

2 Carga eléctrica. Ley de conservación

Página 133

- 13.** Si un cuerpo adquiere una carga de $-0,02 \mu\text{C}$, ¿ha ganado o ha perdido electrones? ¿Cuántos?

La carga neta, en valor absoluto, que ha adquirido el cuerpo es de $0,02 \mu\text{C}$; este valor, expresado en C, es:

$$Q = 0,02 \mu\text{C} \cdot \frac{1\text{C}}{10^6 \mu\text{C}} = 2 \cdot 10^{-8} \text{C}$$

Teniendo ahora en cuenta el valor de la carga del electrón, resulta:

$$Q = 2 \cdot 10^{-8} \text{C} \cdot \frac{1e^-}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}} = 1,25 \cdot 10^{11} e^-$$

Como el cuerpo adquiere carga negativa, significa que ha ganado electrones. Podemos concluir, por tanto, que ha ganado $1,25 \cdot 10^{11}$ electrones.

- 14.** El núcleo del átomo de helio tiene dos protones y dos neutrones; expresa su carga eléctrica en mC.

Los neutrones no tienen carga eléctrica, y la que corresponde al protón tiene el mismo valor que la del electrón, pero con signo positivo; así, la carga que corresponde a los dos protones del átomo de helio será:

$$Q = 2 \text{ protones} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}}{1 \text{ protón}} = 3,204 \cdot 10^{-19} \text{C}$$

Para expresar la carga en mC, realizamos el siguiente cambio de unidades:

$$Q = 3,204 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot \frac{10^3 \text{mC}}{1\text{C}} = 3,204 \cdot 10^{-16} \text{mC}$$

3 Interacción entre cargas eléctricas. Ley de Coulomb

Página 135

- 16.**  Justifica las unidades SI de la constante K de la ley de Coulomb.

La expresión matemática de la ley de Coulomb es:

$$F = K \cdot \frac{q \cdot Q}{d^2}$$

Si se despeja la constante K de la expresión anterior resulta:

$$K = \frac{F \cdot d^2}{q \cdot Q}$$

De acuerdo con ella, las unidades en que se expresa K son $\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

- 17.** ¿En qué medio se encuentran dos cargas, de 8 nC y 16 nC, si se atraen con una fuerza de $3,2 \cdot 10^{-7}$ N cuando se encuentran a 1 m de distancia?

El valor de la constante, K , que corresponde al medio en que se encuentran las cargas se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$K = \frac{F \cdot d^2}{q \cdot Q}$$

Para poder utilizarla, en primer lugar hemos de expresar el valor de todas las magnitudes implicadas en ella en la unidad correspondiente del SI; así:


$$q = 8 \text{ nC} \cdot \frac{1 \text{ C}}{10^9 \text{ nC}} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$Q = 16 \text{ nC} \cdot \frac{1 \text{ C}}{10^9 \text{ nC}} = 16 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

Por tanto, el valor de K será:

$$K = \frac{3,2 \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot (1 \text{ m})^2}{8 \cdot 10^{-9} \text{ C} \cdot 16 \cdot 10^{-9} \text{ C}} = 2,5 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

Al comparar el resultado obtenido con los datos incluidos en la tabla que aparece en la página 183 del libro del alumnado, se concluye que el medio en el que se encuentran las cargas es PVC.

- 18.**  Calcula la fuerza con que interaccionan en el vacío dos cargas de -2 nC y 4 nC, si la distancia entre ellas es de 1 mm.

Para resolver este ejercicio, aplicaremos la expresión que corresponde a la ley de Coulomb.

$$F = K \cdot \frac{q \cdot Q}{d^2}$$

Pero antes de ello, expresaremos el valor de todos los datos que ofrece el enunciado en las unidades correspondientes del SI:

$$q = -2 \text{ nC} \cdot \frac{1 \text{ C}}{10^9 \text{ nC}} = -2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$Q = 4 \text{ nC} \cdot \frac{1 \text{ C}}{10^9 \text{ nC}} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$d = 1 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{10^3 \text{ mm}} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Por tanto, la fuerza con que interaccionan ambas cargas en el vacío, teniendo en cuenta que $K_{\text{vacío}} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}$, resulta:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{(-2 \cdot 10^{-9} \text{ C}) \cdot 4 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(1 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = -0,072 \text{ N}$$

El signo menos obtenido indica que ambas cargas se atraen.

