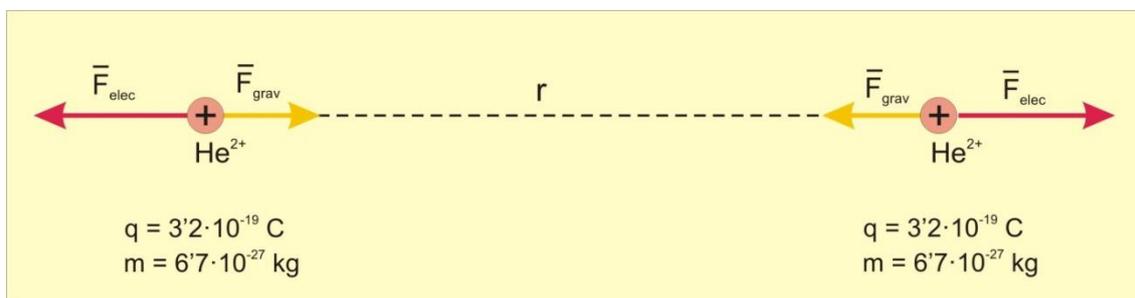


1. Proponed un procedimiento para comparar el orden de magnitud de la fuerza electrostática con el de la fuerza gravitatoria.

Podemos pensar en dos partículas cargadas en reposo y separadas una cierta distancia, de las que conozcamos sus cargas y las masas correspondientes. Bastará entonces con aplicar la ley de Coulomb y la ley de Newton de la Gravitación Universal, para determinar la fuerza electrostática (F_{elec}) y la fuerza gravitatoria (F_{grav}) con las que interaccionan. Después, habrá que dividir entre sí los valores obtenidos para determinar cuántas veces es mayor una que otra.

Realizad el cálculo planteado, suponiendo que se trate de dos partículas α^1 en el vacío (carga de la partícula α : $3,2 \cdot 10^{-19}$ C, masa de la partícula α : $6,7 \cdot 10^{-27}$ kg, $K = 9 \cdot 10^9$ S.I., $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ S.I.).



En la figura anterior se visualiza globalmente la situación propuesta. Como ambos núcleos están cargados positivamente, en este caso la fuerza electrostática es de repulsión, mientras que la fuerza gravitatoria es (siempre lo es) de atracción. Los vectores fuerza se han dibujado con un tamaño arbitrario, dado que a priori no conocemos el módulo de cada una.

$$\text{Módulo de la fuerza electrostática: } |\vec{F}_{elec}| = K \cdot \frac{q^2}{r^2} \quad (1)$$

$$\text{Módulo de la fuerza gravitatoria: } |\vec{F}_{grav}| = G \cdot \frac{m^2}{r^2} \quad (2)$$

Dividiendo (1) entre (2):

$$\frac{|\vec{F}_{elec}|}{|\vec{F}_{grav}|} = \frac{K}{G} \cdot \left(\frac{q}{m}\right)^2 \rightarrow |\vec{F}_{elec}| = \frac{K}{G} \cdot \left(\frac{q}{m}\right)^2 \cdot |\vec{F}_{grav}|$$

Sustituyendo ahora los valores numéricos correspondientes:

¹ Entre 1899 y 1900, Rutherford (trabajando en la Universidad McGill en Montreal, Canadá) y Villard (trabajando en París) separaron la radiación ionizante de origen nuclear en tres tipos, basándose en la penetración de objetos y en la deflexión que sufre dicha radiación por la acción de un campo magnético. Estos tres tipos fueron nombrados por Rutherford como radiación alfa, beta y gamma. La radiación alfa (α) está formada por núcleos de He completamente ionizados (He^{2+}) y, por tanto, las partículas alfa están constituidas por dos protones y dos neutrones.

$$|\vec{F}_{elec}| = \frac{9 \cdot 10^9}{6,67 \cdot 10^{-11}} \cdot \left(\frac{3 \cdot 2 \cdot 10^{-19}}{6 \cdot 7 \cdot 10^{-27}} \right)^2 |\vec{F}_{grav}| \rightarrow |\vec{F}_{elec}| = 3,1 \cdot 10^{35} |\vec{F}_{grav}|$$

El resultado obtenido muestra que en este ejemplo (y en otras situaciones similares en las que intervengan partículas subatómicas cargadas como electrones o protones), la fuerza electrostática es muchos millones de millones... de veces superior a la gravitatoria. Por ello, todas estas situaciones se pueden tratar legítimamente como si no actuase la fuerza gravitatoria.

Esta enorme diferencia en cuanto a la intensidad entre la fuerza electrostática y la gravitatoria se debe a la diferencia existente entre los valores de las constantes K y G, que nos indican el valor de la fuerza entre dos objetos considerados como puntuales separados a 1 metro de distancia y cargados cada uno con 1 culombio (en el caso de la interacción electrostática), o teniendo cada uno una masa gravitatoria de 1 kilogramo (en el caso de la interacción gravitatoria).

Ahora bien, aunque 1 kg es una cantidad cotidiana de masa, 1 C es una cantidad enorme de carga (por ello habitualmente se utilizan submúltiplos para expresar la carga que pueden tener las partículas o cuerpos cargados). Por tanto, cabe preguntarse si en el caso de objetos de uso cotidiano cargados eléctricamente, en los que la masa es muchísimo mayor que la de cualquier partícula, se seguirá cumpliendo esta diferencia, a favor de la fuerza eléctrica.

