

# Simulazione della prova di fisica

## 25 gennaio 2017

### Elettromagnetismo

a cura di Carlo Bertoni, Gianni Melegari e Claudio Romeni  
© Zanichelli 2017

Lo studente deve scegliere un problema e 3 quesiti, da svolgere in circa 5 ore.

#### PROBLEMA 1

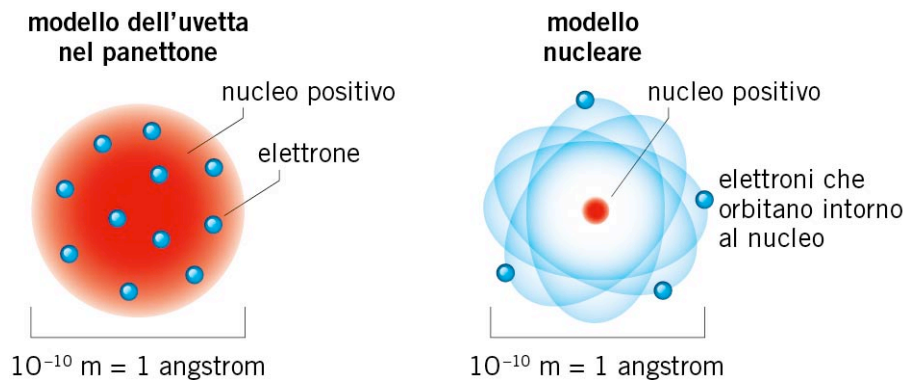
##### L'esperienza di Rutherford

All'inizio del XX secolo si sapeva che all'interno degli atomi c'erano gli elettroni, di carica negativa, e che gli atomi erano globalmente neutri e quindi dovevano contenere, da qualche parte, anche carica positiva.

Non si sapeva tuttavia come fosse distribuita questa carica positiva.

Il modello di Thomson (1902) prevedeva che la carica positiva fosse distribuita uniformemente e che in essa fossero inseriti gli elettroni come uvetta in un panettone.

Rutherford riteneva invece che la carica positiva fosse concentrata in una piccola regione al centro dell'atomo (il nucleo) e gli elettroni orbitassero attorno a tale nucleo come i pianeti in un sistema solare.



In una serie di esperimenti a partire dal 1908 Rutherford, insieme ai suoi collaboratori H. W. Geiger e W. Marsden, cominciò a investigare la struttura dell'atomo bombardando una sottile lamina d'oro con particelle  $\alpha$  (una particella  $\alpha$  è un nucleo di  ${}^4_2\text{He}$ ) e osservando la deflessione di queste oltre la lamina.

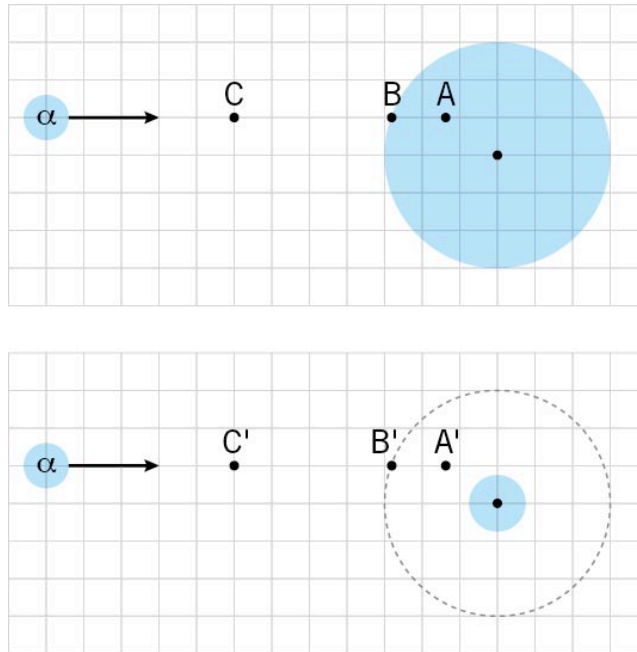
Si può prevedere teoricamente la differenza tra il comportamento di una particella  $\alpha$  in presenza di una carica positiva distribuita su tutto il volume dell'atomo e di una carica positiva concentrata in un nucleo. I diversi comportamenti previsti dai due modelli possono poi essere confrontati con i risultati di un esperimento, permettendo così di discriminare tra i modelli stessi.

