

# *Midiendo la Radioactividad con un Electroscopio casero*

Vadym Pazyi<sup>1</sup>, Oscar Rodríguez<sup>2</sup> y José Luis Contreras González<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Estudiante del 5º curso de Licenciatura de Física, Universidad Complutense de Madrid.

<sup>2</sup> Laboratorio de Física General, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid

<sup>3</sup> Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear, Universidad Complutense de Madrid.

## Resumen

Se propone la construcción de un detector de radioactividad de forma muy elemental y utilizando materiales muy sencillos. Construcción idónea para laboratorios de asignaturas de la licenciatura de Física donde se aborde el tema de las radiaciones ionizantes; como Física Nuclear o Radiofísica. Además, este experimento puede ser también muy ilustrativo en charlas de divulgación científica.

## 1. Introducción

El *electroscopio* es un dispositivo que sirve para demostrar la presencia de cargas eléctricas y para determinar su signo. Fue desarrollado por primera vez en el siglo XVII por el médico inglés William Gilbert. Un ejemplo se muestra en la figura 1 tomada de [1]. Cuando cargamos la bolita de la parte superior de la figura, por ejemplo con una barrita cargada por frotamiento, observamos que las láminas que se encuentran dentro del matraz se separan debido a que en ellas se acumulan cargas de igual signo, que se repelen por fuerzas electrostáticas. Sin embargo, ya Coulomb observó que al cabo de cierto tiempo la carga escapaba de las láminas, ya que éstas volvían a acercarse. Este efecto se producía aunque la botella que contenía las láminas estuviera herméticamente cerrada y se denominó *corriente oscura*, ya que debería existir una corriente entre las láminas y la pared del electroscopio que eliminara las cargas de las láminas. Fue descubierta por Coulomb en 1785, [2].

Pronto se atribuyó el origen de la corriente oscura a la ionización del aire. Si existe un cierto grado de ionización en el aire, este es capaz de conducir la electricidad desde las placas del electroscopio. Sin embargo, no se conocían las causas de esta ionización. Los estudios realizados por C.T.R.W Wilson en el año 1900 demostraron que la corriente oscura existía en un frasco cerrado sin fuentes de radiación presentes. Durante los años posteriores se realizaron numerosos experimentos para buscar el origen de esta radiación. Se hicieron pruebas subterráneas o a una altura considerable por encima del nivel del mar para evitar radiaciones de fondo terrestre. En todos los casos, en el aire del frasco se detectaba el efecto de corriente oscura. Finalmente, experimentos realizados por Victor Hess a principios del siglo XX le llevaron a descubrir que la radiación ionizante responsable provenía de la radioactividad de origen terrestre y de fuentes extraterrestres, lo que dio lugar al descubrimiento de *los rayos cósmicos*, [3], trabajo por el que recibió el premio Nobel en 1936.



Figura 1. Ejemplo de un electroscopio

La radioactividad ambiental explica por qué Coulomb observaba la corriente oscura – la radiación ambiental o cósmica es capaz de ionizar el aire. Sin embargo, este efecto es muy débil. Si construimos un electroscopio y lo cargamos, las láminas, inicialmente separadas, se acabarán juntando pero muy lentamente.

En nuestro experimento pretendemos acelerar este proceso utilizando una fuente radioactiva. Esto permite explicar el efecto original y estudiar de forma poco precisa pero muy visual las características de distintas fuentes. Si acercamos una *fente radiactiva* al electroscopio el acercamiento entre las dos láminas se aprecia en tiempos cercanos al minuto. A continuación explicaremos los detalles teóricos y técnicos junto con el montaje experimental de los dispositivos.

## 2. Desarrollo experimental

### 2.1.1 Principios físicos del experimento

#### Electroscopio

En primer lugar vamos a explicar de forma algo más detallada el funcionamiento del electroscopio. Como ya hemos indicado, la forma más sencilla de este instrumento es un matraz de vidrio cerrado con un tapón de corcho. Una varilla conductora vertical, por ejemplo, de latón atraviesa el tapón de corcho. Una esfera conductora se encuentra unida a la varilla por la parte superior por encima de la tapa, tal y como muestra la figura 1. En la parte inferior de la varilla, ya dentro del matraz, podemos encontrar dos láminas metálicas muy delgadas. Cuando acercamos un cuerpo cargado a la esfera, la carga se transmite por la varilla conductora, que previamente estaba descargada, y una parte se acumula en las láminas situadas en el extremo inferior. Debido a la superficie y a su configuración geométrica las dos láminas son capaces de acumular una carga apreciable. Por ello, estas empiezan a separarse debido a la fuerza electrostática. Si asumimos en primera aproximación que toda la carga está acumulada en las láminas podemos calcular la carga acumulada en función de la separación entre estas. Los detalles se pueden ver en la referencia [4].

