

Breve contraste entre los descubrimientos del antiprotón y del antielectrón.

David López. Mayo de 2011.

En los años 20 se conocían dos partículas básicas, cada una con la carga elemental. Es común encontrar en varias fuentes [4], [7] que la primera sospecha importante de que la teoría cuántica debía ser completada con el concepto de antipartículas, data de la observación de Dirac, de que la ecuación de Klein-Gordon admitía una energía negativa, asociada a una partícula de carga opuesta a la del electrón ([3], pág. 612), observación que a su vez se soporta en la existencia de dos posibles soluciones, positiva y negativa, que surgen al despejar la energía en la teoría de la relatividad especial de Einstein [6]. Esas soluciones no podían eliminarse en mecánica cuántica para obtener un conjunto *completo* de soluciones [2]. Parte del problema era cómo entender o restringir la posibilidad de que hubiera una transición entre un estado de energía negativa, a un estado de energía positiva [3], [6].

Ya la ecuación de Klein-Gordon admitía soluciones de la forma ([2], pág. 28)

$$\psi_p(t, \vec{r}) = N \exp\left[\left(\frac{i}{\hbar}\right)(-Et + \vec{p}\vec{r})\right]$$

en donde la energía E valía

$$E = p^0 c = \lambda \sqrt{(\vec{p}c)^2 + (mc^2)^2},$$

siendo λ es el *signo* de la energía, que puede ser +1 ó -1.

Quedó así abierta en forma tácita, tal vez sólo mencionado en una línea sutil dentro del artículo de Dirac¹, la posibilidad de que existiera una partícula con las mismas características del electrón, pero carga opuesta. Esta partícula sería reportada experimentalmente por C.D. Anderson en 1933 [5], a través de un experimento en el que recogía radiación cósmica, la hacía desviar con un campo magnético, y marcaba sus trayectorias con una cámara de Wilson². Anderson argumentaba por qué esas trayectorias no admitían otra interpretación: si se tratara de un protón, la trayectoria sería notablemente más corta, por la gran masa del protón respecto a la del electrón³; no podía

¹ "la solución debería partirse en dos conjuntos independientes, uno para la carga +e, y otro para la carga -e". [3] (p. 612)

² La cámara de Wilson funciona de la siguiente manera: se parte de un vapor por encima de la temperatura crítica de un líquido, y se expande el volumen en que está contenido en forma adiabática, de forma que disminuya la temperatura, y el vapor se empieza a condensar. Estando el vapor en estado de sobresaturación, cuando pasa la partícula cargada forma iones dentro de la cámara, que actúan como núcleos de condensación, evidenciando así una trayectoria. [8]

³ La lectura de [5] nos permite afirmar, con [9], que extrañamente Anderson no hace alusión directa a los trabajos de Dirac para plantear su conclusión.

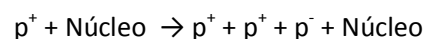
tratarse de dos electrones que interactuaran con la cámara para producir esa extraña trayectoria, ya que esto era altamente improbable y en cambio se había observado el mismo fenómeno con los mismos patrones de trayectorias un buen número de veces. Sólo quedaba, por lo tanto, retomar la posibilidad ya abierta por Dirac de que hubiera una partícula con carga opuesta a la del electrón. Adicionalmente, por las pérdidas de energía que se calculaban en las trayectorias, se concluía que esa carga opuesta además era, con alto grado de probabilidad, de la misma magnitud o valor absoluto que la carga del electrón⁴, encontrándose así el positrón [5] (p. 493). La masa de esa partícula era comparable a la del electrón, como máximo 20 veces la masa del mismo, pero en el artículo original todavía no había una conclusión de que las masas del positrón y el electrón fueran *exactamente* iguales. Se mencionaba además que en algunos otros casos la trayectoria de la cámara de niebla de partículas positivas, correspondía a protones, que de todas formas sí dejaban huellas en la cámara de niebla. Además, al analizar con detalle las trayectorias de los positrones, se veía que provenían de otras trayectorias previas, lo que sugería que los positrones detectados eran partículas que habían sido expulsadas de un núcleo atómico (p. 494).

Anderson deja abierta, como conclusión de su trabajo, la siguiente posibilidad: que esta simetría entre positrón y electrón, debería estimular la búsqueda de evidencias de una partícula negativa correspondiente al protón. Esta última partícula, que se llamaría anti-protón, efectivamente sería buscada en los rayos cósmicos, y vendría a ser detectada en 1956 por Segré, Chamberlain y otros.