Facciamo le seguenti ipotesi semplificatrici:

- consideriamo l'interazione della particella  $\alpha$  con un singolo atomo d'oro;
- non teniamo conto degli effetti degli elettroni.

Supponi che una particella  $\alpha$  venga sparata contro l'atomo d'oro, come è mostrato nella figura (non in scala). La parte colorata della figura rappresenta la distribuzione di carica positiva (penetrabile dalla particella  $\alpha$ ); la prima figura illustra il modello di Thomson e la seconda quello di Rutherford.

L'atomo d'oro ha un raggio  $R$  di  $10^{-10}$  m; l'ordine di grandezza del raggio del nucleo (nel caso del modello di Rutherford) è di  $10^{-15}$  m.



1)

Spiega la natura della forza con cui la carica positiva dell'atomo d'oro e la particella  $\alpha$  interagiscono nei due diversi casi ipotizzati dal modello di Thomson e di Rutherford e illustrane le principali proprietà.

2)

a) Calcola l'entità della forza che agirebbe sulla particella  $\alpha$  nei punti  $A$  (a distanza  $R/2$  dal centro),  $B$  (a distanza  $R$  dal centro) e  $C$  (a distanza  $2R$  dal centro) secondo il modello di Thomson. Illustra con un disegno la direzione e il verso della forza in quei tre punti.

b) Calcola l'entità con cui tale forza agirebbe sulla particella  $\alpha$  nei punti  $A'$  (a distanza  $R/2$  dal centro),  $B'$  (a distanza  $R$  dal centro) e  $C'$  (a distanza  $2R$  dal centro) secondo il modello di Rutherford. Illustra con un disegno la direzione e il verso della forza in quei tre punti.

3) Secondo il modello di Thomson, qual è il punto dello spazio interno all'atomo d'oro o in prossimità di esso in cui la forza sulla particella  $\alpha$  sarebbe massima? Quale sarebbe il punto in cui la forza sarebbe massima secondo il modello di Rutherford? In quale dei due casi la forza avrebbe modulo maggiore?

Giustifica la tua risposta rappresentando graficamente la funzione  $E=E(r)$  che esprime il modulo del campo elettrico in funzione della distanza dal centro nei due casi.

4) Nell'ambito del modello di Rutherford, supponi che una particella  $\alpha$  sparata contro la lamina d'oro, diretta esattamente verso il centro dell'atomo, arrivi al bordo dell'atomo

d'oro, quindi a una distanza di  $1,00000 \cdot 10^{-10}$  m dal centro, con un'energia cinetica di  $1,11 \cdot 10^{-12}$  J.

a) Quale distanza potrebbe ancora percorrere prima di fermarsi?

b) Per particelle con queste caratteristiche (di energia iniziale e direzione iniziale) quale traiettoria complessiva prevedi secondo il modello di Rutherford?

c) Quali aspetti pensi che cambierebbero nell'ambito del modello di Thomson, per particelle con la stessa energia e direzione al bordo?

In particolare aiutati calcolando l'energia cinetica che avrebbe la particella arrivando nel centro dell'atomo, attraverso il calcolo del lavoro frenante della forza elettrica lungo il raggio.

### Caratteristiche fisiche dell'atomo di oro

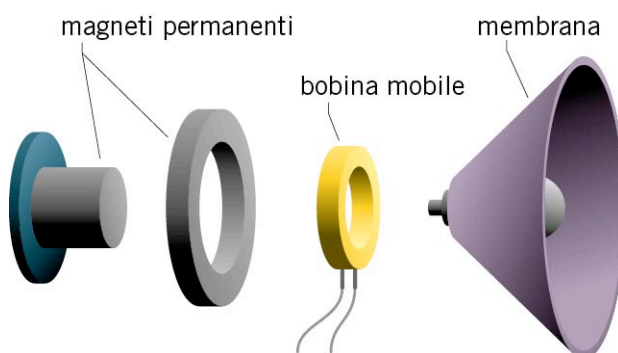
79	2
	8
<b>Au</b>	18
	32
	18
Oro	1
196,96...	

## PROBLEMA 2

### Smontiamo un altoparlante

Un **altoparlante** è un trasduttore che converte un segnale elettrico in un'onda meccanica, il suono.

