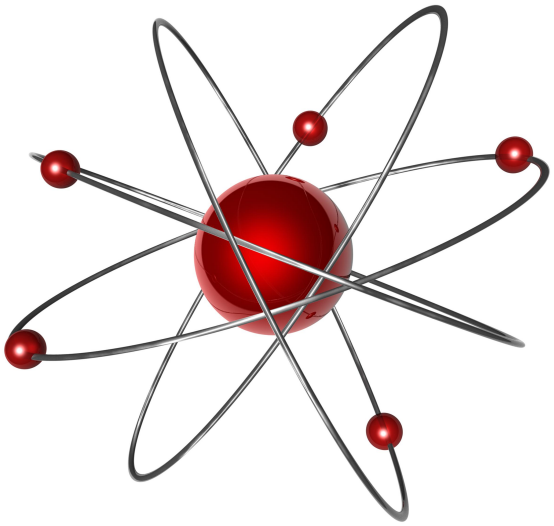
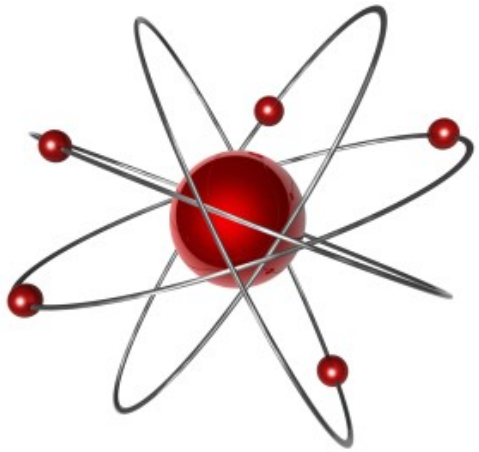
EL MOMENTO DIPOLAR ELÉCTRICO DEL ELECTRÓN Y EL OCASO DE LA SUPERSIMETRÍA

Posted on 18 septiembre, 2014 by Eduardo Gómez García



Category: Ciencia
Tag: Ciencias Exactas



El electrón es una partícula con carga eléctrica negativa y hasta donde sabemos es puntual y fundamental; es decir, no posee tamaño alguno y no está compuesto de cosas más básicas. Sin embargo, la pregunta de si el electrón tiene un momento dipolar eléctrico es hoy en día una puerta abierta para crear nueva física. Una medición reciente del momento dipolar eléctrico del electrón sigue dando una respuesta negativa y ha puesto en aprietos a propuestas teóricas tales como la supersimetría.

Para entender la relevancia del momento dipolar eléctrico del electrón hay que hablar sobre simetrías. La idea de simetría se ha convertido en un pilar de la física moderna y ha permitido describir a nuestro universo con un mínimo de suposiciones. Las tres simetrías discretas más útiles son la de conjugación de carga (C), paridad (P), y reversión temporal (T). La primera cambia partículas por antipartículas, la segunda invierte la posición de toda partícula (manda r a -r), y la última mueve el reloj en reversa (transforma t a -t). La pregunta es si las leyes de la física son las mismas bajo estas transformaciones. Por ejemplo, en el caso de T queremos saber si podemos distinguir entre una película y su versión en reversa. Esto es fácil para una película de un plato que se rompe, sin embargo a nivel de interacciones atómicas la película es completamente reversible, solo que es difícil hacer coincidir todos los pedazos del plato para reconstruirlo.

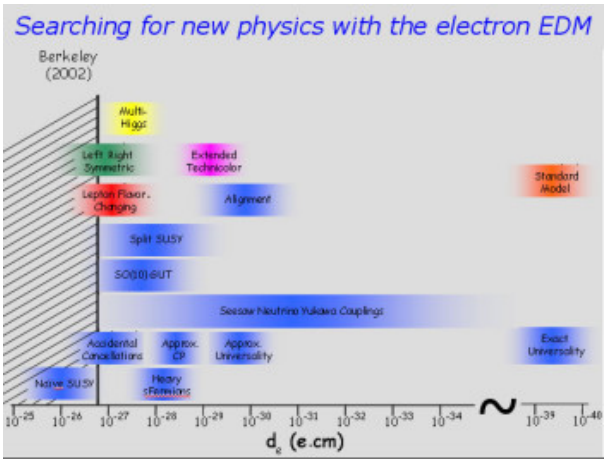
Las leyes de la naturaleza son en su mayoría las mismas bajo estas tres transformaciones o combinaciones de ellas, pero hay sus excepciones y es ahí donde vive el momento dipolar eléctrico del electrón. La existencia de este momento implica una violación de T. Dado que no existe a la fecha violación de la combinación de las tres (CPT), una violación de T está conectada con violación de CP. El universo existe como lo conocemos gracias a que hubo un exceso de partículas sobre antipartículas, y una de las posibles causas es una asimetría en C, de ahí el interés de entender los mecanismos que generan las violaciones a estas simetrías.

> *El primero en preguntase sobre el momento dipolar eléctrico del electrón fue Norman Ramsey*

El primero en preguntase seriamente sobre el momento dipolar eléctrico del electrón fue Norman Ramsey, y se convirtió en una pasión a lo largo de su vida. Mejoró constantemente la medición, siempre encontrando un valor de cero, aunque cada vez con más cifras significativas. Lo curioso de la historia es que siempre había propuestas teóricas que predecían un momento dipolar eléctrico del electrón con un valor ligeramente por debajo de la precisión experimental de la época, y una vez que se mejoraba la precisión estas teorías desaparecían y surgían otras nuevas que sugerían

otro valor justo debajo del nuevo límite experimental.