Trabaja con lo aprendido

Página 147

Conservación de la carga eléctrica. Electrización

- 10.** Al frotar con un paño un cuerpo eléctricamente neutro, este último adquiere una carga eléctrica neta de +5 mC. Calcula cuántos electrones se han transferido entre ellos y en qué sentido (cuál es el cuerpo que cede electrones). Indica varias parejas de materiales de los que se podría tratar.

La carga eléctrica neta transferida, expresada en culombios, C, es:

$$Q = 5 \text{ mC} \cdot \frac{1 \text{ C}}{1000 \text{ mC}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

A partir de la equivalencia entre la carga del electrón y el culombio, se calcula el número de electrones transferidos entre ambos materiales:

$$Q = 5 \cdot 10^{-3} \text{ C} \cdot \frac{6,24 \cdot 10^{18} \text{ e}^-}{1 \text{ C}} = 3,12 \cdot 10^6 \text{ electrones}$$

Como el paño ha adquirido carga positiva, esto quiere decir que tiene un defecto de electrones; por tanto, los electrones se han transferido del cuerpo al paño. Es lo que sucedería si frotáramos, por ejemplo:

- Seda con cuero, piel humana, cuarzo, mica o pelo humano.
- Papel con aire, vidrio o cuarzo.
- Plata o PVC con cualquiera de los materiales citados.

- 12.** Calcula la carga eléctrica (con su signo) de:

a) 1 mol de electrones.

b) El núcleo de un átomo de uranio.



Recuerda el número de Avogadro, y averigua el número de protones de un átomo de uranio.

- a) En un mol de electrones habrá el número de Avogadro de electrones; esto es:

$$n.^\circ \text{ e}^- = 1 \text{ mol de electrones} \cdot \frac{N_A \text{ electrones}}{1 \text{ mol de electrones}}$$

Así, el número de electrones será:

$$n.^\circ \text{ e}^- = 1 \text{ mol de electrones} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ electrones}}{1 \text{ mol de electrones}} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ electrones}$$

Teniendo en cuenta el valor de la carga del electrón, el que corresponde a 1 mol de electrones será:

$$Q = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ electrones} \cdot \frac{(-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})}{1 \text{ electrón}} = -9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$$

- b) En la tabla periódica se puede consultar el número atómico del uranio, 92; por tanto, en su núcleo hay 92 protones y, en estado neutro (no formando iones), tiene 92 electrones.

Por tanto, el valor de la carga del núcleo del átomo de uranio será:

$$Q = 92 \text{ protones} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{1 \text{ protón}} = 1,47 \cdot 10^{-17} \text{ C}$$

13. El culombio es una unidad de carga muy grande; por eso se utilizan submúltiplos de él; de acuerdo con los prefijos del SI que ya debes conocer, ordena estas cargas de mayor a menor:

- a) 400 nC.
- b) $6 \cdot 10^{-2} \mu\text{C}$.
- c) 0,002 C.
- d) 20 mC.
- e) $10 \cdot 10^{-6} \text{C}$.
- f) 8 000 nC.

i Para poder comparar diferentes valores de una magnitud, han de estar expresados en las mismas unidades.

Como se indica en el propio enunciado del ejercicio, para poder comparar valores de una misma magnitud, estos han de estar expresados en las mismas unidades; por tanto, lo primero que haremos será expresar el valor de las cargas de los diferentes apartados en la unidad correspondiente del SI, el culombio, C; así:

$$q_a = 400 \text{ nC} \cdot \frac{1 \text{ C}}{10^9 \text{ nC}} = 400 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$q_b = 6 \cdot 10^{-2} \mu\text{C} \cdot \frac{1 \text{ C}}{10^6 \mu\text{C}} = 6 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

$$q_c = 0,002 \text{ C}$$

$$q_d = 20 \text{ mC} \cdot \frac{1 \text{ C}}{1000 \text{ mC}} = 0,02 \text{ C}$$

$$q_e = 10 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

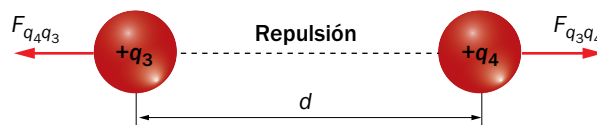
$$q_f = 8\,000 \text{ nC} \cdot \frac{1 \text{ C}}{10^9 \text{ nC}} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

Por tanto, el orden de las cargas, de mayor a menor, es:

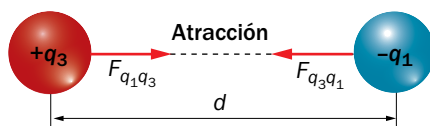
$$q_d > q_c > q_e > q_f > q_b > q_a$$

14. Dispones de cuatro cargas, q_1 , q_2 , q_3 y q_4 . Sabes que q_4 es positiva, y si se acercan de dos en dos, q_1 y q_2 se repelen, q_1 y q_3 se atraen y q_3 repele a q_4 . Determina el signo de las cargas q_1 , q_2 y q_3 . Resuelve el ejercicio haciendo sendos dibujos que muestren el sentido de las fuerzas eléctricas entre las cargas.