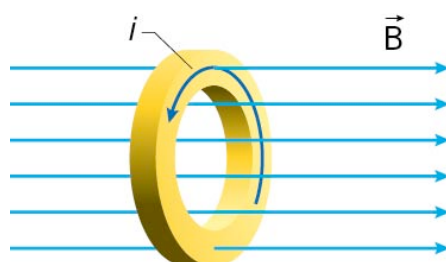
In una delle possibili modalità costruttive, il segnale elettrico da convertire in suono è costituito dalla corrente che circola in una spira, detta bobina mobile.



L'altoparlante, nei suoi elementi essenziali, è costituito da uno o più magneti permanenti, una bobina mobile e una membrana.

La bobina mobile è attaccata alla membrana, per cui un movimento della prima provoca una vibrazione della membrana.

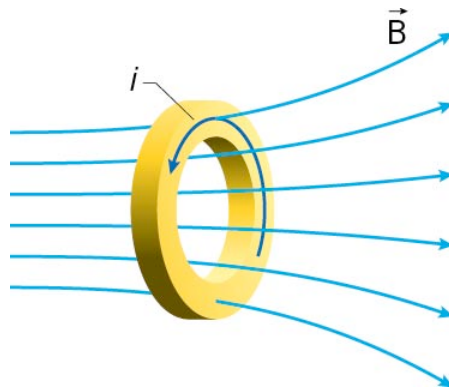
1) Considera la seguente situazione semplificata: la corrente  $i$  nella bobina mobile è continua e il campo magnetico  $\vec{B}$  prodotto dai magneti è uniforme e parallelo all'asse della bobina ( $i$  versi della corrente e del campo magnetico sono indicati in figura).



Che tipo di forza agisce sulla bobina?

Calcola la forza risultante che agisce sulla bobina. Puoi calcolarla come risultante delle forze che agiscono su piccoli tratti in cui pensi suddivisa la bobina.

Considera ora una situazione più realistica in cui il campo magnetico non è uniforme ma è descritto dalle linee di campo nella figura.



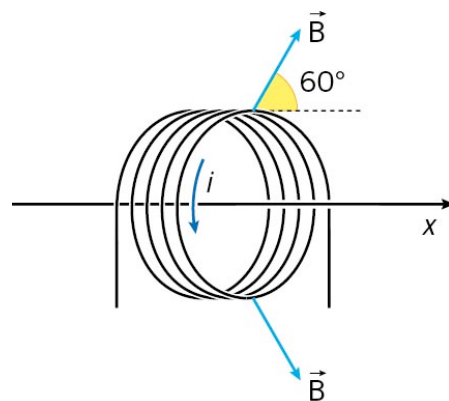
Disegna il vettore forza che si ottiene su un piccolo tratto di bobina e spiega perché la risultante delle forze sull'intera bobina non è nulla.

2) Supponi che la bobina mobile, che ha un diametro di 1,80 cm, sia composta da 40 avvolgimenti in cui circola una corrente di 0,80 A.

Supponi, inoltre, che il campo magnetico in ogni punto della bobina abbia intensità costante pari a 0,20 T e sia diretto con un angolo di  $60^\circ$  rispetto alla perpendicolare al piano della bobina.

Utilizza un sistema di riferimento in cui l'asse  $x$  sia l'asse della bobina e da cui la corrente risulta circolare in senso antiorario.

Calcola l'intensità, la direzione e il verso della forza magnetica risultante che agisce sulla bobina mobile.



