

### Antipartículas:

Es preciso redefinir conceptos como momento y energía cinética para hacerlos válidos a velocidades relativistas, y por tanto invariantes bajo transformaciones de Lorentz. La energía de una partícula de momento  $p$  y masa  $m$  toma la forma:

$$E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}$$

La observación de esta expresión nos permite concluir:

1. Para una partícula en reposo,  $p = 0$ , obtenemos la famosa equivalencia entre la masa y la energía. Uno de los principios de las reacciones químicas es precisamente la conservación de la masa; sin embargo, la conversión de la masa en energía se produce en las reacciones químicas. Esta fórmula implica que un pequeño cambio en la masa se traduce en una enorme liberación de energía.
2. Aunque el fotón no tenga masa, la fórmula le atribuye momento  $p = E/c$ . Con esto se puede entender que la luz, aun teniendo naturaleza ondulatoria, tenga energía y momento propios, ya que no necesitan un medio para propagarse. En el caso de otras ondas, como en sonido, la energía y el momento son transportados a través del medio en que se propagan. La luz, en cambio, está formada por fotones, tales que al cuantizar su energía como  $E = h\nu$  también su momento queda cuantizado:  $p = h\nu/c$ . De este modo, el fotón se comporta como un corpúsculo que obedece la conservación del momento en las colisiones. Así se explica el efecto fotoeléctrico y la dispersión Compton.

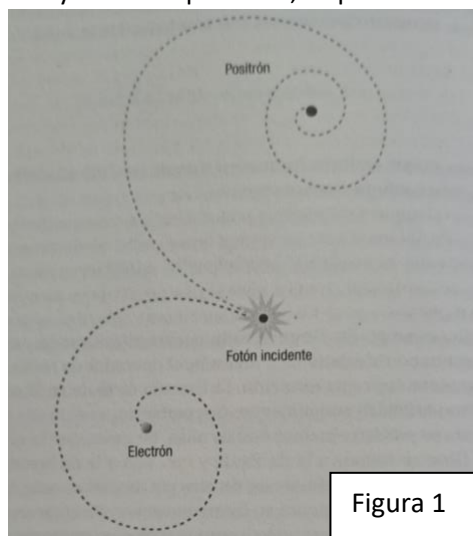
Dirac intentó encontrar una ecuación que pudiese explicar el movimiento relativista del electrón y pudiera aplicarse al movimiento de este en el átomo. De la misma manera que Schrödinger partió de la ecuación clásica de energía,  $E = \frac{p^2}{2m}$ , Dirac partió de la energía relativista:  $E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}$

Para que la ecuación de ondas fuera compatible con la Relatividad, Dirac se vio obligado a convertir la función de onda del electrón en un objeto de cuatro componentes: dos resultaban tener energía positiva y las otras dos con energía negativa. Pero ¿qué es eso de tener energía negativa? Las dos de energía positiva encajaban con las dos componentes de un electrón de espín  $\frac{1}{2}$ . Sin embargo, las otras dos corresponderían a una partícula con las mismas propiedades, misma masa, mismo espín, pero con carga positiva. Para interpretar su significado, inicialmente se supuso que el vacío era como un mar completamente lleno de electrones de energía negativa, que no puede ser ocupado por ninguno más porque los electrones, por tener espín fraccionario, obedecen el principio de exclusión de Pauli que impide que dos electrones idénticos compartan el mismo estado. Un electrón de energía negativa se interpretó entonces como un “hueco” en el mar de Dirac: la ausencia de un estado de energía y cargas negativas ( $-E, -e$ ) equivale a la presencia de un hueco de energía y cargas positivas ( $+E, +e$ ). Así que cuando un electrón “normal” de energía positiva y carga negativa ( $E, -e$ ) rellena un hueco, ambos, electrón y hueco, desaparecen liberándose un par de fotones con energía total igual a  $2E = 2mc^2$ , como mínimo, para que la energía del proceso se

conserve. La carga del electrón se conserva, ( $e - e = 0$ ). El hueco es la antipartícula de electrón.