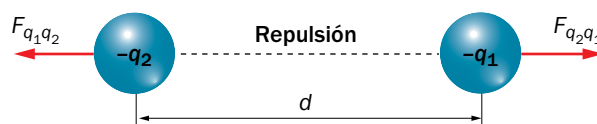
De acuerdo con el enunciado, q_3 repele a q_4 ; como q_4 es positiva, la carga q_3 también ha de serlo:



Como q_1 y q_3 se atraen, y q_3 es positiva, q_1 ha de ser negativa:



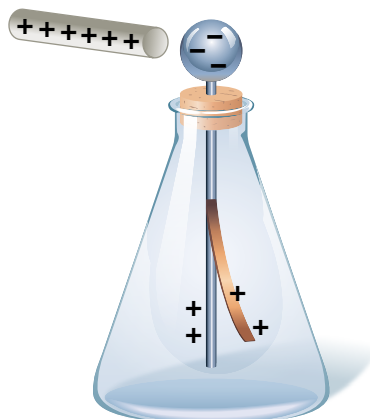
Por último, como q_1 y q_2 se repelen, su signo ha de ser el mismo; en este caso, negativo, pues ya hemos deducido que ese es el signo de la carga q_1 ; así, el dibujo que corresponde a la interacción entre q_1 y q_2 es:



- 15.** Al acercar una varilla cargada positivamente a la esfera de un electroscopio, sus láminas se separan, y también lo hacen cuando se toca la esfera metálica con la varilla.

Dibuja las cargas en la varilla y el electroscopio cuando:

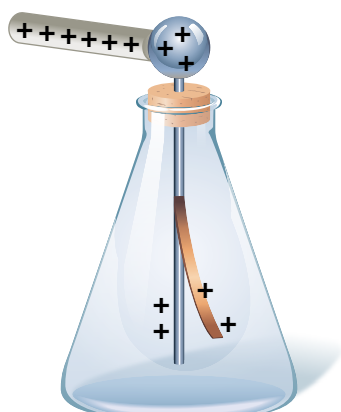
- Se electriza la esfera por inducción.
 - Después de electrizarla por inducción, se retira la varilla.
 - Se electriza la esfera por conducción.
- a) Cuando la esfera se electriza por inducción, esto es, al acercarle, en este caso, una varilla cargada positivamente, los electrones se distribuyen alrededor de ella, lo que provoca una redistribución de cargas, positivas en la esfera y negativas en las láminas, lo que hace que estas últimas se separen. El dibujo que corresponde a este caso es el siguiente.



- b) Si se retira la varilla, no hay nada que induzca una separación de cargas en el electroscopio, por lo que este volverá a encontrarse igual que en el estado inicial, con sus varillas en reposo:



- c) Ahora la esfera se electriza por conducción; esto es, la varilla cargada positivamente toca la esfera; en este caso, las dos láminas adquieren la carga del cuerpo electrizado, la varilla, y las láminas se repelerán, separándose tanto más cuanto mayor sea la cantidad de carga:



Interacción entre cargas eléctricas. Ley de Coulomb

19. Indica cómo varía la fuerza eléctrica entre dos cargas, Q y q , en el vacío y a una distancia d si:

- Duplicamos el valor de una de las cargas.
- Las acercamos a una distancia $d/2$.
- Duplicamos el valor de las dos cargas y las situamos a una distancia $2 \cdot d$.
- Las situamos en un medio cuya constante K es 3,6 veces menor que la constante K en el vacío.

De acuerdo con la ley de Coulomb, la fuerza con que interaccionan eléctricamente dos cargas, Q y q , situadas en el vacío a una distancia d entre ellas, es:

$$F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2}$$

a) Si $Q_a = 2 \cdot Q$, la fuerza de interacción eléctrica, F_a , entre ambas cargas es:

$$F_a = K \cdot \frac{Q_a \cdot q}{d^2} = K \cdot \frac{2 \cdot Q \cdot q}{d^2} = 2 \cdot K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} = 2 \cdot F$$

Así, el valor de la fuerza eléctrica se duplica.

b) Si $d_b = d/2$, la fuerza eléctrica es:

$$F_b = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d_b^2} = K \cdot \frac{Q \cdot q}{(d/2)^2} = 4 \cdot K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} = 4 \cdot F$$

