

IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
1. L'elettrizzazione per strofinio	 ANIMAZIONE Corpi negativi e corpi positivi	1,5
3. La definizione operativa della carica elettrica	 IN LABORATORIO Funzionamento di un elettroscopio	2
4. La legge di Coulomb	 ANIMAZIONE Il principio di sovrapposizione	1
7. L'elettrizzazione per induzione	 ESPERIMENTO VIRTUALE Attrazioni elettriche Gioca, misura, esercitati.	1
	 ANIMAZIONE Polarizzazione e costante dielettrica	
 MAPPA INTERATTIVA	 IN 3 MINUTI · La legge di Coulomb 30 TEST INTERATTIVI SU ZTE CON FEEDBACK «Hai sbagliato, perché...»	

VERSO IL CLIL

 FORMULAE IN ENGLISH

 AUDIO

Coulomb's law

$$F = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

The electrostatic force acting simultaneously between two point charges is equal to the product of the proportionality constant k_0 , the charges q_1 and q_2 , and the reciprocal of the square of the separation distance r of the point charges.

 QUESTIONS AND ANSWERS

 AUDIO

► What is electric charge?

Atoms are comprised of a central nucleus, containing a densely packed mixture of neutrons and protons (apart from Hydrogen, H_1 , whose nucleus contains just one proton), surrounded by a cloud of electrons. These electrons are arranged in "shells" and those in the partially filled outer shell are less strongly tied to the nucleus and in certain circumstances can be removed. When an atom loses electrons it is said to be positively charged. When an atom gains electrons it is said to be negatively charged. On a macro level the amount of electric charge on an

object – the net charge – is the sum of the electrons lost or gained in all of the atoms and molecules of the object. The SI unit of electric charge is the coulomb (C) but it is useful to remember that in chemistry the unit is the elementary charge e : the electric charge carried by a single proton ($+e$) or by a single electron ($-e$).

► **Why is the electric charge carried by an electron negative?**

The simple answer is because everyone agrees it is negative, and everyone agrees therefore that the charge on a proton is positive: i.e. this is a *convention*. We could all agree to swap the labels and it wouldn't make any difference to physics: although many physics textbooks would have to be re-written. The origin of the convention lies in the work of the 18th century scientists Benjamin Franklin and William Watson, who thought of electricity as a type of invisible fluid (called *electrical aether*) present in all matter: when matter contains an excess of this fluid it is “positively” charged, and “negatively” charged when there is a deficit. We can see that this convention has a contrary sense to the loss/gain of electrons and the usefulness of the convention is often debated.

► **What are the different mechanism for charging objects?**

In everyday life and in science demonstrations the principal mechanism for charging objects is through contact. Known as the *triboelectric effect*, materials with weakly bound electrons tend to lose them while materials with sparsely filled outer shells tend to gain them. The effect can be demonstrated by rubbing an amber rod with a piece of fur which results in a charge separation; the amber acquires electrons becoming negatively charged and the fur loses electrons becoming positively charged. Other charge separation mechanisms are: pressure-induced (the *piezoelectric effect*); heat-induced (the *pyroelectric effect*); and charge-induced (*electrostatic induction*).

► **What is meant by “electrostatic discharge”?**

An object with a charge on its surface will gradually lose its charge through contact with air. This *dissipation* of charge will occur more slowly the lower the humidity in the air. The process in which a charged object loses its charge rapidly through contact with a body of differing charge, through a short circuit, or the dielectric breakdown of the surrounding air, is termed an electrostatic discharge. More often than not discharges go unnoticed, but sometimes we may experience a shock when built up static charge is quickly discharged, or the discharge may be more dramatic as in lightning.

► **What does the law of conservation of electric charge mean?**

The law of conservation of electric charge states that electric charge can neither be created nor destroyed: in other words, the net amount of positive and negative charge in the Universe does not change. This does not preclude individual positive or negative charges being created or destroyed, something that occurs in particle physics. What charge conservation does mean is that when charged particles are created or destroyed, equal numbers of positive and negative particles are created or destroyed, such that the net amount of charge in the Universe always remains the same.

► **What is a polarisation charge?**

When a charged object is brought close to a neutral object, the charge in the former distorts the atoms in the latter such that like charges are repulsed and opposite charges attracted. This induced charge in the second object is referred to as a polarisation charge: the word polarisation being derived from the adjective *polar* meaning “occupying or characterised by opposite extremes”. For example, a balloon carrying a negative charge brought to the surface of a wall will induce a polarisation in the wall such that the surface near the balloon is positively charged and the balloon is attracted to the wall. Over time the charge on the balloon will dissipate, the polarisation disappears, and the balloon will float away from the wall.

PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

3 LA DEFINIZIONE OPERATIVA DELLA CARICA ELETTRICA

- 11** ★★★ Il nucleo dell'atomo di ossigeno è composto da 8 protoni e 8 neutroni, mentre il nucleo dell'atomo di idrogeno è composto da un solo protone.
- Calcola la quantità di carica complessiva dei nuclei di una molecola di acqua.

$$[1,6 \times 10^{-18} \text{ C}]$$

- 12** ★★★ In un processo di decadimento nucleare un nucleo di torio-234, che contiene 90 protoni, emette una particella detta beta, che ha carica elettrica pari a quella dell'elettrone.
- Nel nucleo di quale elemento chimico si è trasformato il nucleo iniziale? Perché?

[Protoattinio]

4 LA LEGGE DI COULOMB

PROBLEMA MODELLO 3 TROVA IL PUNTO GIUSTO

Due cariche A e B di valori rispettivamente Q e $2Q$ si trovano a distanza L pari a 6,0 cm.

- Sul segmento che unisce le due cariche, determina a che distanza da A si deve porre una terza carica C di valore Q in modo che il vettore forza totale che agisce su C sia la metà di quello che sarebbe esercitato se fosse presente solo la prima carica A.

■ DATI

Carica A: Q
 Carica B: $2Q$
 Carica C: Q
 Distanza tra Q e $2Q$: $L = 6,0 \text{ cm} = 6,0 \times 10^{-2} \text{ m}$

$$\vec{F}_{\text{tot},C} = \frac{1}{2} \vec{F}_{A,C}$$

■ INCOGNITE

Distanza da A di C: $d = ?$

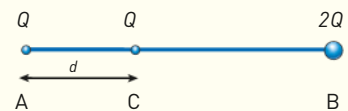
L'IDEA

In virtù del principio di sovrapposizione, la forza esercitata da ciascuna carica non dipende da quella esercitata dalle altre e quindi la forza totale subita dalla terza carica Q è la somma vettoriale delle forze esercitate da Q e da $2Q$. Nel caso esaminato, per sommare le forze applicate non è necessario scomporle, dal momento che giacciono sulla stessa retta.

LA SOLUZIONE

Rappresento il sistema

La carica C (di valore Q) è respinta sia dalla carica A (di valore Q) che dalla carica B (di valore $2Q$). Scelgo come verso positivo per le forze quello verso destra e chiamo d la distanza fra A e C che devo trovare.



Impongo la condizione $\vec{F}_{\text{tot},C} = \frac{1}{2} \vec{F}_{A,C}$.

Dalla legge di Coulomb ricaviamo i moduli delle forze esercitate dalle cariche A e B sulla carica C nei due casi richiesti dal problema.

$$F_{\text{tot},C} = k_0 \frac{Q Q}{d^2} - k_0 \frac{Q \times 2Q}{(L-d)^2} = k_0 \frac{Q^2}{d^2} - k_0 \frac{2Q^2}{(L-d)^2}$$

$$F_{A,C} = k_0 \frac{Q^2}{d^2}$$

Impongo ora, come richiesto, che il modulo della forza totale esercitata dalle due cariche A e B sulla carica centrale C sia uguale alla metà del modulo della forza esercitata su C solo in presenza della carica A, cioè:

$$k_0 \frac{Q^2}{d^2} - k_0 \frac{2Q^2}{(L-d)^2} = \frac{1}{2} k_0 \frac{Q^2}{d^2}$$

Quindi, semplificando i fattori comuni e facendo il minimo comune denominatore otteniamo:

$$\frac{1}{d^2} - \frac{2}{(L-d)^2} = \frac{1}{2d^2} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{2d^2} - \frac{2}{(L-d)^2} = 0 \quad \rightarrow \quad L^2 + d^2 - 2Ld - 4d^2 = 0$$

$$-3d^2 - 2Ld + L^2 = 0 \quad \rightarrow \quad 3d^2 + 2Ld - L^2 = 0$$

Risolviamo l'equazione di secondo grado nell'incognita d :

$$d = \frac{-L \pm \sqrt{L^2 + 3L^2}}{3} = \frac{-L \pm 2L}{3}$$

L'unica soluzione accettabile è quella positiva, quindi, sostituendo il valore di L :

$$d = \frac{2L - L}{3} = \frac{L}{3} = \frac{6,0 \times 10^{-2} \text{ m}}{3} = 2,0 \times 10^{-2} \text{ m}$$

PER NON SBAGLIARE

Quando le forze da sommare sono allineate, basta calcolare i moduli delle forze e usare i segni “+” e “-” per indicare i due versi possibili. In questo modo i calcoli sono più semplici e rapidi.

