

Introducción

La antimateria es uno de los aspectos más fascinantes de la física de partículas. Cuando se lee o se escucha la palabra *antimateria*, ya sea en los medios, en el cine o en alguna novela, lo primero que se nos viene a la mente es “pero ¿qué es esto de la antimateria?”. De hecho, su mismo nombre evoca un algo reminiscente de la ciencia ficción. Este libro está concebido para contestar esta y otras muchas preguntas sobre la antimateria. Veremos que es el reverso de la materia, pero no el reverso tenebroso, como en la saga de *La guerra de las galaxias*. Nada más lejos de la realidad, pues estamos conviviendo continuamente con la antimateria, así como con los productos de su aniquilación contra la materia. Infinidad de partículas, tanto de materia como de antimateria, alcanzan la superficie terrestre incesantemente y en todas direcciones, provenientes de las capas altas de la atmósfera, en donde se producen como resultado del impacto de los rayos cósmicos con los núcleos atómicos de las moléculas allí presentes; algunas de estas partículas incluso penetran en nuestras casas y edificios atravesando todo lo que encuentran a su paso. Las mismas estrellas son una fuente importante de antimateria, pues esta se produce copiosamente en los hornos nucleares estelares, en la forma de antielectrones, los llamados positrones. Y sucede que la aniquilación de estos con los electrones

del interior de las estrellas produce parte de la luz y del calor que emiten estas; en el caso del Sol, un 10% aproximadamente de la luz visible que nos alcanza proviene de las aniquilaciones electrón-positrón que ocurrieron en su interior varios cientos de miles de años atrás. Por otro lado, algunas sustancias radiactivas naturales que abundan en compuestos orgánicos, como el Potasio-40, emiten positrones, los cuales se aniquilan de inmediato con los electrones de su entorno. Esto hace que, por ejemplo, un plátano mediano emita 15 positrones cada 24 horas, aproximadamente, provenientes de los núcleos radiactivos de los átomos de Potasio-40. Por último, hay que destacar que la antimateria se usa ampliamente y desde hace bastantes años en nuestra sociedad: en medicina como ingrediente esencial de las técnicas de imagen PET, y en tecnología punta de materiales para toda una variedad de propósitos.

En el primer capítulo del libro haremos una breve descripción del conocimiento actual que tenemos sobre las partículas elementales, incluyendo los conceptos teóricos básicos en los que se fundamenta el modelo estándar de la física de partículas. En el segundo capítulo repasaremos los hitos principales sobre el descubrimiento de las partículas de antimateria, explicando las razones físicas que permiten crear estas partículas a partir de colisiones entre partículas de materia ordinaria. Nos detendremos, además, para describir en más detalle los rayos cósmicos y los aceleradores de partículas, que constituyen las fuentes principales de antimateria a las que tenemos acceso, aparte de algunas sustancias radiactivas naturales. En el tercer capítulo explicaremos algunos experimentos que se llevan a cabo en la actualidad en el CERN, cerca de Ginebra (Suiza), con el propósito de analizar la antimateria y compararla con la materia, principalmente las propiedades de los átomos de antihidrógeno versus los átomos de hidrógeno. También comentaremos otros experimentos con la misma finalidad que comenzarán en los próximos meses o años en el CERN, así como en el complejo FAIR, cerca de Darmstadt (Alemania). Después, en un cuarto

capítulo bastante teórico, introduciremos el problema de la asimetría materia-antimateria del universo, y veremos que se reformula más apropiadamente como el problema de la bariogénesis primordial. Este constituye uno de los enigmas más sorprendentes de la física de partículas y de la cosmología. Finalmente, en el quinto y último capítulo nos centraremos en las aplicaciones médicas y tecnológicas de la antimateria, repasaremos su uso en los hospitales para realizar la tomografía por emisión de positrones, técnica más conocida como escáner PET, por sus siglas en inglés, y describiremos brevemente su empleo para multitud de investigaciones en el área de ciencia y tecnología de materiales. Asimismo, explicaremos por qué es inviable utilizar la aniquilación materia-antimateria como fuente de energía para abastecer nuestras casas y ciudades y cubrir así las necesidades más básicas de nuestra sociedad; y esto a pesar de que dicha aniquilación resulta ser el proceso más energético que existe en el universo (mil veces más eficiente que la energía nuclear).

Bienvenidos sean, pues, todos los lectores a embarcarse en la aventura que supone este librito, este viaje al mundo de la antimateria. Pero antes de comenzar, vamos a exponer el significado de algunos términos y conceptos que se repiten a lo largo del texto. A continuación, explicaremos lo que es la velocidad límite c , seguiremos con los términos ión e isótopo, después describiremos las potencias de 10 y finalmente veremos las unidades de masa, energía, tiempo y distancia que se usan en física de partículas, o física de altas energías, como también se la conoce.

