

DESMENUZANDO LA MATERIA

... en busca de los orígenes de la física de partículas

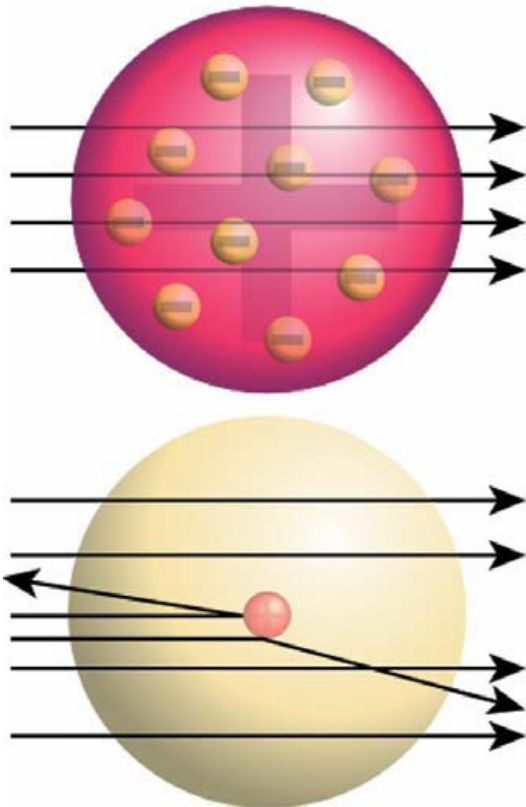
Silbia LOPEZ DE LACALLE (IAA_CSIC)

Lo que hoy constituye, para los profanos, una disciplina complejísima, comenzó como una cuestión filosófica que buscaba los fundamentos de la materia o, más concretamente, aquel elemento simple que no estaba compuesto por piezas menores. Si bien los filósofos indios ya hablaban, en el siglo VI a.C, de unidades que formaban elementos más complejos formando pares, y después tríos de pares, fue el griego Demócrito quien, dos siglos después, acuñó el término átomo para describir la partícula de materia más pequeña e indivisible. Pero su teoría no cuajó y, en cambio, sí la de Aristóteles, que proponía como elementos fundamentales el fuego, el agua, la tierra y el aire. Así, por ejemplo, los metales estaban formados por el elemento tierra y una pizca de los otros, mientras que los objetos menos densos tenían, sencillamente, menos proporción de tierra. Otra cuestión eran los cuerpos celestes, que no estaban compuestos por los cuatro elementos ordinarios sino por el quinto elemento, el éter, incorruptible y sin peso. Por extraño que nos parezca, esta visión aristotélica del mundo material sobrevivió durante siglos, hasta que los nuevos descubrimientos en el campo de la química impusieron una revisión; más concretamente, fue Robert Boyle quien, con su obra publicada en 1661 y titulada *El químico escéptico*, fijó el punto de inflexión: Boyle defendía una teoría en la que describía la realidad y sus cambios mediante corpúsculos (átomos) y sus movimientos, y ofrecía evidencias experimentales y descripciones detalladas de sus experimentos.

De nuevo, transcurrieron siglos (cuyos hitos tenemos que saltarnos) hasta que se reveló la estructura del átomo y resultó que tampoco es la partícula fundamental e indivisible: en 1897, el físico J.J.Thomson descubrió la existencia de los electrones como constituyentes del átomo y, en 1904, planteó una descripción conocida como "modelo del pudín de ciruelas" en la que el átomo se compone de electrones rodeados por una nube de una sustancia positiva -eso sí, el nombre no refleja del todo el modelo de Thomson porque aporta un matiz estático, en tanto que el artículo original aludía a una estructura dinámica ya en el mismo título (*Sobre la estructura del átomo: una investigación de la estabilidad y los periodos de oscilación de un número de corpúsculos situados en intervalos iguales en torno a la circunferencia de un círculo*).