En este caso, la fuerza de interacción eléctrica se hace cuatro veces mayor.

c) Ahora, $Q_c = 2 \cdot Q$; $q_c = 2 \cdot q$, y $d_c = 2 \cdot d$; entonces:

$$F_c = K \cdot \frac{Q_c \cdot q_c}{d_c^2} = K \cdot \frac{2 \cdot Q \cdot 2 \cdot q}{(2 \cdot d)^2} = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} = F$$

La intensidad de la fuerza eléctrica no varía.

d) Por último, se considera el caso en que $K_d = K/3,6$:

$$F_d = K_d \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} = \frac{K}{3,6} \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} = \frac{1}{3,6} \cdot F$$

Así, la fuerza de interacción eléctrica entre ambas cargas también se hace 3,6 veces menor.

20. Dos cargas están situadas en el vacío a una cierta distancia. Si en otro medio diferente (pero a igual distancia), la fuerza con que interaccionan disminuye 80 veces, calcula el valor de la constante de Coulomb, K , en este último medio.

Si llamamos F_v y K_v a la fuerza de interacción eléctrica en el vacío y a la constante del vacío, respectivamente, y F y K a las que corresponden al nuevo medio podemos escribir, de acuerdo con el enunciado:

$$F_v = 80 \cdot F$$

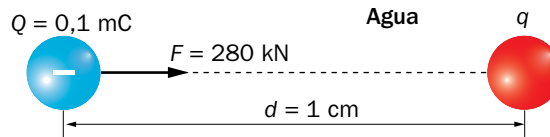
Si las cargas, Q y q , están separadas una distancia d , al aplicar la ley de Coulomb resulta:

$$F_v = 80 \cdot F \rightarrow K_v \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} = 80 \cdot K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} \rightarrow K_v = 80 \cdot K$$

Así:

$$K = \frac{K_v}{80} = \frac{9 \cdot 10^9}{80} = 1,13 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

21. Observa la figura y determina el signo de la carga q y su valor, expresado en mC:



El valor de las magnitudes que aparecen en la figura, expresado en las unidades correspondientes del SI, es:

$$\begin{aligned} F &= 280 \text{ kN} = 280\,000 \text{ N} \\ Q &= 0,1 \text{ mC} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ C} \\ d &= 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m} \end{aligned}$$

De acuerdo con la ley de Coulomb:

$$F = K_{\text{agua}} \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} \rightarrow q = \frac{F \cdot d^2}{K_{\text{agua}} \cdot Q}$$

La constante del agua se puede consultar en la página 183 del libro del alumnado; su valor es de $1,12 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$. El valor de la carga q resulta, entonces:

$$q = \frac{280\,000 \text{ N} \cdot (0,01 \text{ m})^2}{1,12 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ C}} = 0,0025 \text{ C}$$

Por último, expresamos el resultado obtenido en mC, como solicita el enunciado del problema:

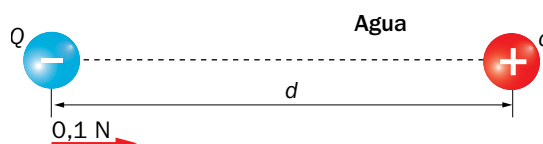
$$q = 0,0025 \text{ C} \cdot \frac{1000 \text{ mC}}{1 \text{ C}} = 2,5 \text{ mC}$$

22. El átomo de hidrógeno tiene un solo electrón situado a una distancia aproximada de $5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ del núcleo. Calcula la fuerza eléctrica con la que le atrae este último.

En este ejercicio se ha de calcular la fuerza eléctrica con que se atraen un protón (el presente en el núcleo del átomo de hidrógeno) y un electrón, situados a una distancia de $5 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ en el vacío; aplicando la ley de Coulomb se obtiene:

$$F = K \cdot \frac{q_e \cdot q_p}{d^2} \rightarrow F = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{(5 \cdot 10^{-11} \text{ m})^2} = 9,24 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

23. La figura muestra dos cargas, cuyos valores son $Q = -10 \mu\text{C}$ y $q = +12 \mu\text{C}$, situadas en agua y a 25 cm de distancia, d , entre ellas. Copia en tu cuaderno la figura y dibuja la fuerza que experimentará cada carga. Para representar la intensidad de la fuerza, utiliza la escala que muestra la figura (calcula previamente cuánto vale la fuerza).



