




## IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
7. La polarizzazione delle onde elettromagnetiche	 IN LABORATORIO Polarizzazione lineare della luce	2
 MAPPA INTERATTIVA	20 TEST INTERATTIVI SU  CON FEEDBACK «Hai sbagliato, perché...»	

## QUESTIONS AND ANSWERS

### AUDIO

#### ► What is the history of Maxwell's equations?

J.C. Maxwell was born in the 1831, the year in which Faraday demonstrated electromagnetic induction experimentally. When Maxwell published *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* in 1865 he presented twenty equations in twenty variables that were a synthesis of the knowledge at that date regarding electric and magnetic fields. In 1884, the English physicist Oliver Heaviside reformulated these into four equations in four variables using the vector notation he had invented. These revised equations describe how electrically charged particles and currents give rise to electric and magnetic fields.

#### ► State the first Maxwell equation in words.

The first equation states that the flux of an electric field through any closed surface – the flux being the average normal component of the electric field vector times the area of the surface – equals the net charge inside the surface divided by the constant  $\epsilon_0$  – the permittivity of free space. The equation tells us that the electric field lines diverge from a positive charge and are directed towards a negative charge, that like charges repel and charges of opposite sign attract. If a sphere is chosen as the surface, then as the sphere increases the average normal component of the electric field times the surface still equals the charge enclosed, and therefore the electric field must fall off with the inverse square of the distance from the charge – Coulomb's law.

#### ► State the second Maxwell equation in words.

The second equation states that the flux of a magnetic field through any closed surface is always zero. This equation tells us that the magnetic field lines are closed, and hence that magnetic monopoles, the magnetic equivalent of electric charges, cannot exist.

#### ► State the third Maxwell equation in words.

The circulation of an electric field around a closed curve that forms the edge of a surface – the circulation being the average tangential component of the electric field vector times the distance around the curve – equals the time rate of change of the flux of the magnetic field through the surface. This is an elegant statement of the Faraday-Neumann law: where a magnetic field is changing in time there is a consequent electric field, that electric fields can be generated by electric charges, moving electric charges, or a changing magnetic field.

► **State the fourth Maxwell Equation in words.**

The fourth equation states that the circulation of a magnetic field around a closed curve is proportional to the sum of the time rate of the change of the flux of the electric field through the surface bounded by the curve and the current through the curve. This is a restatement of Ampère's law that magnetic fields are produced by electric currents, with Maxwell's correction that an electric field that is changing in time gives rise to a magnetic field. This correction term is often referred to as the displacement current following Maxwell's terminology, but is actually a time varying electric field. The proportionality of the equation can be balanced by the multiplication of the circulation of the magnetic field around the closed curve with the term  $c^2$  and the division of the electric current through the curve by  $\epsilon_0$ . The balance can also be made using the relation that  $c$  equals the inverse of the square root of the product of the permittivity of free space and the permeability of free space. By using known values for these two constants Maxwell was able to show that electromagnetic waves propagate through space at a speed near the measured values of the speed of light, and that light is an electromagnetic phenomenon.

► **Explain the propagation of electromagnetic waves using the 3rd and 4th Maxwell equations.**

For oscillating charges, when the fields are changing in time, the interplay between the electric and magnetic fields – each giving rise to the other – is the mechanism by which electromagnetic waves propagate in space without the need for a propagating medium. The charges or currents that gave rise to the initial magnetic field are no longer required for the propagation to continue, they were only needed at the source.

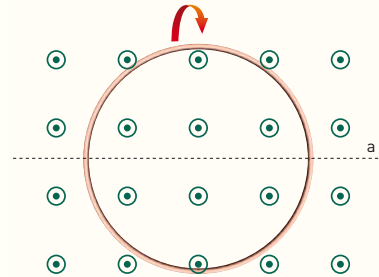
► **How do electromagnetic waves interact with matter?**

When interacting with matter electromagnetic radiation may undergo surface reflection or be transmitted through a substance. When the velocity of the radiation is slower in the transparent medium it is refracted at the surface and changes direction. A given material may be transparent at different wavelengths – a sheet of black card for instance will block visible light but be transparent to X-rays. Electromagnetic radiation may also be partially or totally absorbed by a substance, and the energy imparted to the substance can cause changes at the atomic or molecular level.

## PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

### 1 DALLA FORZA ELETTROMOTRICE INDOTTA AL CAMPO ELETTRICO INDOTTO

**9** **CON LE DERIVATE** Una spira si trova immersa in un campo magnetico uniforme  $\vec{B}$  diretto perpendicolarmente al piano della spira, come nella figura. Indichiamo con  $B$  il modulo del campo magnetico e con  $S$  il valore del vettore superficie, che supponiamo abbia lo stesso verso di  $\vec{B}$ . All'istante  $t = 0$  s la spira inizia a ruotare attorno all'asse  $a$  perpendicolare a  $\vec{B}$  e a  $\vec{S}$  con velocità angolare  $\omega$  (le linee del campo magnetico escono dal piano del foglio).



$$[B\omega \sin(\omega t)]$$

► Determina l'espressione della circuitazione  $\Gamma(\vec{E})$  in funzione del tempo  $t$ .

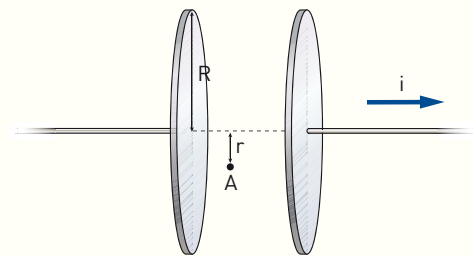
**10** Una spira circolare di raggio 5,2 cm si trova immersa in un campo magnetico uniforme perpendicolare al piano della spira. Il campo magnetico ha modulo pari a  $3,0 \times 10^{-4}$  T. In un intervallo di tempo di 24 s la spira si deforma e assume una forma quadrata.

► Determina il valore assoluto della circuitazione del campo elettrico.

$$\left[2,3 \times 10^{-8} \frac{\text{N}}{\text{C}} \cdot \text{m}\right]$$

### 2 IL TERMINE MANCANTE

**17** Il condensatore a facce piane parallele e circolari della figura seguente ha il raggio delle armature pari a  $R$  ed è collegato a un generatore di corrente che fa circolare una corrente di intensità  $i$ . Il punto  $A$  si trova all'interno del condensatore a una distanza  $r$  dal suo asse, come mostra la figura.



$$[\mu_0 i r / 2\pi R^2]$$

► Determina il modulo e la direzione del campo magnetico prodotto nel punto  $A$ .

**Suggerimento:** considera come cammino chiuso una circonferenza su un piano parallelo alle facce del condensatore.

### 5 LE ONDE ELETTROMAGNETICHE PIANE

**31** Vogliamo ricevere un'onda elettromagnetica che abbia una frequenza compresa nel campo del visibile, pari a  $4,1 \times 10^{14}$  Hz. A tale scopo, utilizziamo un circuito risonante con un'induttanza di 56  $\mu\text{H}$ .

► Determina quale valore dovrebbe avere la capacità del circuito.

$$[2,7 \times 10^{-27} \text{ F}]$$

**32** Le trasmissioni in «onde medie» impiegano una banda di frequenza attorno a 1 MHz, mentre per quelle in «onde corte» la frequenza può essere di 6 MHz. Un apparecchio ricevente utilizza la stessa bobina per ricevere entrambe le frequenze.

► Determina il rapporto tra le capacità dei due condensatori nel circuito ricevente.

$$[C_m/C_c = 4 \times 10]$$

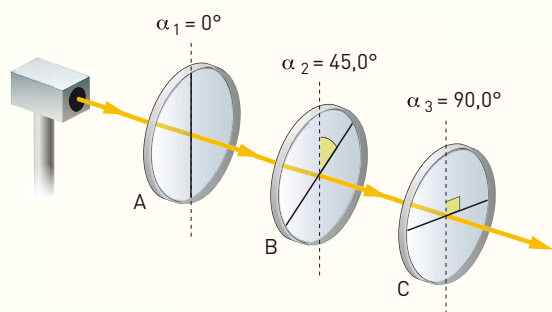
### 6 LE ONDE ELETTROMAGNETICHE TRASPORTANO ENERGIA E QUANTITÀ DI MOTO

**44** Un fascio di luce non polarizzata attraversa due polarizzatori lineari. L'irradiazione della luce uscente dal secondo polarizzatore è il 10% di quello della radiazione incidente sul primo polarizzatore.