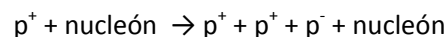
Para determinar experimentalmente si existen los anti-protones, se visualizaban dos caminos:

1. Por un lado, se los podía buscar en los rayos cósmicos, tal como se hizo con los positrones;
2. Se podía intentar producirlos en el laboratorio⁵. Anotan en [1] que esto a su vez se dividía en dos posibilidades:
 - a. Usar cuantos de alta energía para bombardear materia y así producir pares de electrones, método que ya se estaba usando en la época, pero el realizar lo mismo para producir pares de protones era una posibilidad que quedaba eliminada, porque serían necesarios rayos gamma de una energía no alcanzada en la época⁶.
 - b. Prometía un mayor éxito el bombardear la materia con protones, que previamente habían sido dotados de una alta energía cinética en un acelerador.

En esta última opción uno podría esperar la producción de pares de protones a través de la ecuación de reacción



Aunque con mayor rigor, continúan en [1], uno debería imaginarse este proceso como un protón golpeando un nucleón del núcleo bombardeado, es decir:



⁴ Establecía un límite superior del doble de la carga del electrón, pero carga opuesta, para la nueva partícula.

⁵ Obsérvese que el mecanismo utilizado por Segré y Chamberlain consiste en el segundo método, producir los antiprotones en el laboratorio, pero en el artículo de Segré y Chamberlain, [4], que data de 1955, y también en [1], que data de 1956, se acusa que ya en esa misma época se intentaba encontrar los antiprotones en los rayos cósmicos.

⁶ Pág. 1.

Ello implica una energía umbral mínima para el protón inicial que es acelerado para colisionar contra el nucleón. Esa alta energía se la proporcionó el Bevatrón (Billions of Electron-Volts Synchrotron), un acelerador que se construyó en parte para buscar el anti-protón, y que fue el acelerador que usaron Sergei y Chamberlain. Después de acelerar las partículas moviéndose en un círculo gracias a la fuerza de Lorentz, las hacían chocar contra un blanco y las partículas negativas dispersadas de esa interacción eran enfocadas utilizando cuadrupolos magnéticos. Para garantizar que la partícula fuera la buscada, y no confundirla con otras partículas como los mesones, sus aparatos de medición eran contadores de centelleo cuyos pulsos eran mostrados en un osciloscopio y almacenados fotográficamente ([4], p. 4). el tiempo de vuelo entre los detectores, les otorgaba un valor de velocidad que luego era verificado utilizando unos detectores llamados *contadores de Cerenkov*, que se basan en una radiación emitida por un medio cuando una partícula que viaja a través de él, tiene una velocidad mayor que la velocidad de propagación que la luz tiene en ese medio teniendo en cuenta la refracción de la misma. Por otro lado, mezclando los datos de cuánto se deflectaban las partículas debido a los campos magnéticos, y teniendo en cuenta la información de la velocidad, era posible tener un estimativo para la masa de las partículas. En los osciloscopios encontraron centelleos que identificaron como los anti-protónes, indicando así que los resultados habían sido positivos.

Bibliografía

- [1]. LÜDERS, G., *Die Entdeckung des Antiprotons*, Die Naturwissenschaften, 43. Jahrgang, Heft 6 (1956)
- [2]. DE SANCTIS, Maurizio, *An Introduction to Relativistic Quantum Mechanics I. From Relativity to Dirac Equation*. Publicado en arXiv:0708.0052v1 [physics.gen-ph]. (2007)
- [3]. DIRAC, Paul, *The Quantum Theory of the Electron*, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Vol. 117, Issue 778, pp 610-624 (1928)
- [4]. CHAMBERLAIN, Owen, Observation of Antiprotons, Phys. Rev. 100, 947-950 (1955)
- [5]. ANDERSON, Carl D., *The Positive Electron*, Phys. Rev. Vol 43, 491 (1933)
- [6]. HILL, T., Christopher, *What is Antimatter?* Conferencia de Simetría dictada en "Fermilab's Saturday Morning Physics". El video de la conferencia fue extraído en mayo de 2011, de la siguiente URL: <http://www.youtube.com/watch?v=Yh1ZY1A2c5E>
- [7]. FLYNN, Chris, Conferencias en el Tuorla Observatory. FFYS4346 Astrophysics II, Spring Term 2005. Extraído en mayo de 2011.
- [8]. ACOSTA, Virgilio, COWAN, Clyde L, GRAHAM, B., *Curso de física moderna*, editorial Harla de Colombia Ltda.
- [9]. MILLER, Michael, *The discovery of positron*. Presentación. 2008. Extraída en mayo de 2011 de la URL http://hep.uchicago.edu/cdf/frisch/p363/mmiller_positron.pdf