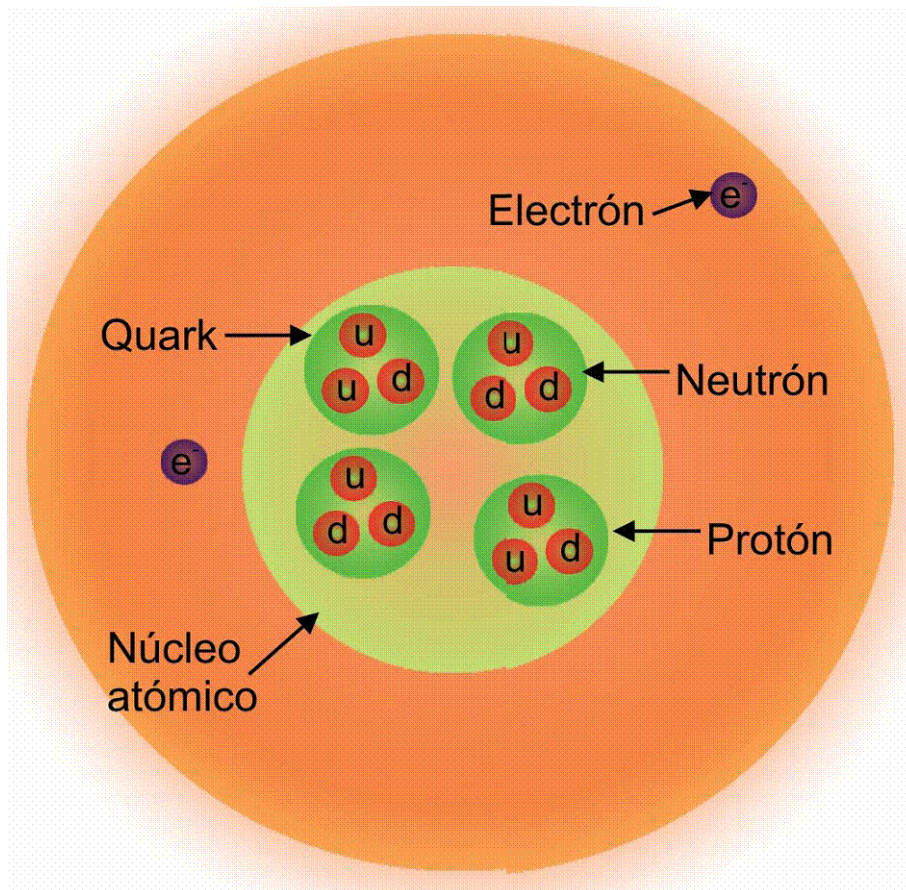
El modelo de Thomson quedó descartado en 1909 por el siguiente experimento, realizado por Hans Geiger y Ernest Marsden y liderado por Ernest Rutherford: los investigadores bombardearon una hoja de oro con iones de helio cargados positivamente y descubrieron que un pequeño porcentaje se desviaba en ángulos mucho mayores que los predichos por Thomson. Esto llevó a Rutherford a pensar que la carga positiva de un átomo, así como la mayor parte de su masa, se hallaba concentrada en un núcleo central, con los electrones girando en torno a él como los planetas alrededor del Sol (por eso los iones de helio que pasaban cerca del núcleo sufrían desviaciones tan pronunciadas).

De modo que, a principios del siglo XX, se



Experimento de la hoja de oro. Arriba: los iones pasan a través del modelo de pudín de ciruelas sin alterar su trayectoria. Abajo: los resultados observados muestran una pequeña proporción de partículas desviadas, lo que indica una pequeña y concentrada carga positiva

esbozaba la estructura atómica compuesta por un diminuto y denso núcleo con carga positiva rodeado de una nube de electrones con carga negativa. Ante esto, la pregunta era inevitable: ¿es el núcleo del átomo, de apariencia tan sólida, la partícula fundamental? Y resultó que tampoco, porque se descubrió que se componía de protones, con carga positiva, y neutrones, que carecen de carga. Volviendo a lo mismo: ¿son los protones y neutrones las partículas fundamentales? No: los físicos descubrieron que se componen de "piezas" aún más pequeñas, denominadas quarks, que, de momento, parecen dar por finalizada la búsqueda al no estar compuestos por nada más pequeño. Y con esto llegamos al modelo moderno de átomo, que vemos en una de las imágenes: electrones moviéndose en órbitas en torno al núcleo, compuesto de protones y neutrones que, a su vez, están formados por quarks. Eso sí, la imagen está distorsionada: si dibujáramos un átomo a escala, donde los protones y neutrones midieran un centímetro de diámetro, entonces los electrones y los quarks medirían menos que un cabello humano y el diámetro de todo el átomo sería mayor que treinta campos de fútbol. Como vemos, el 99,999999999999% del volumen del átomo está vacío.



¿Quiénes son?

Aunque se han descubierto más de doscientas partículas subatómicas, los científicos han intentado ordenarlas a través de lo que se conoce como el Modelo Estándar, que describe de qué está hecho el mundo y qué es lo que lo mantiene unido. La receta, muy simplificada, sería más o menos así: tenemos **seis quarks** con nombres muy peculiares y a los que se alude como **pares (arriba/abajo, encanto/ extraño y cima/fondo)** y **seis leptones**, uno de los cuales ya conocemos (el electrón), que también tienen nombres curiosos **electrón, muón, tau** -todos con carga eléctrica-y un tipo de neutrino -sin carga para cada uno de ellos). Para suerte de los profanos, toda la materia que vemos se compone de los quarks y leptones más ligeros, el par arriba/abajo y el electrón, lo que nos devuelve a un escenario algo más familiar: los átomos de la materia ordinaria presentan un núcleo formado por protones y neutrones, compuestos por tres quarks cada uno (un protón=dos quarks arriba y uno abajo; un neutrón=un quark arriba y dos abajo) y una nube de electrones. El resto de partículas fundamentales son más pesadas, y por lo tanto inestables (se desintegran en partículas ligeras), y su existencia está más relacionada con los laboratorios de física de partículas o con escenarios extremos, como el Big Bang.

¿Qué hacen?