La conductividad eléctrica del aire, producida por los iones que contiene es responsable de la pérdida de carga del electroscopio cargado y, por tanto, del acercamiento de las láminas metálicas. Por este motivo el ritmo con el que se descarga un electroscopio puede ser utilizado para medir la densidad de iones en el aire dentro del matraz, los cuáles han sido producidos por alguna fuente de radiación ionizante. Este hecho es la base de nuestro experimento.

#### Radioactividad y radiación ionizante

Se denomina radiación ionizante a aquella que es capaz de romper moléculas o arrancar electrones de átomos o moléculas creando ionización libre. Existen diferentes procesos que producen radiación ionizante pero en nuestra demostración sólo consideraremos los debidos a la radiación emitida por los núcleos. En las transformaciones radioactivas los núcleos se desintegran espontáneamente en núcleos de otra especie o en un estado de energía más baja del mismo núcleo con la emisión de radiación de algún tipo. Esta radiación emitida puede ser electromagnética (rayos X o rayos  $\gamma$ ) o corpuscular (partículas  $\alpha$ , electrones o positrones  $\beta$ , electrones de conversión interna, electrones de Auger, neutrones, protones, etc).

Los distintos tipos de radiación interaccionan con la materia de formas muy distintas. Los rayos X o Gamma de origen nuclear interaccionan preferentemente por efecto fotoeléctrico o Compton, transfiriendo una fracción variable de su energía a partículas cargadas, fundamentalmente electrones, que depositan su energía rápidamente por procesos de excitación e ionización, [5]. Las interacciones de fotones en el aire son poco probables debido a su baja densidad. La radiación beta o alfa interacciona fuertemente con la materia depositando rápidamente su energía por ionización. Este efecto es más acusado en el caso de las partículas alfa que fueron descubiertas por E. Rutherford en 1900. Estas partículas fueron descubiertas

por E. Rutherford en 1900, y consisten en núcleos de  ${}^4\text{He}$ , constituidos por dos protones y dos neutrones. Debido a su doble carga,  $+2e$ , y alta masa las partículas  $\alpha$  poseen un alto grado de pérdida de la energía en la materia. Con energías de varios MeV, estas partículas alcanzan solamente varios centímetros en el aire. Esto indica que son partículas de alto poder de ionización.

En el experimento que presentamos en la siguiente sección, usamos una fuente radiactiva del  ${}^{241}\text{Am}$ , y otra de  ${}^{22}\text{Na}$  cuyas características se detallan posteriormente. El  ${}^{241}\text{Am}$  es emisor de partículas  $\alpha$ . El  ${}^{22}\text{Na}$  se desintegra emitiendo positrones que por aniquilación con electrones dan lugar a fotones de energías en torno a 0,5 MeV. En el proceso aparecen también fotones de 1,3 MeV. Usaremos la fuente alfa para observar el efecto y la de  ${}^{22}\text{Na}$  como comprobación y para chequear efectos sistemáticos.

### Ionización del aire

La pérdida de la energía de una partícula cargada atravesando la materia puede ser debida a dos procesos: excitación e ionización. En nuestro caso nos interesa el segundo. Esquemáticamente, la ionización del aire es:  $AB + \alpha \rightarrow A^+ + B^- + \alpha$ . Donde AB es un átomo o molécula del aire y  $\alpha$  es la partícula incidente cargada. Como vemos, el producto de la reacción es un ión positivo y un electrón o un ión negativo. Si volvemos a las láminas metálicas del electroscopio, observamos que si éstas están cargadas positivamente los electrones o iones negativos que se produzcan tenderán a dirigirse hacia ellas y neutralizarán esta carga positiva. Los iones positivos al ser repelidos por las láminas, se dirigirán hacia las paredes del matraz. El efecto neto es una corriente entre las láminas y la pared del matraz. Si en el experimento cargamos el electroscopio negativamente, el papel de los electrones y los iones se intercambia.