22 ★★★ Due cariche $Q_1 = 2,0 \times 10^{-9} \text{ C}$ e $Q_2 = -1,5 \times 10^{-8} \text{ C}$ sono poste nel vuoto alla distanza di 3,0 cm.

- ▶ Calcola l'intensità della forza con cui le due cariche si attraggono.

[$3,0 \times 10^{-4} \text{ N}$]

23 ★★★ Una sfera di carica $Q_1 = -6,3 \times 10^{-9} \text{ C}$ viene attratta con una forza di intensità $F = 1,5 \times 10^{-3} \text{ N}$ da un'altra sfera carica posta a 7,0 cm di distanza.

- ▶ Calcola la carica della seconda sfera.

[$1,3 \times 10^{-7} \text{ C}$]

24 ★★★ Su due sfere identiche, conduttrici e isolate, vengono depositate due cariche elettriche uguali. Le sfere si trovano

a distanza d grande rispetto al loro diametro e si respingono con forza F . Una terza sfera conduttrice identica alle due precedenti, ma scarica, viene posta in contatto elettrico con la prima sfera e poi con la seconda, quindi viene allontanata definitivamente. Qual è, ora, l'intensità della forza tra le due sfere?

(*Olimpiadi di fisica 2006, gara nazionale di primo livello*)

[3 F/8]

25 ★★★ Due palline uguali portano cariche elettriche uguali pari a $Q = 2,43 \times 10^{-7} \text{ C}$. In linea di principio, la forza di attrazione gravitazionale potrebbe equilibrare la loro forza di repulsione elettrica.

- ▶ Calcola quanto dovrebbe valere la massa delle due palline.

[$2,8 \times 10^3 \text{ kg}$]

5 L'ESPERIMENTO DI COULOMB

PROBLEMA MODELLO 4 UNO STORICO ESPERIMENTO

L'esperimento di Coulomb viene ripetuto in un laboratorio didattico. Il manubrio della bilancia a torsione è lungo 14 cm, la sferetta a un'estremità del manubrio ha una carica $Q = 0,23 \text{ nC}$. La sferetta sostenuta da un supporto isolante è $Q' = 0,57 \text{ nC}$. Quando il manubrio è in equilibrio in modo tale da essere perpendicolare al segmento $d = 3,3 \text{ cm}$ che unisce le due cariche, l'angolo di torsione è $\alpha = 4,0^\circ$.

- ▶ Calcola il coefficiente di torsione del filo della bilancia a torsione.

■ DATI

Carica sul manubrio: $Q = 0,23 \times 10^{-9} \text{ C}$
 Carica sul supporto: $Q' = 0,57 \times 10^{-9} \text{ C}$
 Lunghezza del manubrio: $L = 0,14 \text{ m}$
 Distanza tra le cariche: $d = 3,3 \times 10^{-2} \text{ m}$
 Angolo di torsione: $\alpha = 4,0^\circ$

INCOGNITE

Coefficiente di torsione: $c = ?$

L'IDEA

Il manubrio della bilancia a torsione è in equilibrio quando il momento della forza di Coulomb \vec{M}_C (calcolato rispetto al punto medio tra le sferette) e il momento elastico di ritorno del filo \vec{M}_{el} hanno uguale modulo.

LA SOLUZIONE

Scrivo le espressioni dei due momenti.

Il modulo del momento della forza di Coulomb F_C è $M_C = F_C \frac{L}{2} = k_0 \frac{QQ'L}{2d^2}$

Il modulo del momento elastico di ritorno del filo è $M_{el} = c\alpha$

Ricavo il coefficiente di torsione del filo.

Dall'uguaglianza dei moduli dei due momenti $M_{el} = M_C$ ricavo:

$$c = k_0 \frac{QQ'L}{2d^2\alpha} = \left(8,99 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}\right) \times \frac{(0,23 \times 10^{-9} \text{ C}) \times (0,57 \times 10^{-9} \text{ C}) \times (0,14 \text{ m})}{2 \times (3,3 \times 10^{-2} \text{ m})^2 \times (4,0^\circ)} = 1,9 \times 10^{-8} \frac{\text{Nm}}{\text{grado}}$$

PER NON SBAGLIARE

In questo caso, il braccio è uguale alla metà della lunghezza del manubrio. Se la direzione della forza di Coulomb non fosse perpendicolare al manubrio, il braccio della forza di Coulomb sarebbe minore della metà della lunghezza del manubrio.