El mejor límite experimental hasta hace unos meses correspondía a la medición del grupo de Hinds en 2011 , usando un haz de YbF. Su medición indicaba un momento dipolar eléctrico del electrón |d| < 1.06 x 10^{-27} e·cm. Es decir, si imaginamos al dipolo formado por una carga +e y otra -e (donde e es la carga del electrón), entonces su separación sería menor a 10^{-27} cm. De manera esquemática podemos decir que la existencia de un momento dipolar implica que el electrón no es completamente "redondo" sino un poco "alargado". Nuestra comprensión actual del mundo subatómico, llamada El Modelo Estándar, acomoda la existencia de un momento dipolar eléctrico del electrón, solo que su valor está muchos órdenes de magnitud por debajo del límite experimental anterior, y sería por lo tanto inobservable. La mayoría de las variantes de supersimetría sin embargo predicen la existencia de un momento dipolar eléctrico del electrón que debería estar de uno a tres órdenes de magnitud por debajo del límite anterior. De ahí el gran interés de mejorar la precisión de la medición.



En mayo de 2014 la colaboración ACME (Advanced Cold Molecule Electric Dipole Moment Search) reportó una mejora de precisión por un factor de 12, poniendo el momento dipolar eléctrico del electrón en |d| < 8.7 x 10^{-29} e·cm . La colaboración utiliza moléculas de monóxido de Torio (ThO) y la dirige Gerald Gabrielse de la Universidad de Harvard junto con David DeMille de la Universidad de Princeton, quien ha sido pionero en desarrollar las ideas clave para el éxito de la medición, y John Doyle experto en haces atómicos. Este resultado nulo pone en serios aprietos a varias propuestas teóricas (incluyendo la supersimetría) y esperan mejorar la medición otro orden de magnitud en 5 años con una segunda generación del aparato.

Un dipolo eléctrico adquiere una energía diferente dependiendo si está alineado o anti alineado con un campo eléctrico. Esto es el análogo eléctrico de cómo se alinea una brújula con el campo magnético para minimizar su energía. Además, el campo eléctrico induce una precesión del dipolo eléctrico. El experimento ACME envía un haz de moléculas de ThO a una región donde existe un campo magnético y uno eléctrico paralelos. Luego determinan la dirección de la molécula una vez que ha precesado y la comparan contra el resultado cuando los campos eléctricos y magnéticos están anti alineados.

Dado que la interacción de interés es la eléctrica, es deseable tener un campo eléctrico tan grande como sea posible. La medición no se realiza con un electrón ya que el campo eléctrico lo aceleraría y abandonaría la región experimental. En su lugar se prefiere usar un átomo (que tiene también

electrones) ya que siendo neutro no es acelerado por el campo eléctrico, sino solamente polarizado. La sensibilidad crece rápidamente con el tamaño del núcleo y por esto se prefieren átomos pesados como torio. Los átomos no son fácilmente polarizables, pero las moléculas sí, especialmente cuando consisten de dos especies distintas. De esta manera un campo eléctrico externo modesto (141 V/cm) se traduce en un campo gigantesco (84 GV/cm) que el electrón ve en ThO.

La elección final de la molécula tomó en cuenta tres criterios más. El primero fue contar con dos niveles moleculares cercanos de paridad opuesta, ya que esto amplifica la señal buscada. El segundo fue que dichos niveles tuvieran la llamada configuración H con la que era posible invertir la orientación de la molécula al cambiar de niveles. Esto es esencial para poder distinguir la señal real de una falsa. El tercero es que tuviera un momento magnético reducido para minimizar señales falsas. El experimento completo es realmente elegante y es un ejemplo más de como las mediciones coherentes que usan las capacidades disponibles en la mecánica cuántica producen una sensibilidad excepcional.

> *El experimento ACME es un experimento a baja energía ya que involucra láseres*

Un par de semanas después de anunciado el resultado ya habían nuevas propuestas teóricas disponibles para explicarlo. Esto da una idea del mundo científico tan competitivo en el que vivimos hoy en día. Será muy interesante ver en estos años siguientes cómo evoluciona este diálogo entre teoría y experimento para el caso del momento dipolar eléctrico del electrón. El experimento ACME es un experimento a baja energía ya que involucra láseres que tienen energías de alrededor de 1eV. Sin embargo, este experimento explora física a escalas de energía de entre 1 a 3 TeV, que es comparable o superior al acelerador del Large Hadron Collider (LHC). Las mediciones de alta precisión abren una puerta hacia nueva física complementaria a la que se logra con los grandes aceleradores.

La discusión anterior se centró alrededor del momento dipolar eléctrico del electrón. Mediciones similares en otras partículas como el neutrón son igualmente interesantes y proporcionan información complementaria, y son el objetivo de varias colaboraciones científicas. El mundo de las mediciones de precisión es tanto fascinante como ingrato. Para obtener sus 5 minutos de fama, la colaboración ACME debió trabajar durante años para tener todo lo necesario para la medición. Esto equivale a un suicidio profesional en nuestra sociedad científica actual que exige resultados inmediatos, por lo que se requiere de una personalidad muy particular para abordarlos. Ojalá florezca más ciencia de este tipo en nuestro país. C^2

Referencias:

J.J. Hudson, D.M. Kara, I.J. Smallman, B.E. Sauer, M.R. Tarbutt, E.A. Hinds, *Improved measurement of the shape of the electron*, Nature 473, 493 (2011).

The ACME Collaboration, J. Baron, W.C. Campbell, D. DeMille, J.M. Doyle, G. Gabrielse, Y.V. Gurevich, P.W. Hess, N.R. Hutzler, E. Kirilov, L. Kozyryev, B.R. O'Leary, C.D. Panda, M.F. Parsons, E.S. Petrick, B. Spaun, A.C. Futha, A.D. West, *Order of Magnitude Smaller Limito n the Electric Dipole Moment of the Electron, Science* 343, 269 (2014).