► Determina l'angolo compreso tra gli assi dei due polarizzatori.

$$[63^\circ]$$

- 45** ★★★ Un laser produce un raggio di luce non polarizzata che incide su tre filtri polarizzatori lineari, come mostra la figura. L'irradiamento del raggio incidente sul primo polarizzatore vale  $500 \text{ W/m}^2$ .



- Determina il valore dell'irradiamento del raggio laser nei punti A, B, C.

[ $250 \text{ W/m}^2$ ;  $125 \text{ W/m}^2$ ;  $62,5 \text{ W/m}^2$ ]

- 46** ★★★ Un fascio di luce polarizzato linearmente è diretto verso tre filtri polarizzatori disposti in successione. L'angolo fra l'asse di trasmissione di ogni filtro e il piano di polarizzazione della luce che vi incide è di  $30,0^\circ$  e l'irradiamento della radiazione iniziale incidente è di  $450 \text{ W/m}^2$ . Determina l'irradiamento della radiazione elettromagnetica:

- in uscita dal primo filtro e prima di attraversare il secondo;
- in uscita dal secondo filtro e prima di attraversare il terzo;
- in uscita dal terzo e ultimo filtro.

[ $338 \text{ W/m}^2$ ;  $253 \text{ W/m}^2$ ;  $190 \text{ W/m}^2$ ]

## 7 LA POLARIZZAZIONE DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE

- 54** ★★★ Una lampada al sodio emette luce monocromatica con una lunghezza d'onda  $5890 \text{ \AA}$ .
- La radiazione emessa è visibile? ( $1 \text{ \AA} = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$ )

- 55** ★★★ An electromagnetic wave has a wavelength of  $600 \text{ nm}$ .

- Which kind of radiation does it belong to?
- Which is its frequency?

[ $5,00 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ]

## 8 LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO

- 65** ★★★ Una radiazione elettromagnetica ha una frequenza di  $2,70 \times 10^{15} \text{ Hz}$ .
- Qual è la sua lunghezza d'onda?
  - A quale banda dello spettro appartiene?

[ $1,11 \times 10^{-7} \text{ m}$ ]

- 66** ★★★ Il nostro emette soprattutto raggi infrarossi con lunghezza d'onda intorno a  $10^{-5} \text{ m}$ .
- Quanto vale la frequenza corrispondente?

[ $3 \times 10^{13} \text{ Hz}$ ]

## PROBLEMI GENERALI

- 9** ★★★ L'occhio umano può subire danni alla retina se viene colpito da radiazioni con irradiamento maggiore di  $1000 \text{ W/m}^2$  (ma il valore dipende anche dal tipo di radiazione, dalla frequenza e dal tempo di esposizione).
- A quali valori del campo elettrico e magnetico corrisponde questo irradiamento?

[ $8,68 \times 10^2 \text{ V/m}$ ;  $2,89 \times 10^{-6} \text{ T}$ ]

- Un puntatore laser emette un fascio del diametro di  $2,5 \text{ mm}$ : al di sotto di quale potenza deve stare per non presentare questi rischi?

[ $4,9 \text{ mW}$ ]

- 10** ★★★ Un'antenna di forma semi-sferica ha un diametro pari a  $20,0 \text{ m}$ . Essa riceve un segnale radio da una sorgente distante, il cui campo elettrico ha un'ampiezza massima di  $0,160 \text{ \mu V/m}$ .
- Qual è l'ampiezza massima del campo magnetico del

segnale?

- Qual è l'irradiamento del segnale?
- Qual è la potenza assorbita dall'antenna?

[ $5,33 \times 10^{-16} \text{ T}$ ;  $3,40 \times 10^{-17} \text{ W/m}^2$ ;  $2,14 \times 10^{-14} \text{ W}$ ]

- 11** ★★★ Il segnale di una stazione radio a modulazione di ampiezza AM ha una frequenza di  $850 \text{ kHz}$ . L'antenna della stazione radio AM è alta un quarto della lunghezza d'onda delle onde radio.

- Quanto è alta l'antenna?

