

ELECTRONES Y ÁTOMOS

UNIVERSIDAD ABIERTA. CURSO DE FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA

Afortunadamente no todas las descargas eléctricas son tan fuertes como los relámpagos. Pero si el espacio que han de atravesar es bastante estrecho el aumento de una carga pequeña puede provocar chispas. ¿Cómo se aumenta una carga?. Bien, la llevan un gran número de partículas microscópicas cargadas, normalmente iones o electrones. El electrón lleva la carga más pequeña que se conoce. Cada átomo de cada sustancia contiene como mínimo un electrón. Pero los electrones son tan pequeños que nunca nadie ha visto ninguno. Pero podemos hacer experimentos que demuestren, indirectamente la existencia de los electrones y que analicen las propiedades. En este programa os enseñaremos una selección de estos experimentos. Como este.

Si queremos conocer las propiedades de los electrones, primero hemos de saber como producirlos o como mínimo cómo liberarlos de sus átomos y necesitamos medios para observarlos. Recordemos que los electrones son demasiado pequeños para verlos directamente, por lo tanto hemos de detectarlos por los efectos que puedan generar. Aquel punto brillante es el resultado de un haz de electrones que ha golpeado una superficie luminescente. De hecho es el mismo proceso que ocurre en el interior de los televisores. Si quisiéramos recoger los electrones lo podríamos hacer a través de aquel mecanismo.

¿Cómo se producen los electrones en este tubo? En este extremo hay un filamento de hierro cargado de electricidad, podeis ver como brilla. Los electrones son lanzados por el filamento de hierro cargado y salen a través de este pequeño agujero como un rayo. Si el tubo estuviese lleno de aire, el rayo no iría muy lejos porque al chocar con las moléculas de aire los electrones no podrían acabar su recorrido. Por eso en el tubo se ha practicado el vacío. Con pocas moléculas de aire que lo puedan desviar el rayo pasa por dentro del tubo hasta llegar a la pantalla luminescente. A partir de aquí, parece que el rayo va en línea recta y ahora lo comprobaremos desde aquí.

Ya sabemos que la luz viaja en línea recta. Así pues cuanto más abajo estén las luces superiores, esta cruz proyectará una sombra más bien definida. Ahora en vez de lanzar un rayo de luz a la cruz, lanzaremos un haz de electrones. De hecho no podemos ver el camino del haz de electrones, pero podemos ver que pasa cuando golpea la pantalla luminescente, y vemos de nuevo una sombra bien definida. Eso confirma que los electrones, como los fotones de luz viajan en línea recta.

Pero hay diversas maneras de desviar los electrones de su trayectoria recta. En el próximo experimento demostraremos un método para hacerlo. En aquel tubo los electrones están dirigidos no a un agujero, sino a una abertura horizontal para que el rayo sea plano como una cinta. Y la pantalla luminescente, también plana, está colocada formando ángulo con el rayo. Vista con detalle, el extremo alejado del rayo golpea la parte derecha de la pantalla y el extremo más próximo golpea la parte izquierda de la pantalla. Aquí y aquí hay placas metálicas conectadas a un suministro de voltaje. De esta manera, se puede establecer una diferencia de voltaje, una diferencia de potencial entre las placas. Ahora lo hacemos. Esta parte del rayo no está influenciada por las placas. Pero cuando el rayo ha llegado aquí, se ha desviado a causa de la diferencia de potencial. Fijémonos como está conectada la placa. Esta es negativa respecto de esta. Si cambiamos las conexiones de más o menos, el rayo es desviado en sentido contrario. Cuando se establece una diferencia de potencial los electrones siempre son desviados de la placa negativa a la positiva. Los experimentos demuestran que los electrones tienen una carga negativa y por tanto son repelidos por otras cargas negativas y atraídos por cargas positivas.

Los electrones tienen una carga negativa, pero ¿hay alguna cosa que nos indique que tienen una cantidad determinada de carga?. Una de las mejores informaciones de que disponemos, proviene de un experimento hecho en 1909 por el físico Robert Millikan. En este experimento, sencillo pero ingenioso Millikan ganó el premio Nobel. El tenía claro que los electrones eran demasiado pequeños para que se pudieran ver. Por eso, en lugar de electrones hizo servir pequeñas gotas de aceite. Creó un buen vaporizador y en un vaporizador las pequeñas gotas se cargan. En su experimento, Millikan puso las gotas de aceite entre dos placas metálicas en las cuales colocó una carga eléctrica. Veamos que pasa si ponemos una gota cargada entre dos placas cargadas. Para ver las gotas necesitamos