39 **★★★** Supponi di ripetere l'esperimento di Coulomb con una bilancia a torsione il cui momento torcente è $M = 1,32 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{N}$. Nell'esperimento si usano due cariche uguali che si respingono con una forza $F = 3,11 \times 10^{-2} \text{ N}$, poste a una distanza pari al doppio del braccio della forza.

▶ Calcola la carica presente su ciascuna delle due cariche.

[$1,6 \times 10^{-6} \text{ C}$]

6 LA FORZA DI COULOMB NELLA MATERIA

46 **★★★** Due cariche elettriche puntiformi $Q_1 = 3,65 \times 10^{-8} \text{ C}$ e $Q_2 = 7,1 \times 10^{-8} \text{ C}$ sono immerse nel polietilene e distano tra loro $d = 2,35 \text{ cm}$. Esse si respingono con una forza $F = 1,84 \times 10^{-2} \text{ N}$.

▶ Calcola il valore della costante dielettrica relativa del polietilene.

[2,3]

47 **★★★** Due cariche elettriche puntiformi e identiche si trovano immerse nel silicio e distano $d = 4,5 \text{ cm}$ l'una dall'altra, respingendosi con una forza $F = 0,82 \times 10^{-2} \text{ N}$.

▶ Calcola l'intensità delle due cariche elettriche.

[$1,5 \times 10^{-7} \text{ C}$]

PROBLEMI GENERALI

9 ******* Due sfere conduttrici identiche A e B, inizialmente scariche, di massa $m = 500$ g, vengono a contatto in momenti successivi (prima A, poi B) con una terza sfera C, identica alle prime due, dotata inizialmente di carica $Q = 4,8 \times 10^{-7}$ C. Dopo il contatto, le due sfere si trovano a distanza $d = 3,0$ cm. Determina:

- ▶ la carica sulle due sfere dopo il contatto;
- ▶ la forza elettrica con cui le due sfere si respingono dopo il contatto;
- ▶ l'accelerazione con cui la prima sfera si allontana dalla seconda, supponendo che quest'ultima sia vincolata e rimanga ferma.

$$[2,4 \times 10^{-7} \text{ C}; 1,2 \times 10^{-7} \text{ C}; 0,29 \text{ N}; 0,58 \text{ m/s}^2]$$

10 ******* Due cariche puntiformi positive A e B si trovano alla distanza $d = 8,0$ cm. Le due cariche valgono $Q_A = 3,0 \mu\text{C}$ e $Q_B = 9,0 \mu\text{C}$.

- ▶ Qual è la posizione di equilibrio elettrostatico di una terza carica? Dipende dal suo valore e dal suo segno?

$$[2,9 \text{ cm da A}]$$

11 ******* La lunghezza a riposo di una molla orizzontale di materiale plastico è $L_0 = 16,2$ cm. I suoi estremi sono elettrizzati con cariche di uguale valore ma segno opposto. Il modulo di ciascuna carica è $Q = 3,1 \times 10^{-6}$ C. Per effetto

dell'attrazione tra le cariche, la lunghezza della molla si riduce a $L = 9,8$ cm.

- ▶ Calcola la costante elastica della molla.

$$[1,4 \times 10^2 \text{ N/m}]$$

12 ******* Tre cariche elettriche identiche si trovano ai vertici di un triangolo equilatero.

- ▶ Come dev'essere scelta una quarta carica che, posizionata opportunamente, consenta alle tre cariche di rimanere in equilibrio, ossia permetta di avere una forza totale nulla su ciascuna delle cariche iniziali?

(Olimpiadi di fisica 2004, Gara di secondo livello)

$$[-Q/\sqrt{3}, \text{ nel baricentro del triangolo}]$$

13 ******* Due piccole sfere conduttrici identiche sono sospese a due punti P e O, distanti $d = 4,0$ cm l'uno dall'altro, mediante due sottili fili di seta lunghi $L_1 = 12$ cm e $L_2 = 20$ cm. Le sfere sono elettrizzate, con cariche $Q_1 = 0,90 \times 10^{-7}$ C e $Q_2 = 3,8 \times 10^{-8}$ C. A causa dell'elettrizzazione, le sfere si allontanano e trovano una nuova posizione di equilibrio; i fili che le sostengono formano con la verticale gli angoli $\varphi_1 = 2,0^\circ$ e $\varphi_2 = 5,0^\circ$.

- ▶ Determina le masse delle due sfere.

