

## Cavendish y la ley del inverso del cuadrado de la distancia

Henry Cavendish nació el 10 de octubre de 1731 en el seno de una familia cuyo padre fue un físico notable. Persona de un carácter poco sociable que probablemente le llevó a una vida dedicada principalmente a la investigación en los laboratorios que instaló en la casa londinense de sus padres.

Aunque las investigaciones de Cavendish abarcaron distintas ramas de la Física (entre otros realizó un experimento para determinar la densidad de la Tierra a través de la medida de la atracción de pequeñas masas mediante una balanza de torsión, ver artículo anterior de J. J. García Sanz), lo que nos interesa ahora es su experimento para demostrar que la ley de atracción de las cargas eléctricas es proporcional al inverso del cuadrado de la distancia que las separa.

Priesley había demostrado que una capa esférica con una masa distribuida uniformemente sobre ella no ejerce fuerza gravitatoria sobre una partícula situada dentro de dicha capa, y que la capa actúa sobre las partículas situadas en el exterior como si la masa estuviera concentrada en su centro. Trasladando esta idea a una capa esférica conductora en la que se deposita una carga eléctrica, se podría demostrar que la fuerza entre cargas depende de la proporcionalidad con el inverso del cuadrado de la distancia si las cargas se distribuyen de manera uniforme por la capa externa de la esfera, y como consecuencia no existe fuerza sobre una carga en el interior de la capa esférica cargada.

Hacia 1772 Cavendish hizo un experimento con el dispositivo que muestra de forma esquemática la figura 1, copia del trabajo *The Electrical Research of the Hon. Henry Cavendish*, publicado por Maxwell en 1879. Sobre un bastidor se montan dos semiesferas metálicas  $H h$ . Otra esfera metálica  $G$  con el soporte de material aislante  $S s$  se sitúa en el interior, concéntrica con  $H h$  y

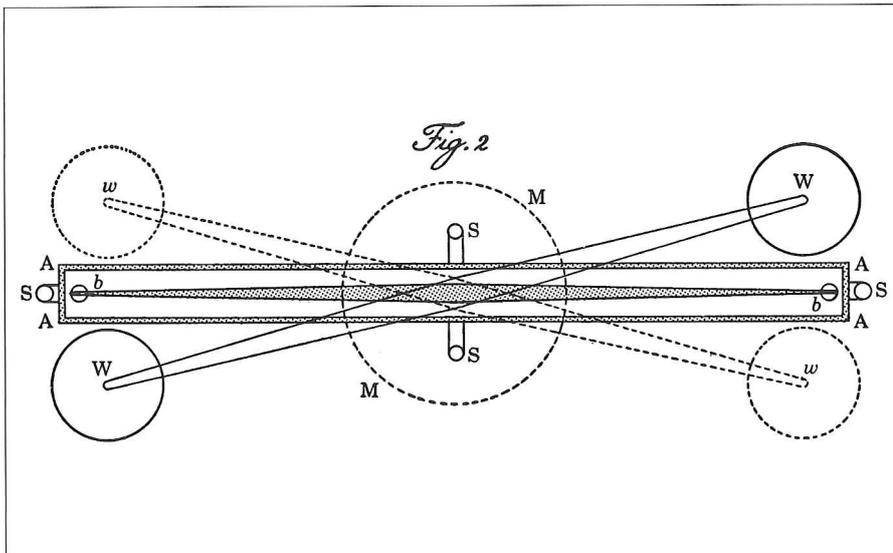


Figura original de Cavendish.

mo de la caja, y cerradas con vidrio; están iluminados por las lámparas L y L, con lentes convexas, situadas de modo que arrojan luz sobre las divisiones; ninguna otra luz se admitía en la habitación.”