AHORA QUE SABEMOS QUE, HILANDO FINO, NOS COMPONEMOS DE LA PAREJA DE QUARKS ARRIBA/ ABAJO Y DE ELECTRONES, FALTA LA SEGUNDA PARTE: ¿QUÉ ES

LO QUE LOS MANTIENE JUNTOS O, DE MODO MÁS GENERAL, CÓMO INTERACCIONAN LAS PARTÍCULAS?

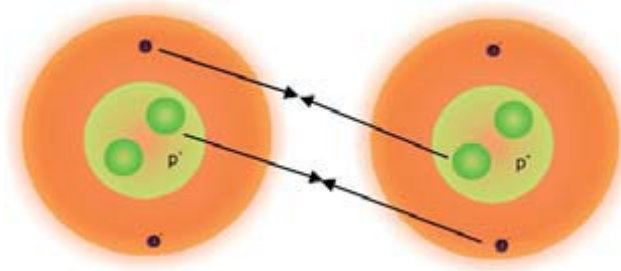
Lo mejor (y lo peor) de este punto es que ni siquiera tienen que tocarse, sino que lo que hacen es intercambiar otro tipo de partículas, conocidas como mediadoras. Aunque esto parezca poco intuitivo, podemos pensar en ellas como transmisoras de información: imaginemos, por ejemplo, dos barcos que navegan en la niebla y van a chocar. Ambos reciben un mensaje que les avisa del peligro y deciden modificar su ruta y evitar el choque. Ese mensaje sería la partícula mediadora que, en la naturaleza, se presenta en cuatro modalidades, o interacciones, distintas: la interacción electromagnética, la nuclear fuerte, la nuclear débil y la gravitatoria.

LA GRAVEDAD

Esta interacción es la más familiar para nosotros porque hace que se caigan las cosas o la Tierra gire alrededor del Sol, pero presenta problemas al Modelo Estándar: Los físicos no han hallado su partícula mediadora, el gravitón, y tampoco han conseguido integrarla en el Modelo Estándar, que sí agrupa con efectividad las otras tres interacciones (por suerte, los efectos de la gravedad en el zoo de partículas descrito son apenas perceptibles, de modo que el Modelo Estándar funciona sin explicarla).

INTERACCIÓN ELECTROMAGNETICA

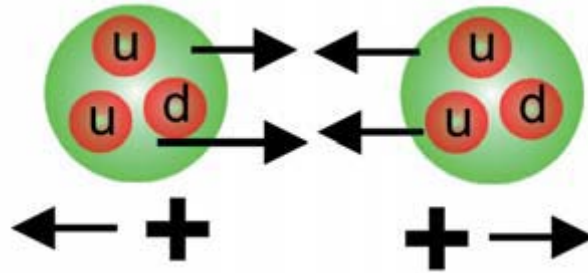
El electromagnetismo provoca que las partículas con igual carga se atraigan y las que tienen carga opuesta se repelan, y su partícula mediadora es el fotón. La interacción electromagnética es responsable de la unión estable de los átomos pero, ¿cómo?, si hemos visto que los átomos son neutros al equilibrar la carga negativa de los electrones y la positiva de los protones... Aquí ocurre otra cosa extraña, y muy afortunada: un electrón de un átomo puede interactuar con el protón de un átomo vecino y generar una unión que permite la formación de moléculas y, por extensión, de "cosas"; por ejemplo, nuestro cuerpo se compone en su mayor parte de agua, una molécula resultante de la unión de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Así que podría decirse que existimos gracias a que los electrones y protones tienen cargas diferentes.



FUERZA NUCLEAR FUERTE

Pero, si el núcleo del átomo se compone de protones y neutrones, y los neutrones carecen de carga y los protones tienen carga positiva (por lo tanto, se repelen), ¿por qué los núcleos atómicos no se deshacen en pedazos? Aquí entra en juego la fuerza nuclear fuerte y su partícula mediadora, el gluón (del inglés "glue", o pegamento). Esta fuerza es responsable de que los tres quarks que forman los protones y los neutrones se queden bien pegados y es capaz de contrarrestar la repulsión provocada por el electromagnetismo (por algo es la fuerza fuerte): los

quarks de un protón sufren atracción por los quarks de otro, lo que vence la repulsión electromagnética existente entre ambos protones.



INTERACCIÓN NUCLEAR DÉBIL

A esta interacción debemos agradecerle no tener que aprendernos todas las Combinaciones posibles de quarks y leptones, y quedarnos con la combinación de los más ligeros (el par arriba/debajo de quarks y el electrón). Las interacciones nucleares débiles provocan que los quarks y leptones masivos decaigan en otros más ligeros, en un proceso extraño: se observa desaparecer una partícula que es reemplazada por dos o más partículas distintas, y siempre más ligeras -de ahí que toda la materia ordinaria se componga del par arriba/abajo y de electrones, que no pueden decaer.

Silbia LOPEZ DE LACALLE

**Este artículo apareció en la revista
Información y Actualidad Astronómica.
Instituto de Astrofísica de Andalucía,
junio, 2008. Nº 25.**