- ▶ Determina i valori delle tensioni dei due fili.

$$[5,6 \times 10^{-3} \text{ kg}; 2,0 \times 10^{-3} \text{ kg}; 5,5 \times 10^{-2} \text{ N}; 2,2 \times 10^{-2} \text{ N}]$$

TEST

9 The following question has 4 choices for its answer, out of which ONE OR MORE is/are correct. Under the influence of the Coulomb field of charge $1 Q$, a charge $2q$ is moving around it in an elliptical orbit. Find out the correct statement(s).

- A The angular momentum of the charge $-q$ is constant.
- B The linear momentum of the charge $-q$ is constant.
- C The angular velocity of the charge $-q$ is constant.
- D The linear speed of the charge $2q$ is constant.

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) – 2010

10 Two small charges of $+2 \mu\text{C}$ (microcoulombs) and $-6 \mu\text{C}$ respectively are placed 4 cm apart as shown.

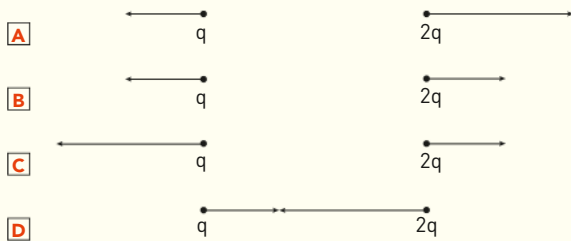


Where should a third charge $-8 \mu\text{C}$ be placed so that there is no net force on the $-6 \mu\text{C}$ charge?

- A 4 cm left of the $-6 \mu\text{C}$ charge.
- B 16 cm left of the $-6 \mu\text{C}$ charge.
- C 16 cm right of the $-6 \mu\text{C}$ charge.
- D 8 cm left of the $-6 \mu\text{C}$ charge.
- E 8 cm right of the $-6 \mu\text{C}$ charge.

Trends in International Mathematics and Science study, 2008/2009

- 11** Two particles have charges q and $2q$, respectively. Which figure BEST describes the electric forces acting on the two particles?



Trends in International Mathematics and Science study, 2008/2009

- 12** Una sfera conduttrice carica viene messa a contatto con due sfere, identiche alla prima, elettricamente neutre unite a formare un unico sistema. Quale frazione della carica iniziale rimane sulla sfera?

- A $1/3$
- B $1/4$
- C $1/2$
- D 1

- 13** Una sfera neutra viene messa a contatto prima con una sfera identica con carica Q e poi con un'altra, sempre identica, ma con carica $Q/2$. La carica che alla fine rimane sulla sfera iniziale vale:

- A $Q/2$
- B $Q/4$
- C Q
- D $Q/8$

- 14** Se un atomo perde due elettroni:

- A si carica positivamente, con una carica pari a $2e$.
- B si carica negativamente, con una carica pari a $-e$.
- C si carica negativamente, con una carica pari a $-2e$.
- D si carica positivamente, con una carica pari a e .

- 15** Le forze di Coulomb e quella gravitazionale sono simili perché:

- A agiscono a distanza.
- B masse e cariche esistono entrambe di due tipi.
- C sono inversamente proporzionali a una grandezza caratteristica (rispettivamente la massa e la carica).
- D le loro intensità, in condizioni ordinarie, hanno lo stesso ordine di grandezza.

- 16** La forza di Coulomb fra due corpi carichi in un mezzo diverso dal vuoto è sempre:

- A maggiore rispetto a quella nel vuoto.
- B minore rispetto a quella nel vuoto.
- C uguale rispetto a quella nel vuoto.
- D non confrontabile con quella nel vuoto.

- 17** L'unità di misura della costante dielettrica nel vuoto ϵ_0 nel S.I. è:

- A $N \cdot C^2$
- B C^2/m^2
- C $C^2/(N \cdot m^2)$
- D nessuna, ϵ_0 è un numero puro.

- 18** La costante dielettrica assoluta ϵ :

- A è definita come $\epsilon_0 \epsilon_r$.
- B è sempre uguale a ϵ_0 .
- C cambia con la temperatura.
- D non cambia con il mezzo materiale.

- 19** Let $[\epsilon_0]$ denote the dimensional formula of the permittivity of vacuum. If $M =$ mass, $L =$ length, $T =$ time and $A =$ electric current, then:

- A $[\epsilon_0] = [M^{-1}L^{-3}T^4A^2]$
- B $[\epsilon_0] = [M^{-1}L^2T^{-1}A^{-2}]$
- C $[\epsilon_0] = [M^{-1}L^2T^{-1}A]$
- D $[\epsilon_0] = [M^{-1}L^{-3}T^2A]$

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) – 2012