Velocidad límite c

La velocidad límite c es la máxima velocidad con la que un cuerpo puede acercarse o alejarse de otro, y su valor es 299.792 km/s. Además, los cuerpos carentes de masa se mueven, de hecho, a esta velocidad a través del vacío, donde no se encuentran con otros cuerpos con los que interactuar. Este

resultado tan asombroso se deduce de la teoría de la relatividad especial, que Albert Einstein formuló en 1905, e incluye también a las partículas subatómicas, por lo cual no es posible acelerarlas, por mucha energía que se les proporcione, para lograr que superen esta velocidad c . A esta se le suele denominar velocidad de la luz por razones históricas, ya que coincide con la velocidad de las ondas electromagnéticas cuando estas se propagan por el vacío. La razón de este comportamiento se debe a que los cuantos de estas ondas, los paquetitos que las constituyen, son las partículas que llamamos fotones, y estos no tienen masa. En contraposición, cuando los fotones, o equivalentemente las ondas electromagnéticas, se propagan a través de un medio material, su velocidad puede ser mucho menor, incluso nula en los medios opacos que los absorben, lo cual depende de las características del material y también de la frecuencia de las ondas. Por ejemplo, una pared ordinaria es opaca para las frecuencias electromagnéticas de la luz visible, pero no para las frecuencias correspondientes a la radio, la TV, los teléfonos móviles, etc., por lo cual estas ondas atraviesan la pared sin mayor dificultad.

Iones

Los átomos se componen de un núcleo central, formado por protones y neutrones, y una corteza externa formada por electrones, en igual número que los protones. En condiciones normales los átomos son neutros, es decir, no tienen carga eléctrica, pues las cargas positivas de los protones (+1 por protón) se compensan con las cargas negativas de los electrones (-1 por electrón). Sin embargo, por diferentes causas los átomos pueden ganar o perder electrones. Por ejemplo, una partícula muy energética proveniente del exterior puede chocar contra un electrón de un átomo y arrancarlo de su órbita, lo cual sucede muy a menudo en nuestra atmósfera. En estas circunstancias los átomos dejan de ser eléctricamente neutros y se les denomina átomos ionizados o iones. Si el ión tiene

exceso de electrones, se trata de un ión negativo, y en caso contrario es un ión positivo.

Isótopos

Los átomos de cada elemento químico, o simplemente elemento, se caracterizan por tener un número determinado de protones en el núcleo. Este es el llamado número atómico, en el cual se basa la clasificación de los elementos que da forma a la tabla periódica. Sin embargo, el número de neutrones de un elemento dado es variable, y caracteriza los diferentes isótopos del elemento que se trate. Por ejemplo, el hidrógeno es el elemento más simple y ligero, pues tiene un solo protón en el núcleo, pero puede tener cero, uno o dos neutrones en su estado natural. Así que existen tres isótopos del hidrógeno en la naturaleza (y otros que se han sintetizado en laboratorios). El más abundante, el hidrógeno ordinario ${}^1\text{H}$, no cuenta con ningún neutrón en el núcleo; el siguiente isótopo en abundancia, el deuterio ${}^2\text{H}$, tiene un neutrón y el tercer isótopo, el tritio ${}^3\text{H}$, tiene dos neutrones y es radiactivo, con un periodo de semidesintegración de 12,3 años (el tiempo que tarda en desintegrarse la mitad de una cantidad cualquiera de este isótopo). El numerito en la parte superior izquierda del símbolo del elemento indica el número másico del isótopo, que es el número de protones más el número de neutrones. El siguiente elemento, el helio, cuenta con dos protones en el núcleo. Tiene varios isótopos, pero solo dos de ellos son estables: el Helio-3, ${}^3\text{He}$, que es el más ligero, y el Helio-4, ${}^4\text{He}$, que es el helio ordinario, mucho más abundante que el anterior.

Potencias de 10

Las potencias de 10, que escribimos como 10^N , tienen un significado muy sencillo. Si la potencia N es un número positivo, este indica el número de ceros que hay que añadir detrás del

1. Por ejemplo, mil se expresa como $10^3 = 1.000$, un millón como 10^6 , 1.000 millones como 10^9 y un billón como 10^{12} . En cambio, si la potencia es negativa, que podemos escribir como 10^{-N} , siendo N un número positivo, los N ceros van delante del 1, ocupando este la N -sima posición decimal. Así, tenemos que una milésima se expresa como $10^{-3} = 0,001$, una millonésima (también llamada micra) como 10^{-6} , una mil millonésima como 10^{-9} y una billonésima como 10^{-12} .

Unidades de masa y energía

Las unidades de masa y energía que se usan en física de partículas son las mismas, ya que ambas son equivalentes a través de la relación $E = m c^2$. Estas unidades se basan en el electronvoltio, eV, que es la energía que adquiere un electrón cuando se encuentra en un campo eléctrico con una diferencia de potencial de un voltio. Esta energía es muy pequeña, por lo cual se usan múltiplos del eV, como el megaelectronvoltio, $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$; el gigaelectronvoltio, $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$; y el teraelectronvoltio, $1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$. La masa de un electrón es de $0,5 \text{ MeV}$, mientras que la masa de un protón o un neutrón es casi de $1 \text{ GeV} = 10^3 \text{ MeV}$, por lo cual los protones y los neutrones son unas 2.000 veces más masivos que los electrones. La equivalencia, en kilogramos, de una masa de $1 \text{ MeV} / c^2$ es de $1,78 \times 10^{-30} \text{ kg}$.

Tiempos y distancias

A la inversa de lo que sucede con las energías, en la física de partículas las distancias y los tiempos son muy pequeños en los procesos y reacciones entre las mismas. Así, para los tiempos se usa: el microsegundo, $1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$; el nanosegundo, $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$; el picosegundo, $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$; el femtosegundo $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$, etc. Análogamente, para las distancias se usa: el micrómetro, $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$; el nanómetro, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$; el picómetro, $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$; el femtómetro $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$, etc.