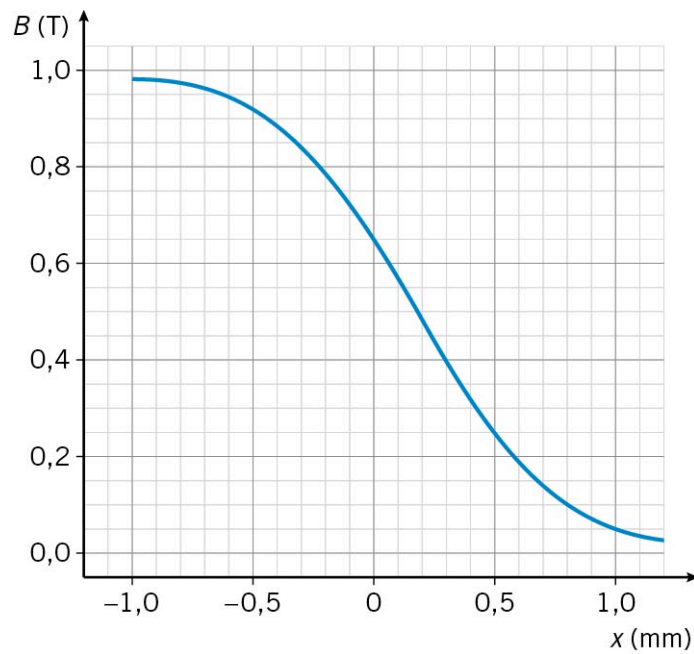
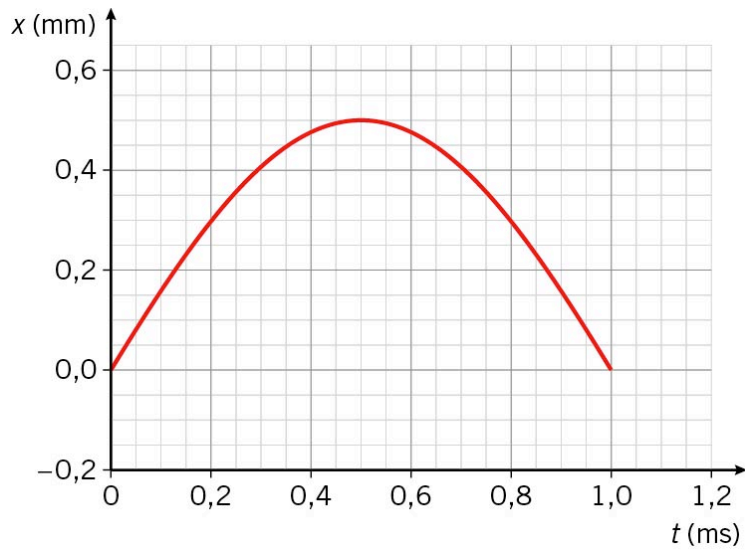
3) Lo stesso apparato può funzionare anche in senso inverso, come **microfono**, ovvero un trasduttore in grado di convertire il suono che investe la membrana in un segnale elettrico nella bobina mobile.

Spiega perché il moto della membrana, e quindi della bobina mobile, nel campo magnetico non uniforme generato dai magneti permanenti, può produrre una corrente elettrica nella bobina mobile.

4) Considera i seguenti grafici.

Il primo grafico rappresenta il moto della bobina lungo l'asse  $x$  in funzione del tempo in un certo intervallo di utilizzo.

Il secondo grafico rappresenta il campo magnetico medio  $\bar{B}_x$  nella direzione dell'asse  $x$  della bobina, in funzione della distanza dal magnete permanente che lo genera.



Tenendo conto che la resistenza della bobina è  $8,0 \Omega$  e trascurando gli effetti di autoinduzione, calcola la corrente media che circola nella bobina mobile nei seguenti intervalli di tempo:

- da  $t = 0,10$  ms a  $t = 0,20$  ms
- da  $t = 0,45$  ms a  $t = 0,55$  ms
- da  $t = 0,80$  ms a  $t = 0,90$  ms

## QUESITI

### Quesito 1

Un tecnico è incaricato di misurare le emissioni di un'antenna telefonica. L'antenna trasmette alle frequenze di 954,6 MHz e 958,2 MHz. A 40 m di distanza dall'antenna vengono misurati in seguenti valori per il campo elettrico.

Frequenza (MHz)	Campo elettrico efficace (V/m)
954,6	0,0800
958,2	1,21

Determina:

- l'intensità (o irradiazione) delle due onde nel punto di misura;
- la potenza complessiva dell'antenna (specificando sotto che ipotesi la calcoli);
- l'intensità delle due onde e le ampiezze del campo magnetico a 60 m dall'antenna.

### Quesito 2

Una centrale idroelettrica produce una potenza di 1200 MW. Una diga permette di trasformare l'energia potenziale dell'acqua del lago a monte in energia elettrica utilizzata da un centro industriale nelle vicinanze. L'acqua cade per 180 m muovendo le turbine di 15 generatori posti alla base.

Trascuriamo le perdite di energia per attrito che l'acqua ha lungo la discesa nelle condotte dal lago alla centrale.

- Che volume d'acqua deve cadere ogni secondo per alimentare ciascuno dei generatori?