un poco de luz y una cámara de televisión entre las placas. Normalmente yo lo miraría con un microscopio, pero como vosotros también lo teneis que ver, he colocado la cámara y un gran peso para que no se mueva. El resto del aparato es una fuente de electricidad que pondrá un potencial eléctrico entre las dos placas, un interruptor y en las placas superiores hay un pequeño agujero para que entren las gotas. Ahora para evitar corrientes, tenemos un tubo y un pequeño mecanismo para cerrar el agujero. Estamos a punto, el vaporizador, abrimos el agujero y lo cierro. Ahora veamos que pasa cuando aumento el voltaje. Ahora lo conectaré. Obsevamos como algunas gotas suben, son atraídas hacia arriba, hacia la placa superior. La fuerza hacia arriba es mayor que la fuerza hacia abajo. Primero seleccionaremos una gota que vaya bien. Esto lo consigo aumentando y disminuyendo el voltaje para deshacerme de las otras gotas. He escogido una gota y ahora ajustaremos el voltaje para mantenerla fija... Ahora parece que está fija. Muy bien. Hay una fuerza hacia abajo producida por la gravedad y una fuerza hacia arriba que es una fuerza eléctrica generada al cargar las placas. Cogemos esta gota y cambiamos la carga. Lo que haremos será bombardearla con electrones ya tiene carga positiva y si le lanzo electrones, los tomará y la carga cambiará. Para ello utilizaré una fuente de rayos beta que son electrones. El temible estroncio-90, un isótopo de estroncio que emite rayos beta. Lo ponemos en un pequeño soporte que coloco entre las placas, así. Cuando abro un poco la portezuela los rayos beta pasarán entre las placas. Por suerte, algunos golpearán la gota, pero primero he de desconectar el voltaje, para evitar que todos los rayos beta sean atraídos por una de las placas. Cuando lo desconecte la gota comenzará a caer. Lo que haré será subir la gota a la parte superior de la pantalla, para que tenga mucho espacio para caer. Ahora tenemos la gota fija en la parte superior de la pantalla. Ahora desconectaré el voltaje y abrimos la puerta. Esperemos que esta vez haya cogido un electrón. Se acerca hasta al fondo. Cierro la puerta y conecto el voltaje. Todavía baja, así que aumentaré el voltaje y la llevaré hacia el centro y sabremos que voltaje necesitamos para mantener la gota fija.... Parece que ya lo tenemos. Puede ser un poco más abajo. Si yo diría que ya está. Son unos 520 voltios.

Habéis visto como Charlie ha calculado dos valores de voltaje necesarios para equilibrar la gota de aceite. Ha creado una fuerza electrostática en dirección ascendente, suficiente para equilibrar la fuerza gravitatoria descendente. Es un experimento un poco trivial y Charlie ha pasado mucho tiempo para conseguir otros datos de voltaje. Me gustaría que vierais si esos datos son consecuentes con la idea, según la cual, la carga de la gota de aceite es solo un número multiplicado por la carga más pequeña posible. De hecho la carga del electrón. Millikan fue un poco más lejos, de hecho calculó la carga y la determinó en $1,602 \cdot 10^{-19} C$.

He hablado del electrón como partícula cargada. Si realmente es una partícula debe tener una masa y tendríamos que poderlo demostrar. Una de las demostraciones más convincentes, comporta un montaje como este. Si toco esta pala, oscila. En este experimento registrado en una filmación antigua, la pala es golpeada por un haz de electrones. Cuando se aplica el potencial acelerador, los electrones circulan por el centro del tubo y golpean la pala. De hecho la suspensión es tan buena que incluso cuando los electrones no circulan, la pala se mueve por las vibraciones de la sala. Ahora, conecto y desconecto repetidamente el rayo de electrones. La pieza verde brilla cada vez que un impulso de electrones golpea la pala. Primero las oscilaciones son pequeñas, pero si toco esta pala repetidamente y en la misma frecuencia la amplitud del movimiento aumenta. De manera parecida repitiendo pequeños impulsos de electrones a la frecuencia adecuada han provocado que la oscilación aumente. A cualquier golpe de un electrón en la pala la velocidad se mantiene. A cada impulso de electrones la velocidad de la pala aumenta. Así los electrones que entran han de tener una velocidad y eso quiere decir que también han de tener una masa. Obviamente el siguiente paso es intentar calcular esa masa.

Para ello podemos utilizar otra propiedad de las partículas cargadas. El hecho de que en campo magnético son desviadas de sus trayectorias normalmente lineales. Lo podemos demostrar en el tubo que teníamos antes. Aquí tenemos un rayo que va en línea recta porque no tiene influencias externas. Mirad lo que ocurre cuando acercamos el extremo de un imán y si giramos el imán... Otra vez. No probéis hacer este experimento en el tubo de vuestro televisor, porque podríais romper la pantalla de colores. Los imanes están bien, pero el campo que producen es un tanto débil y es difícil de calcular. Por eso, para experimentos cuantitativos hay una manera mejor de producir un campo magnético y es utilizando una bobina. Ahora no hay corriente para esta bobina, por tanto la dirección indicada por la aguja de la brújula es N-S. Si conectamos la corriente la aguja del compás se desvía. La corriente que pasa a través de la bobina ha creado un campo magnético aquí. Si desconecto la corriente vuelve a su lugar original. Si lo conecto se vuelve a desviar y si aumento la intensidad de la corriente también aumenta la desviación. Así cuánto más alta sea la corriente la fuerza del campo magnético también aumenta. Los detalles no interesan, pero se puede calcular la fuerza del campo magnético en cualquier punto

conociendo la medida de la bobina y la cantidad de corriente que pasa por dentro. Y resulta que el campo magnético es más uniforme, no con una bobina sino con dos bobinas, colocadas así. De manera que la distancia entre ellas coincide con su radio.