Cavendish utilizaba como masas  $M$  y  $m$  bolas de plomo (con una  $\rho$  aproximada de 11,48) de 6 y 1 pulgadas de radio respectivamente; la separación  $d$  entre los centros de las esferas era de 10,85 pulgadas; es decir  $\alpha = 10,85/6$ . Los periodos  $T_P$  y  $T_B$  eran de aproximadamente 1 segundo y 7 minutos. Finalmente, a partir de 23 medidas hechas con esta balanza obtuvo un valor medio  $\rho_T = 5,48 \text{ g/cm}^3$  (con una desviación típica de  $0,18 \text{ g/cm}^3$ , aunque evidentemente él no lo expresase de esta forma). Un conjunto anterior de 6 medidas hechas con la balanza de 15 minutos había dado  $\rho_T = 5,31 \pm 0,27 \text{ g/cm}^3$ .

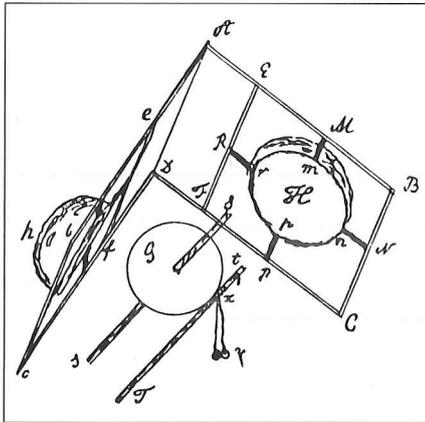
Como ya se dijo al principio, hoy día es costumbre expresar este resultado en términos del valor de la constante gravitatoria  $G$  que se obtiene fácilmente a partir de  $\rho_T$  y  $R_T$ . Esto da  $G = 6,754 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ . En comparación, el último valor recomendado por CODATA (Committee on Data for Science and Technology of the International Council of Scientific Unions) en 1986 es de  $G = 6.67259(85) \times 10^{-11}$

$\text{Nm}^2/\text{kg}^2$  con una incertidumbre relativa de 128 partes por millón.

Digamos, para concluir, que aunque el nombre de Cavendish esté ya permanentemente unido a este experimento, ello apenas le hace justicia. Ciertamente el experimento muestra su rigor y habilidad para superar las dificultades prácticas, pero el diseño básico pertenecía a Michell. En contrapartida, la fama del experimento ha ensombrecido notoriamente la ingente obra de Cavendish en física y química, y en particular su sólida formación matemática. La culpa de ello, en cualquier caso, es del propio Cavendish, que apenas se molestó en publicar sus trabajos y hubo que esperar casi setenta años después de su muerte a que Maxwell, primer director del por entonces recién creado Laboratorio Cavendish en Cambridge, editase una parte importante de los mismos. Gracias a esta edición póstuma sabemos ahora que Cavendish descubrió la composición química del agua (antes que Priestley), la ley de la inversa del cuadrado para la fuerza electrostática (antes que Coulomb, ver en esta misma página el artículo de V. López) y muchas cosas más. Pese a todo, Cavendish sigue siendo fundamentalmente “el hombre que pesó la Tierra”.

J. Javier García Sanz  
Depto. de Física Fundamental

separada media pulgada.  $T t$  es un electrómetro formado por una barra de vidrio, recubierta con una lámina



metálica desde el punto  $x$  al extremo más próximo, donde cuelgan dos hilos terminados en unas bolitas que se separan cuando la parte metálica de la barra toca a un cuerpo cargado. Cavendish cerraba el bastidor con la esfera  $G$  en su centro y unía las esferas  $H$  y  $G$  con un hilo conductor que no se muestra en la figura. A continuación aplicaba una carga eléctrica con una botella de Leyden (condensador), previamente cargada. Después abría el bastidor, desconectaba el hilo que unía las esferas  $H$  y  $G$  y con el electrómetro comprobaba si la esfera  $G$  estaba cargada.