Un generatore è costituito da una bobina rotante costituita da 150 spire di 2,00 m di diametro che ruotano a una frequenza di 60,0 Hz in un campo magnetico di intensità 0,100 T.

- Determina la forza elettromotrice efficace ottenuta ai capi del generatore.
- La tensione deve essere innalzata a un valore efficace di 100 000 V per essere trasportata sulle linee ad alta tensione. Ipotizza il numero di spire nel circuito primario e nel circuito secondario per ottenere questo innalzamento di tensione.

### Quesito 3

Si vuole costruire artigianalmente un sensore di posizione usando un solenoide. Una estremità del solenoide è tenuta ferma, mentre l'altra è attaccata a una lamina libera di muoversi, comprimendo o dilatando il solenoide.

Lo spostamento della lamina è la grandezza che si vuole misurare e viene messa in relazione all'induttanza del solenoide.

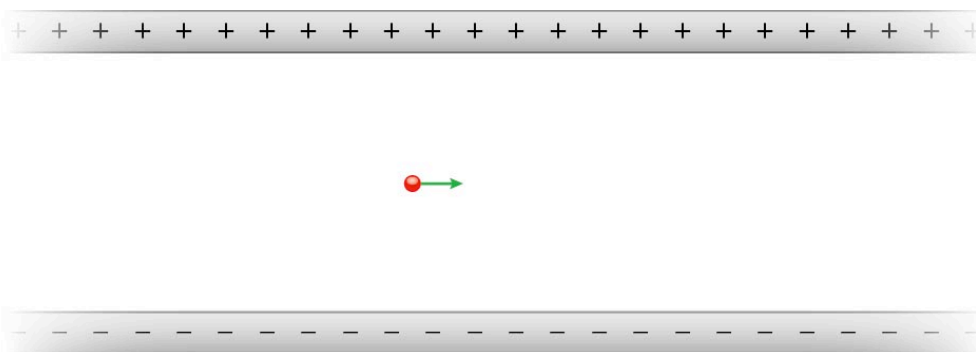
Il solenoide a riposo è lungo 12,00 cm ed è composto da 100 spire di raggio 0,500 cm.

- Calcola l'induttanza in posizione di riposo, per un allungamento di 0,500 mm e per una compressione di 0,500 mm. Ipotizza che l'area della spira non cambi.
- Determina l'espressione generale per lo spostamento in funzione dell'induttanza e traccia un grafico qualitativo in funzione dell'induttanza  $L$ .

#### Quesito 4

Un fascio di ioni  $\text{He}^+$  ( $m = 6,64 \cdot 10^{-27}$  kg) viene portato alla velocità di  $2,50 \cdot 10^6$  m/s. Gli ioni entrano poi in un condensatore piano, parallelamente alle piastre. Tra le piastre, lunghe 4,00 cm e distanti 0,500 cm, è applicata una d.d.p. di 800 V.

- a) Perché la traiettoria sia rettilinea, che campo magnetico bisogna applicare? Specifica modulo, direzione e verso.
- b) Se nel momento in cui la particella ha percorso metà della traiettoria all'interno del condensatore il campo magnetico viene spento, di quanto essa è spostata dalla traiettoria rettilinea all'uscita del condensatore?



#### Quesito 5

Qualche anno fa la NASA cercò di produrre energia elettrica per lo Space Shuttle Columbia srotolando un cavo conduttore attaccato alla navetta e tenuto teso da un piccolo satellite. Questo cavo avrebbe dovuto muoversi nel campo magnetico terrestre producendo una differenza di potenziale tra le estremità.

- a) Supponi che:
- il campo magnetico sia uniforme e di intensità  $B$ ;
  - il sistema shuttle/satellite si muova con velocità costante di modulo  $v$ , perpendicolare a  $\vec{B}$ ;
  - il cavo sia perpendicolare a  $\vec{B}$  e abbia lunghezza  $L$ .