Si consideramos, aproximadamente, que para los gases (aire en nuestro caso) se crean de media una ionización por cada 30 eV de energía perdida por la partícula mediante la ionización, podemos decir que se crean  $E/30$  pares de ion-electrón por cada partícula ionizante con energía E (en nuestro caso serán partículas  $\alpha$ ), [5]. Si tenemos una fuente con actividad A, podemos calcular, de forma aproximada, los pares ión-electrón creados por unidad de tiempo:

$$N_{x^+e^-} (s^{-1}) = \frac{E}{30} A$$

(1)

Por supuesto, no todos estos pares potenciales contribuirán a la corriente oscura. En primer lugar, gran parte de la radiación será absorbida en la misma fuente y en segundo, en muchos casos la ionización creada sencillamente se recombinará y no alcanzará las láminas o el matraz. Sin embargo, sí nos sirve para imponer límites superiores a la magnitud del efecto.

## 2.1.2 Montaje y resultados experimentales

### Construcción del electroscopio

La construcción del electroscopio casero la ideó y llevó a cabo Oscar Rodríguez en el Laboratorio de Física General de la facultad de CC. Físicas. La realización experimental es muy sencilla. Para construirlo necesitamos un matraz con un cuello recto y estrecho. Como tapón, en lugar de corcho usamos *corcho blanco*, poliestireno expandido, un material blando y no conductor. Con un alambre de cobre perforamos el tapón de tal forma que el extremo superior quede fuera del



Figura 2. Electroscopio casero fabricado para el experimento

matraz, mientras que la parte interior incluya dos láminas de papel de aluminio, obtenidas de doblar una tira larga. En la figura 2 mostramos la foto de nuestro electroscopio casero, que fue tomada en el laboratorio. Observemos que las láminas de aluminio están separadas, ya que las hemos cargado con una varilla.

En la parte derecha del matraz, a media altura se practicó un orificio de unos 2 cm de diámetro. Este nos servirá para acercar las fuentes radioactivas, pero sin llegar a introducirlas en el matraz. Este orificio es necesario, ya que las partículas alfa son muy poco penetrantes (unos centímetros en el aire) y la pared de vidrio del matraz bastaría para pararlas. Además, tampoco queríamos prescindir del matraz ya que conserva la imagen de electroscopio y contribuye a aislar las láminas del exterior.

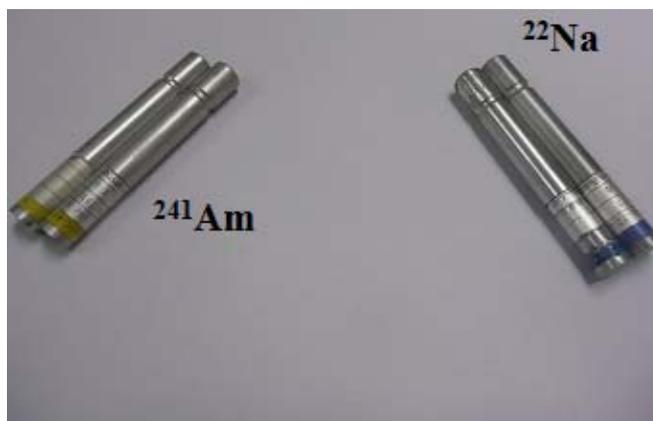


Figura 3. Isótopos de  $^{241}\text{Am}$  y  $^{22}\text{Na}$  encapsulados

### Fuentes radioactivas

En la figura 3 presentamos dos fuentes de  $^{241}\text{Am}$  (americio 241) y dos de  $^{22}\text{Na}$  (sodio 22). El  $^{241}\text{Am}$  tiene una semivida de unos 450 años y emite un amplio espectro de rayos  $\gamma$  y partículas  $\alpha$ . A nosotros nos interesan sobre todo las  $\alpha$ . Para este isótopo las emisiones más intensas son de 5,44 y 5,49 MeV, con intensidades de 13% y 85%, respectivamente. Las muestras utilizadas tienen una actividad de 74 kBq, con lo que al aplicar la fórmula (1) concluimos que pueden llegar a producirse en el aire hasta del orden de  $10^{10}$  procesos de ionización por cada cápsula y por segundo.