Los datos que proporciona el enunciado del problema, expresados en las unidades correspondientes del SI, son:

$$Q = -10 \mu\text{C} \cdot \frac{1\text{C}}{10^{-6} \mu\text{C}} = -10 \cdot 10^{-6} \text{C}$$

$$q = 12 \mu\text{C} \cdot \frac{1\text{C}}{10^{-6} \mu\text{C}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{C}$$

$$d = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

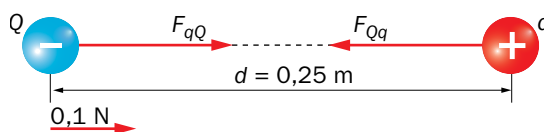
Por otro lado, en la página 183 del libro del alumnado se puede consultar que:

$$K_{\text{agua}} = 1,12 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

Al aplicar la ley de Coulomb, el valor de la fuerza eléctrica de atracción resulta:

$$F = K_{\text{agua}} \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} \rightarrow F = 1,12 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \cdot \frac{-10 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot 10^{-6}}{(0,25 \text{ m})^2} = -0,215 \text{ N}$$

Esto es, las cargas se atraen con una fuerza eléctrica de 0,215 N, como se refleja en la figura:



24. Copia la siguiente tabla en tu cuaderno y complétala, sabiendo que se cumple que $Q = 1,5 \cdot q$.

Medio	Q (μC)	q (μC)	d (cm)	F (N)
Aire	1,5		10	
Agua	4,5			5000
Vidrio		2		31

Para resolver este ejercicio, aplicaremos la ley de Coulomb, despejando la variable que corresponda en cada caso. Además, tendremos en cuenta que, de acuerdo con la página 183 del libro del alumnado:

$$K_{\text{aire}} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 ; K_{\text{agua}} = 1,12 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 ; K_{\text{vidrio}} = 1,16 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

Por tanto:

- Para el aire:

$$Q = 1,5 \cdot q \rightarrow q = \frac{Q}{1,5} = \frac{1,5}{1,5} = 1 \mu\text{C} = 1 \cdot 10^{-6} \text{C}$$

El resto de magnitudes, expresadas en las unidades correspondientes del SI, son:

$$Q = 1,5 \mu\text{C} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$d = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

Por tanto, la fuerza eléctrica de interacción entre ambas cargas (repulsiva, por ser ambas del mismo signo), será:

$$F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} \rightarrow F = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(0,1 \text{ m})^2} = 1,35 \text{ N}$$

- Para el agua:

$$Q = 1,5 \cdot q \rightarrow q = \frac{Q}{1,5} = \frac{4,5}{1,5} = 3 \mu\text{C} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

La distancia que separa a las dos cargas en el agua se calcula con la expresión:

$$F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} \rightarrow d = \sqrt{K \cdot \frac{Q \cdot q}{F}}$$

Sustituyendo los datos de que disponemos resulta:

$$d = \sqrt{1,12 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{4,5 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{5000}} = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Expresada en centímetros, como se solicita en la tabla, se tiene:

$$d = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ cm}$$

- Para el vidrio:

$$Q = 1,5 \cdot q \rightarrow Q = 1,5 \cdot 2 = 3 \mu\text{C} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

Aplicando la ley de Coulomb igual que en el caso del agua se obtiene:

$$d = \sqrt{1,16 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{31}} = 0,015 \text{ m}$$

Así:

$$d = 1,5 \text{ m}$$

La tabla completa es, por tanto:

Medio	Q (μC)	q (μC)	d (cm)	F (N)
Aire	1,5	1	10	1,35
Agua	4,5	3	5,5 · 10 ⁻²	5000
Vidrio	3	2	1,5 m	31

- 25.** En el cloruro de sodio, la distancia entre los centros de sus iones Na^+ y Cl^- es de $1,75 \cdot 10^{-7}$ cm. Calcula la fuerza con la que se atraen o se repelen (indica la opción correcta) en el aire.

Para resolver este problema haremos la aproximación de que la distancia entre ambas cargas eléctricas es la que separa los centros de sus iones; así, la resolución del problema se reduce al cálculo de la fuerza de atracción de dos cargas eléctricas de la misma magnitud (el valor absoluto de la carga del electrón) y signos opuestos.

Al aplicar la ley de Coulomb, teniendo en cuenta que:

$$d = 1,75 \cdot 10^{-7} \text{ cm} = 1,75 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

resulta:

$$F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2} \rightarrow F = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot (-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C})}{(1,75 \cdot 10^{-9} \text{ m})^2} = -7,54 \cdot 10^{-11} \text{ N}$$

El signo negativo obtenido tiene significado físico; indica que la fuerza entre ambos iones, positivo y negativo, es de atracción.