel y los Curie. En ocasiones los núcleos emiten radiación electromagnética de energía mucho mayor que la de los átomos (rayos gamma). Emiten también electrones (rayos beta) fácilmente identificables. Para justificar su presencia se ha tenido que introducir la última de las interacciones fundamentales de la naturaleza, la denominada Interacción (o fuerza) Débil. Emiten, por último, unas partículas pesadas y cargadas positivamente (rayos alfa), que se identifican como



Frederick Joliot e Irene Curie.

núcleos de Helio, es decir, dos protones y dos neutrones.

Los núcleos atómicos se presentan en la naturaleza de diversas formas. El número de protones define el elemento químico y le da, por así decirlo, su identidad química y el nombre. La masa del núcleo depende esencialmente de la suma de neutrones más protones, ya que ambos tienen un peso casi exactamente igual, y dos mil veces mayor que el de los elec-

Las bombas nucleares: el camino a la fisión



trones. Un elemento (caracterizado por un número de protones), puede existir en diferentes variedades con diferente número de neutrones. Son los llamados isótopos. Hay que decir que esto es lo normal. Todos los elementos tienen isótopos. Así por ejemplo, el Hidrógeno puede existir en su variedad ordinaria con un núcleo formado sólo por un protón, o aparecer como Deuterio (un protón y un neutrón) o bien incluso como el mucho más

raro Tritio (un protón y dos neutrones). El Uranio, tiene hasta once isótopos.

Los isótopos pueden, al emitir las radiaciones antes vistas, cambiar sus propiedades, transformándose en otros isótopos o incluso en otro elemento. A eso nos referimos cuando hablamos de isótopos radioactivos, proceso que ocurre espontáneamente en la naturaleza. Cuando y cómo ocurre una transformación radiactiva de forma natural sigue una ley característica que sólo entendemos gracias a la Mecánica Cuántica. Sabemos por ejemplo que la mitad de la masa del isótopo del Uranio más abundante (U238) se trasmuta de modo natural a otros elementos al cabo de unos 4500 millones de años. Es la llamada vida media del isótopo.

Estos conocimientos hicieron posible que, en 1932, Cockroft y Walton provocaran la primera transmutación artificial de la historia (el sueño de los alquimistas), convirtiendo Litio en Helio. Del mismo modo, el matrimonio formado por F. Joliot e Irene Curie consiguió en 1934 obtener Fósforo radioactivo a partir de Aluminio. Era la llamada radioactividad artificial. Ese mismo año el italiano E. Fermi propone la posibilidad de conseguir elementos de mayor peso que el Uranio (transuránidos), no existentes en la naturaleza, vislumbrando la posibilidad de crear nuevos elementos.

Será los Joliot-Curie en 1938 quienes harán una observación trascendental. Al inducir radiactividad artificial a partir del Uranio el resultado son muestras mucho más radiactivas que lo esperado y la proporción de los nuevos isótopos esperado tampoco cuadraba. Algo raro estaba pasando.

Para entonces N. Bohr había desarrollado un modelo cuantitativo del núcleo y en base a él, en Austria, Otto Hann y Fritz Strassman conjeturan una posibilidad asombrosa: puede que el núcleo de Uranio, en determinadas condiciones, se parta en dos pedazos en un proceso nunca pensado. La semilla había sido sembrada. Denominaron a ese proceso FISIÓN NUCLEAR.

Luis Vega.
Universidad de La Laguna.

Maxwell y la mecánica estadística

EN UN ARTÍCULO ANTERIOR mencionamos que las contribuciones de Maxwell fueron más allá de sus muy famosas ecuaciones del campo electromagnético, que, en último término, desvelaron la naturaleza de la luz. Casi simultáneamente a esos trabajos meditaba sobre la naturaleza del otro gran concepto que permanecía envuelto en una nebulosa en la Física de mediados del siglo XIX: el calor.

Como ya ha sido contado, los trabajos de Rumford, Joule y Carnot, habían terminado por demostrar la falsedad de la teoría del calórico, que durante siglos había sido la explicación de los fenómenos relacionados con la temperatura. Con Helmholtz y Clausius se formaliza la Teoría Termodinámica como una rama de la Física que explica los fenómenos térmicos considerando el calor como una forma de energía. La Termodinámica es una ciencia eminentemente macroscópica, cuyos principios, virtualmente inmutables, no necesitan hacer hipótesis sobre los constituyentes del sistema que se estudie. Era, sin embargo, difícil sustraerse a la idea de que, por debajo de ellos, había una explicación más fundamental en términos mecánicos. El primer intento en este sentido lo propuso Rudolph Clausius, principal responsable de lo que se llamó Teoría Cinética de los Gases. Según ésta los gases están formados de pequeñas partículas microscópicas (moléculas) cuyos movimientos y choques dan cuenta de fenómenos macroscópicos como la presión, siendo la temperatura una medida de la energía cinética de las partículas del gas.