Si nos fijamos, en la figura 3 junto con las cápsulas de Americio están las del  $^{22}\text{Na}$ . Como hemos dicho esta fuente emite principalmente radiación  $\gamma$ , [6]. Sin embargo, al ser fotones, con débil interacción en el aire, si la acercamos al agujero del electroscopio no producirá prácticamente ionización, con lo que las láminas del aluminio del electroscopio no se juntarán. Sin embargo, tanto la geometría de la fuente como su composición son muy semejantes, como se aprecia en la figura, a las de la fuente de americio, por lo cual sirven para un propósito doble. Por una parte, ilustra que la radiación gamma es débilmente ionizante en espesores delgados y por otra, sirve para descartar que el efecto sea debido a la cubierta metálica de la fuente, su proximidad o cualquier otro. Con lo cual la denominamos fuente *falsa*.

### Desarrollo del experimento

El desarrollo del experimento es muy sencillo e ilustrativo:

1. Se presenta el electroscopio y se explica su funcionamiento.
2. Se carga el electroscopio utilizando una varilla de vidrio frotada con un papel y se observa que las láminas se separan.
3. Se acerca la fuente de  $^{241}\text{Am}$  (figura 4) al orificio del matraz. Se observa como las láminas se van juntando lentamente y en alrededor de 1 minuto acaban prácticamente unidas.
4. Se acerca la fuente de  $^{22}\text{Na}$  (tercer video de la [7]) al orificio del matraz y se comprueba que las láminas no se juntan.



Figura 4. Electroscopio sin presencia de la fuente de  $^{241}\text{Am}$  (izquierda) y con la fuente de  $^{241}\text{Am}$  (derecha)

En la imagen tomada se ha utilizado un conjunto de tres fuentes de americio como la descrita anteriormente. Como se indica en el punto 4, el experimento también ha sido grabado en vídeo. En total se grabaron 3 situaciones diferentes (aproximadamente de 1 minuto de duración cada una): electroscopio sin fuentes, electroscopio con fuentes alfa y electroscopio con fuentes gamma. Los enlaces para encontrarlos están en la referencia [7].

### Costo y materiales

El experimento consta de dos elementos: el electroscopio y las fuentes radioactivas. El primero de ellos es barato y sencillo de construir mientras que el segundo sólo suele encontrarse en los laboratorios dedicados a la de Física Nuclear. Se les puede enfocar el experimento a los alumnos como la construcción de un electroscopio propio que puede ser usado en el laboratorio para detectar o clasificar las fuentes.

El matraz utilizado puede sustituirse por un bote de cristal que resulta más económico, el precio del alambre es muy reducido y el tapón de poliestireno puede construirse reciclando material de embalaje. Para perforar el agujero en el vidrio en nuestro caso recurrimos al taller de vidrio de la Universidad, pero podría efectuarse con un cortavidrios o en una cristalería a precio muy asequible.

El coste de la fuente radioactiva es del orden de centenas de euros y requiere disponer de una instalación adecuada.

## 3. Conclusiones

Vemos como con un electroscopio casero se puede detectar la radiación ionizante proveniente de una fuente radioactiva de forma muy visual. La construcción y el montaje son muy fáciles y lo puede hacer cualquier persona en su casa, sin necesidad de disponer de un material excesivamente caro. La sencillez y poca inversión económica lo hacen muy atractivo y asequible para cualquier laboratorio.

Posiblemente podría extenderse el experimento utilizando otras fuentes de radiación ionizante, o incluso variando el gas del matraz, pero es una vertiente que aún no hemos explorado.

## 4. Referencias

- [1] [http://www.kalipedia.com/fisica-quimica/tema/electricidad-magnetismo/fotos\\_electroscopio.html](http://www.kalipedia.com/fisica-quimica/tema/electricidad-magnetismo/fotos_electroscopio.html)
- [2] “*Premier Mémoire sur l’Electricité et le Magnétisme*”, C.A. Coulomb. Histoire de l’Académie Royale des Sciences, 569-577, 1785.
- [3] “*Early History of Cosmic Ray Studies*”, Y. Sekido and H. Elliot. D. Reidel Publishing Company, 1985.
- [4] <http://es.wikipedia.org/wiki/Electroscopio>
- [5] “*Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments*”, W. R. Leo. Springer-Verlag, Berlin and Heidelberg 1987.
- [6] <http://nucleardata.nuclear.lu.se/nucleardata>
- [7] Sin fuentes: <http://www.youtube.com/watch?v=JaKMvqTL84s>  
Con fuentes alfa: <http://www.youtube.com/watch?v=GnfK57FkTBc>  
Con fuentes gamma [http://www.youtube.com/watch?v=Nv9H\\_I-6ZCI](http://www.youtube.com/watch?v=Nv9H_I-6ZCI)