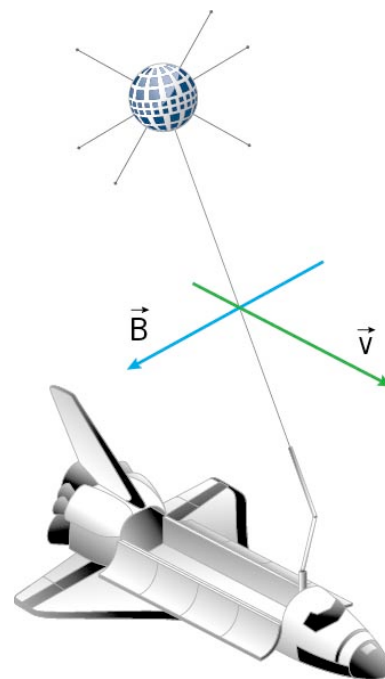
Esprimi in funzione di queste variabili la forza elettromotrice  $G$  tra le estremità del cavo.

b) All'altitudine dello shuttle il campo magnetico è di circa 0,30 gauss ( $1 \text{ gauss} = 10^{-4} \text{ T}$ ) e la velocità dello shuttle è di circa 7,5 km/s. Il cavo è lungo 20 km.

Qual è la differenza di potenziale attesa in volt?

c) All'altitudine dello shuttle (380 km), l'atmosfera rarefatta è leggermente ionizzata, permettendo così la formazione di un circuito chiuso formato da cavo e atmosfera, attraverso il quale può passare una corrente. In che verso circola tale corrente?

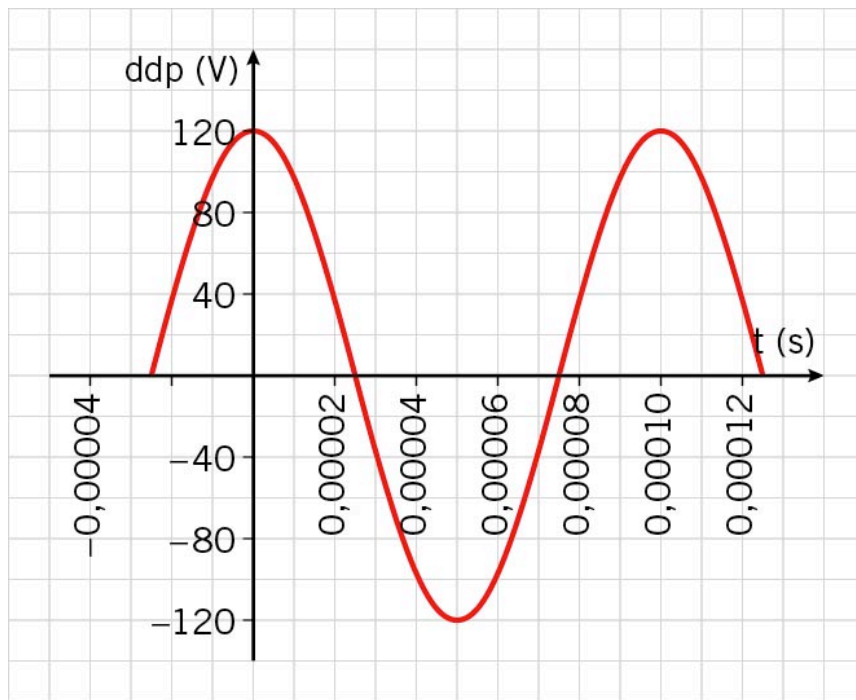
La resistenza del cavo è di circa  $100 \Omega$ . Se la corrente è di circa 0,50 A, qual è la resistenza di 20 km di aria ionizzata?





### Quesito 6

In un condensatore a facce parallele di forma circolare, di raggio 10,0 cm e distanti tra loro  $s = 1,50$  mm, è applicata una d.d.p. alternata che varia nel tempo secondo la legge descritta dal grafico in figura (la differenza di potenziale è espressa in volt,  $t$  in secondi). Determina il campo magnetico indotto (specificane direzione, verso e intensità) in un punto sul piano parallelo alle piastre passante per il centro del condensatore, a distanza  $d_1 = 4,00$  cm dall'asse del condensatore ai tempi  $t_1 = 0,000025$  s e  $t_2 = 0,000050$  s e in un punto dello stesso piano a distanza  $d_2 = 12,0$  cm agli stessi istanti.



## COSTANTI

Massa dell'elettrone	$9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Massa del protone	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Carica dell'elettrone	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Costante di Coulomb nel vuoto $k$	$8,988 \cdot 10^9 \text{ N(m/C)}^2$
Velocità della luce $c$	$2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Costante dielettrica del vuoto $\epsilon_0$	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
Permeabilità magnetica del vuoto $\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$