[ $88 \text{ m}$ ]

- 12** ★★★ Una lampadina a incandescenza appesa al soffitto illumina una stanza. La lampadina assorbe una potenza media di  $60 \text{ W}$  e irradia la luce in modo uniforme in tutte le direzioni. Considera una superficie di raggio  $1,0 \text{ m}$  con centro sulla lampadina. Assumi che solo il  $4,0\%$  della po-

tenza elettrica assorbita dalla lampadina sia trasformata in luce.

- ▶ Calcola l'irradiazione della superficie considerata.
- ▶ Calcola il valore dell'ampiezza del campo elettrico dell'onda elettromagnetica emessa dalla lampadina, sempre a 1,0 m di distanza.
- ▶ Calcola il valore dell'ampiezza del relativo campo magnetico.

[0,19 W/m<sup>2</sup>; 12 N/C; 4,0 × 10<sup>-8</sup> T]

**13** **\*\*\*** Ai capi di un solenoide lungo 42,5 cm e costituito da 600 spire circolari di raggio pari a 5,0 cm viene applicato un generatore di tensione variabile e il circuito che si ottiene ha una resistenza elettrica complessivamente di 2,3 Ω. All'interno del solenoide si trova una spira circolare, di raggio 3,0 cm e orientata come le spire del solenoide. In un intervallo di tempo  $\Delta t = 0,20$  s, la  $f_{em}$  ai capi del solenoide passa da 300 V a 27 V.

- ▶ Determina l'intensità del campo elettrico indotto lungo la spira.

[1,6 × 10<sup>-2</sup> N/C]

**14** **CON LE DERIVATE** **\*\*\*** Una spira circolare di raggio  $a = 1,0$  m e resistenza  $R = 10,0$  Ω è immersa in un campo magnetico uniforme perpendicolare al piano della spira. Dall'istante iniziale  $t = 0$  s, il campo magnetico varia nel tempo secondo la legge  $B(t) = B_0(1 - bt^2)$  con  $b = 0,318$  s<sup>-2</sup> e  $B_0 = 0,50$  T. La spira può sopportare una corrente massima  $i_{max} = 1,0$  A.

- ▶ Per quanto tempo può rimanere acceso il campo magnetico?

[10 s]

**15** **\*\*\*** Partendo da un'onda polarizzata verticalmente, vogliamo ottenere un'onda che abbia l'asse di trasmissione inclinato di 45° rispetto alla verticale e un'irradiazione diminuita del 10% rispetto al valore iniziale. A questo scopo, utilizziamo un certo numero  $n$  di filtri polarizzatori lineari. Gli  $n$  filtri sono disposti in modo che l'asse di trasmissione di ogni filtro sia inclinato di un angolo  $\theta$  rispetto al precedente.

- ▶ Quanti filtri dobbiamo utilizzare e quanto deve valere l'angolo  $\theta$ ?

[ $n = 6$ ;  $\theta = 7^\circ 30'$ ]

**16** **\*\*\*** Sara e Davide comunicano attraverso due walkie-talkie dello stesso tipo, che emettono segnali alla potenza di 0,50 W sulla frequenza di 460 MHz.

- ▶ Qual è la lunghezza d'onda del segnale?
- ▶ L'antenna ricevente ha la forma di un cilindro di raggio 0,50 cm e altezza 10 cm, e possiamo assumere che il segnale si propaghi come un'onda sferica. Il segnale ricevuto deve avere potenza minima di  $1,0 \times 10^{-11}$  W per essere comprensibile. Qual è la distanza massima

alla quale possono comunicare Sara e Davide, in condizioni ideali?

**Suggerimento:** considera che il segnale sia trasmesso su una superficie sferica e senza interferenze.

[65,2 cm ; 2,6 km]

**17** **CON LE DERIVATE** **\*\*\*** Un condensatore ad armature circolari di raggio  $r = 15,0$  cm poste nel vuoto e capacità  $5,65 \times 10^{-11}$  F è caricato con una differenza di potenziale di  $3,00 \times 10^2$  V. In seguito, viene scaricato collegandolo in un circuito a una resistenza di 5,00 Ω. Considera un punto A all'interno delle armature, a una distanza  $d = 10,0$  cm dall'asse del condensatore, e un punto B al di fuori del condensatore, posto a 10,0 cm dal filo elettrico del circuito.

- ▶ Immediatamente prima dell'istante in cui viene collegato il circuito, quanto valgono i moduli del campo elettrico e del campo magnetico nei punti A e B?