Inicialmente Maxwell intentó aplicar la teoría de William Thomson acerca de la naturaleza del calor, con el propósito de unificar todos los fenómenos físicos conocidos en torno a los vórtices moleculares. Para Lord Kelvin, los movimientos rotatorios asociados a los vórtices podrían explicar los fenómenos térmicos. El éter estaría constituido por átomos rodeados de atmósferas elásticas auto-repulsivas, y la materia ordinaria ocuparía los intersticios entre vórtices contiguos. La naturaleza de este éter debería ser un fluido continuo o molecular, que es precisamente el que adoptaría Maxwell en su primer modelo electromagnético.

En 1857 Maxwell lee un artículo de Clausius en el que las supuestas moléculas de materia que formarían los gases, además de moverse en trayectorias rectas, también pueden vibrar y rotar. En el artículo Clausius introduce un concepto fundamental, el recorrido libre medio; la distancia media entre las sucesivas colisiones de las moléculas en un gas. Para el aire ordinario, esta distancia es del orden de la diezmilésima parte de un milímetro, produciéndose tres mil millones de colisiones en un segundo. Una de las suposiciones de su teoría era que, siempre en promedio, las moléculas tenían la misma velocidad entre colisiones sucesivas. Maxwell abandona la idea de los vórtices y adoptando el punto de vista de Clausius revisa esta teoría. La principal corrección de Maxwell a esta teoría consistió en la interpretación estadística de la distribución de velocidades moleculares, basándose igual que Clausius, en la



J.C. Maxwell

suposición de que las moléculas se comportan como esferas perfectamente elásticas. La conclusión a la que llegó en 1860 fue que, a temperatura, presión y volumen constante, las velocidades en un gas ideal (concepto introducido por Clausius en 1857) sigue una distribución normal del mismo tipo que la encontrada por Gauss en 1809 para la distribución de errores aleatorios cometidos en la medida de una magnitud física. Esta distribución recibe hoy el nombre de Maxwell (y Boltzmann, pero eso es otra historia). Con este trabajo surge lo que con el tiempo se llamará Mecánica Estadística.

Los fenómenos naturales, en la visión inaugurada por Maxwell, descritos mediante los movimientos e interacción entre un gran número de partículas, han de ser explicados en términos de probabilidades. Esto no supone una ruptura con su concepción determinista de la naturaleza, más bien se trata de una herramienta de la que el hombre práctico debe hacer uso inteligente ante la imposibilidad de tratar con la interacción real entre tantas variables.

En 1871 en su libro Theory of Heat podemos encontrar una referencia sobre la limitación de la segunda ley de la termodinámica.

Como se sabe, esta ley prohíbe que entre dos cuerpos a diferente temperatura se pueda transmitir el calor del cuerpo frío al cuerpo caliente. Maxwell imagina un ser, denominado por Lord Kelvin el demonio o diablillo de Maxwell. (El nombre "Demonio" proviene aparentemente de un juego de cartas solitario conocido en Gran Bretaña en el que se debían ordenar cartas rojas y blancas análogas a moléculas calientes y frías). En un pasaje de este libro Maxwell describe éste hipotético ente que "...abriendo y cerrando una compuerta en el interior de un sistema aislado a presión y temperatura constante, permite el paso de las moléculas más veloces en un sentido, y las más lentas en sentido contrario. De esta manera, sin gasto de trabajo, la temperatura aumentaría en el primer sentido y disminuiría en el otro. La paradoja de Maxwell fue resuelta por Leo Szilard en 1929, al demostrar que el diablillo siempre creaba al menos tanto entropía como la que destruye.

En 1875 daría a conocer el Teorema de Equipartición de la Energía, que viene a decir que la energía cinética de las partículas en un gas a temperatura constante, (debida al movimiento de las moléculas en un gas que colisionan entre sí) debe repartirse por igual entre todas sus partes. Esta consecuencia sin embargo, no predecía correctamente el valor experimental de la relación entre calores específicos (el calor específico o capacidad calorífica específica de una sustancia es la cantidad de calor necesaria para aumentar su temperatura en una unidad por unidad de masa, sin cambio de estado). Este hecho constituía un problema que ponía en duda las bases en las que se fundamentaban la incipiente mecánica estadística, y cuya solución no llegaría hasta el descubrimiento de la cuantificación de los estados de energía permitidos en un sistema, es decir, con el nacimiento de la mecánica cuántica.

Los trabajos de Maxwell cubrieron una enorme laguna en campos muy diferentes de la Física, y su programa de unificación de la comprensión de la naturaleza tendría enormes consecuencias que impregnan, aún hoy, la Física.

Antonio J. Moreno Checa
Universidad de La Laguna