Comprobó que no existía carga en la esfera  $G$ , por tanto se demostraba que la carga se distribuye sobre la superficie externa de la capa esférica  $H$ . En consecuencia se infería que la fuerza entre las cargas obedece a la ley de proporcionalidad con el inverso del cuadrado de la distancia, análoga a la que corresponde a las masas.

En un excelente análisis de los datos experimentales, Cavendish demostró que, si la fuerza disminuye conforme a  $r^{-n}$ , los resultados del experimento demuestran que  $n$  difiere de 2 en menos de 0,02.

Cavendish no consideró necesario publicar este trabajo, lo que tuvo como consecuencia no adjudicarse tal descubrimiento, y que Coulomb, mediante su experimento con la balanza de torsión, descubriera que la fuerza entre cargas obedece a la ley de proporcionalidad con el inverso del cuadrado de la distan-

cia, trabajo que publicó en 1785, y le permitió adjudicarse el honor que podía haber correspondido a Cavendish.

Henry Cavendish siguió investigando, hasta su muerte en 1810, en electricidad y otras ramas de la Física. Los trabajos sobre electricidad, que tampoco se publicaron hasta que Maxwell lo hiciera en 1879, versaban sobre aspectos tan interesantes como medida de capacidades relativas de conductores y condensadores, así como la conductividad de metales y disoluciones formadas por líquidos conductores.

Victoriano López Rodríguez  
Depto. de Física de los Materiales

## Su Excelencia el Transistor cumple cincuenta años

### RESUMEN

Aprovechando la circunstancia del cincuenta aniversario del descubrimiento del transistor, comentamos la evolución de la Electrónica asociada a la década 50-60, que inaugura la Electrónica fría, y la época posterior, desde 1960 hasta nuestros días, dominada por la tecnología integrada y el crecimiento constante de la densidad de integración de funciones, soporte de todo el desarrollo de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

### 1. UN CUMPLEAÑOS EN LA ÉPOCA DE LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

Vivimos en la época de la tecnología de la información y las comunicaciones en la que los grandes sistemas electrónicos de comunicación, cálculo, instrumentación y control constituyen una red global donde se mueve toda la actividad científico-técnica, social y económica. Es poco frecuente que

nuestros jóvenes alumnos no sepan qué es la internet, los entornos multimedia o la realidad virtual y que no conozcan las últimas ofertas en PC's con prestaciones medibles en términos de megacyclos del reloj principal o megabytes de la memoria RAM o del disco duro. Sin embargo, creo que es poco frecuente encontrar alumnos jóvenes que sepan que este año se cumple el cincuenta aniversario del descubrimiento del *transistor*, al que en gran medida se deben todos esos logros de la Electrónica integrada que subyace a todas esas aplicaciones que hemos mencionado previamente.

Con el descubrimiento del transistor en diciembre de 1947 (publicado en junio de 1948), John Bardeen y Walter Brattain inauguraron la época de los semiconductores y la Electrónica fría con alto grado de integración y con ello la posibilidad física de toda la tecnología actual en comunicación, cálculo, instrumentación y control. El transistor ("transfer resistor"), en palabras de sus descubridores, es un dispositivo de tres terminales "que puede emplearse como amplificador, oscilador y para otros propósitos para los que hasta ahora (1948) se usaban las válvulas de vacío". El primer transistor consistía en tres electrodos situados sobre un bloque de germanio (figura 1). Dos, llamados "*emisor*" y "*colector*", eran del tipo rectificador de punta de contacto y se colocaron muy cerca. El tercero, llamado "*base*", consistía en una amplia superficie de baja resistencia sobre la que se establecían los contactos del emisor y el colector. El germanio usado era un semiconductor extrínseco tipo N. Cuando los dos puntos de contacto se situaron muy próximos y se polarizó en sentido directo la unión de emisor y en sentido inverso la de colector, se observó que una parte importante de la corriente inyectada por el emisor (a través de la baja resistencia de una unión polarizada en sentido directo) alcanzaba el colector, que la recogía sobre su alta resistencia