En un principio, Dirac pensó que el protón podría ser la antipartícula del electrón, puesto que tienen el mismo espín  $\frac{1}{2}$  y cargas iguales y opuestas. Sin embargo el protón es unas 2000 veces más masivo que el electrón, por tanto no encaja en esa descripción. La antipartícula, denominada positrón, fue descubierta por Carl David Anderson en 1932 al investigar la radiación cósmica. Se puede captar la traza de un positrón en una cámara de niebla con un campo magnético. Al partir de la curvatura de la traza, es factible inferir la masa de la partícula que la ha producido. Siendo la masa compatible con la del electrón, queda descartado el protón como su antipartícula. En el modelo estándar la materia está formada a partir de fermiones, de los cuales hemos descubierto al electrón y a su antipartícula, el positrón. Para todas las partículas se encuentran su antipartícula, así que para el protón existe el antiprotón. Se ha especulado con el hecho de que a partir de positrones y antiprotones se podría generar la antimateria. En el laboratorio se ha formado núcleos de antihelio.

El par electrón-positrón (Figura 1), descrito por la ecuación de Dirac, junto al fotón descrito a partir de la ecuación de Maxwell, son las bases de la primera Teoría cuántica de Campos: La Electrodinámica Cuántica.



#### La antimateria en nuestras vidas:

El descubrimiento de la antimateria es un perfecto ejemplo de como la investigación básica, que busca el conocimiento y no la utilidad práctica, puede acabar aplicándose, en un plazo relativamente breve, en algo extraordinariamente beneficioso para la sociedad. Gracias a la antimateria se han ideado nuevos métodos de diagnóstico médico no invasivos.

Los tumores metabolizan la glucosa a mayor ritmo que los tejidos normales. Tras inyectar al paciente glucosa (FDG: fluorodesoxiglucosa) marcada con un radioisótopo emisor de positrones (fluor-18), el escáner PET (por las siglas en inglés Positrón Emission Tomography) identifica las zonas donde hay mayor actividad. El proceso puede verse en la figura. Los positrones emitidos aniquilan inmediatamente con los electrones del tejido circundante, creándose rayos gamma (511 KeV) en direcciones opuestas, que se detectan en coincidencia por las cámaras dispuestas en forma de anillos alrededor. Una computadora reconstruye la imagen de alta resolución de corte transversal del paciente a partir de la concentración de las emisiones. El PET se usa también en otras aplicaciones clínicas relacionadas con el metabolismo cerebral, como el estudio de la epilepsia o la enfermedad de Alzheimer, o la cinética de drogas y fármacos. (Figura 2)

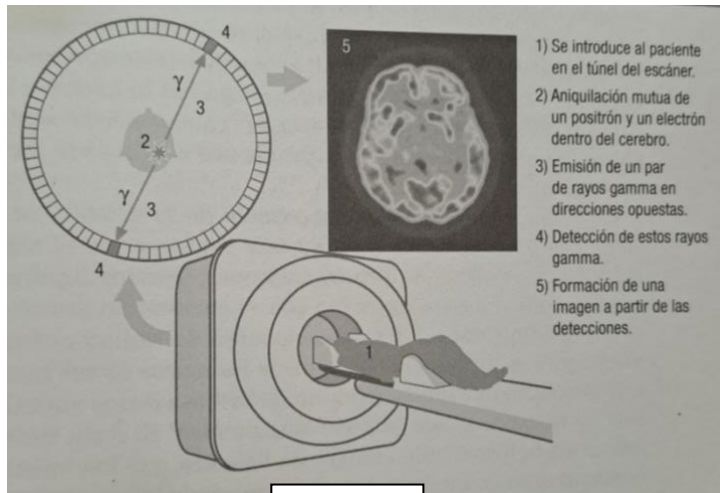


Figura 2