Ahora probaremos el conjunto de las dos bobinas con el rayo de electrones. Conectamos la corriente a través de las bobinas y el rayo es desviado. Si cambiamos la polaridad de la corriente que va por las bobinas y lo volvemos a conectar el rayo se mueve en dirección contraria. Si queremos hacer este experimento cuantitativo, tenemos que decidir de qué depende la desviación. Como las partículas neutras no son desviadas por campos magnéticos, queda claro que la desviación depende de la carga y también de la masa de las partículas.

Se puede demostrar con esta maqueta. Esta bola de acero representa un electrón que acelera a través del tubo. Un campo magnético aquí, la desvía de su trayectoria recta. Si utilizo una bola de acero de más masa, la desviación es mucho más pequeña. De hecho la desviación es inversamente proporcional a la masa de la partícula. Recordad la desviación es directamente proporcional a la carga de la partícula e inversamente proporcional a la masa de la misma. Dicho de otra forma, lo que deduciremos de este experimento no es la carga o la masa por separado sino la relación carga/masa (q/m). Esta relación fue calculada por primera vez en 1897 por J.J. Thomson. Para poder obtenerla tuvo que ingeniar una manera de calcular otra cantidad, la velocidad de los electrones cuando entran al campo magnético. Las partículas que se mueven más lentamente son más desviadas que las que se mueven más deprisa, aun cuando tienen la misma masa.

Volviendo a los rayos de electrones, podemos calcular la velocidad si combinamos los efectos magnéticos y eléctricos. Comenzamos con la diferencia de voltaje entre las placas que desvía el rayo. Coloco éste para equilibrar la desviación eléctrica con la magnética. He equilibrado la fuerza eléctrica del electrón con una fuerza magnética igual pero opuesta. Conviene saber cuál es la fuerza del campo magnético y la diferencia de voltaje entre las placas. Así Thomson pudo calcular cuál era la velocidad del electrón en el rayo y a partir de aquí la relación **carga/masa**. El valor que obtuvo fue $1,8 \cdot 10^{11} C / kg$. Dejaré que vosotros calculéis la masa del electrón a partir de ahí.

No nos limitamos a estudiar electrones en estos tipos de experimentos porque cualquier haz de partículas cargadas será desviado en un campo magnético. Por eso, en principio, podemos determinar la relación q/m para cualquier partícula. Suponemos que en vez de utilizar electrones negativos utilizaríamos un haz de iones positivos. Nosotros podemos representar en estas bolas un conjunto de iones de masa diferentes. Suponemos que todos tienen la misma carga porque son el resultado de un átomo que ha perdido un electrón. Ahora los aceleramos, en aquel caso, gravitatoriamente y cada bola tiene la misma aceleración. Podemos ver como el campo magnético selecciona los iones negativos según su masa. Si hemos podido detectar esos iones, es que hemos encontrado una manera de calcular la relación q/m de cada ion del conjunto y ya sabemos la carga. Es igual y opuesta a la del electrón que cada átomo perdió cuando formó el ion. Así el experimento permite calcular las masas de los iones y como los iones tienen más masa que los electrones, lo que estamos calculando es la masa de los átomos. Actualmente se calcula con los espectrómetros de masas.

Para ver un espectro de masa hemos venido a la Universidad, donde el doctor Alex Lauden nos creará uno. Hemos llenado el tubo con gas de Neón, veamos como los iones están separados en el espectrómetro de masas. Había mucha electricidad y para sacar el aire hemos utilizado grandes bombas. Pero la parte interesante del equipo son la fuente de iones, donde se producen los iones y el colector de iones. Están unidos por una pieza curva en la cual los iones se separan en masas diferentes. Para separarlos, necesitamos un campo magnético. Colocaremos un imán, pesa un poco más de una tonelada. Ahora obtenemos el espectro, vemos tres picos altos. ¿Cómo lo podemos explicar? El Neón está formado por tres tipos de átomos diferentes, tres masas diferentes. La masa de un elemento que tiene muchas masas las denominamos isótopos. Así el Neón tiene tres isótopos, Ne-22, Ne-21 y Ne-20.

Un átomo de Neón tiene dos o tres veces más masa que un átomo de un ion que tenga como masa 10^{28} kg. Eso dice que hay unos 10^{22} átomos en esta bola.