Al frotar el extremo de una regla de plástico y acercarla (sujetándola por el otro extremo) a un trocito de papel situado sobre la superficie de una mesa, se observa una atracción eléctrica entre ambos, capaz de elevar el trocito de papel hasta el extremo frotado de la regla. Explicad este hecho y haced una estimación del valor de la carga mínima adquirida por la regla en el frotamiento.

La regla adquiere carga negativa al ser frotada y al acercar su borde al papelito (sin llegar a tocarlo), que es neutro, los electrones que hay en exceso en ese borde de la regla repelen a los más próximos del papelito, provocando que se polarice. Como consecuencia, en esa zona superior de la superficie del papelito queda un exceso de carga positiva (falta de electrones) y se produce un efecto neto de atracción entre el extremo de la regla y el papelito.

Para hacer la estimación solicitada, empezamos calculando la fuerza peso que se ejerce sobre el papelito. Para ello, vamos a imaginar una hoja de papel de un gramaje de 100 g/m² y a expresar la masa y el peso de un trocito de 1 cm² de dicha hoja, en unidades internacionales:

$$m = 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = 10^{-5} \text{ kg}$$

$$P = m \cdot g \approx 10^{-5} \cdot 10 \rightarrow P \approx 10^{-4} \text{ N}$$

Para que sea observable la atracción, la fuerza eléctrica entre la regla y el papelito ha de ser algo superior a la fuerza gravitatoria sobre dicho papelito. Podemos suponer que el extremo de la regla se acerca al papelito hasta una distancia aproximada de 1 cm y tratar la situación como si fueran dos cargas puntuales (esta simplificación dista mucho de la realidad, pero no altera significativamente el resultado de la estimación). Tenemos entonces:

$$F_{elec \min} = K \cdot \frac{q_{regla} \cdot q_{papelito}}{r^2} \approx 10^{-4} \text{ N}$$

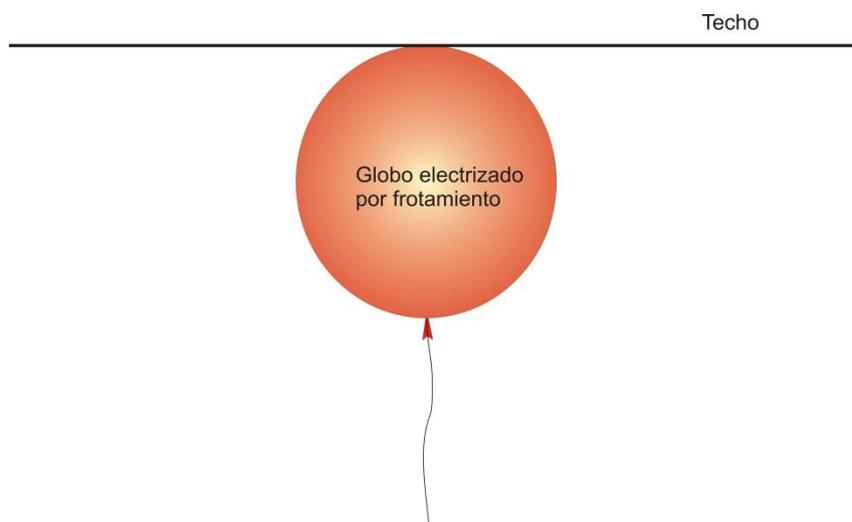
Para obtener ahora un valor mínimo de la carga acumulada por la regla, podemos imaginar que cada electrón en exceso situado en el borde de esta desplaza a un electrón superficial del papelito, de manera que podemos igualar (en valor absoluto) las cargas que se atraen entre la superficie del borde de la regla (exceso de electrones) y el borde del papelito (defecto de electrones). Obtenemos entonces el siguiente valor mínimo de q :

$$K q^2/r^2 = 10^{-4} \rightarrow q^2 = 10^{-4} \cdot r^2 / K = (10^{-4} \cdot 10^{-4}) / 9 \cdot 10^9 \approx 10^{-18} \rightarrow q = 10^{-9} \text{ C}$$

Es decir, la carga acumulada por la regla en el frotamiento será mayor que 10^{-9} C .

De manera más general, conviene saber que la carga que puede adquirir un objeto cotidiano cuando es frotado puede ser del orden de 1 nC a $1 \mu\text{C}$ (10^{-9} C a 10^{-6} C). Estos valores siguen siendo muy inferiores a la unidad de carga en el sistema internacional (1C). Pero, a su vez, son mucho mayores que la carga típica de partículas subatómicas, como, por ejemplo, electrones, protones, los dos núcleos de helio que hemos analizado anteriormente, etc.

En el ejemplo que acabamos de ver y también en otros experimentos similares que se pueden realizar en clase, la masa de los objetos cargados suele ser bastante pequeña, con lo que la fuerza eléctrica y la gravitatoria, pueden ser del mismo orden de magnitud. Por ello, se eligen esos objetos cuando se quiere poner de manifiesto la existencia de la fuerza eléctrica. Así, en la situación representada en la figura siguiente, la fuerza eléctrica de atracción entre el globo y el techo es algo mayor que la fuerza peso o fuerza de atracción gravitatoria entre el globo y la Tierra.



Sin embargo, la situación cambia cuando se consideran interacciones entre objetos macroscópicos neutros de mayor masa o que estén muy poco electrizados, y lo hace mucho más aún si intervienen objetos “celestes” como, por ejemplo, planetas, estrellas, satélites, etc., cuya masa es enorme. En esos casos, la interacción determinante es la gravitatoria.