[In A:  $E_0 = 2,72 \times 10^4$  V/m; 0 T; In B: 0 V/m; 0 T]

- ▶ Appena viene collegato il circuito, quanto vale il campo magnetico nel punto A? Come varia il modulo del campo magnetico in A dopo un intervallo di tempo  $\Delta t$ ?

[ $B_0 = 5,33 \times 10^{-5}$  T;  $B = B_0 \cdot e^{-\frac{\Delta t}{RC}}$ ]

**18** **CON LE DERIVATE** **\*\*\*** Una spira di raggio  $r$  è disposta con il suo asse parallelo a un piano orizzontale. La spira si muove di moto rettilineo uniforme a contatto con il piano, con velocità  $v = 16,0$  m/s. A un certo istante, entra in una zona dove è presente un campo magnetico parallelo all'asse della spira e uniforme sulla sua superficie, ma con modulo variabile dato da  $B = \alpha B_0 x^2$ , dove  $x$  è misurato lungo la traiettoria della spira. Le costanti valgono  $\alpha = 0,318$  m<sup>-2</sup> e  $B_0 = 1,0$  T.

Quando la spira è nel punto  $x = d = 0,50$  m la forza elettromotrice indotta vale  $f_{em} = 1,0$  V.

- ▶ Calcola il raggio della spira.

[25 cm]

**19** **CON LE DERIVATE** **\*\*\*** In una regione di spazio cilindrica è presente un campo magnetico uniforme,  $\vec{B}$ , diretto verticalmente verso l'alto, il cui modulo, inizialmente uguale a  $B_0$ , varia linearmente annullandosi in un tempo  $\tau$ . Nella regione è posto un anello conduttore di raggio  $r$ , giacente fermo in un piano perpendicolare a  $\vec{B}$ , con il centro sull'asse della regione.

- ▶ Determina l'energia assorbita da una carica  $q$  che percorre un giro completo nell'anello mentre il campo magnetico viene variato. Determinare quindi il modulo del campo elettrico  $E$  che agisce sulla carica.

(Olimpiadi della fisica, 2003, gara nazionale)

**Suggerimento:** Il modulo del campo magnetico varia nel tempo secondo la legge  $B(t) = B_0 \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)$

## TEST

- 12 La relazione che fornisce il valore della circuitazione del campo elettrico generato da un campo magnetico variabile è:

**A**  $\Gamma(\vec{E}) = -\frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t}$       **C**  $\Gamma(\vec{B}) = -\frac{\Delta\Phi(\vec{E})}{\Delta t}$

**B**  $\Gamma(\vec{E}) = \frac{\Delta\Phi(\vec{B})}{\Delta t}$       **D**  $\Gamma(\vec{B}) = \frac{\Delta\Phi(\vec{E})}{\Delta t}$

- 13 La circuitazione del campo elettrico indotto lungo una spira circolare di raggio 8,4 cm, posta in un piano perpendicolare a un campo magnetico uniforme che aumenta nel tempo al ritmo di  $5 \times 10^{-3} \frac{T}{s}$ , vale:

**A**  $-1,1 \times 10^{-4} \text{ V}$       **C**  $-1,3 \times 10^{-4} \text{ V}$

**B**  $-2,1 \times 10^{-4} \text{ V} \cdot \text{T}$       **D**  $-1,1$

- 14 In base alle equazioni di Maxwell, quale grandezza è uguale, per una superficie chiusa, al rapporto tra la carica totale contenuta nella superficie e la costante dielettrica?

**A** Il flusso del campo elettrico.

**B** Il flusso del campo magnetico.

**C** La circuitazione del campo elettrico.

**D** La circuitazione del campo magnetico.

- 15 Da una stazione di controllo sulla Terra viene inviato un segnale radio a una sonda spaziale che, ricevuto il segnale, ne manda uno di risposta. La sonda spaziale si trova in orbita attorno a Marte, a  $9,0 \times 10^7 \text{ km}$  dalla Terra. Quanto tempo passa sulla Terra dall'invio del segnale alla ricezione della risposta?

**A**  $1,67 \times 10^{-3} \text{ s}$       **C**  $1,67 \text{ s}$

**B**  $6,00 \times 10^{-1} \text{ s}$       **D**  $6,0 \times 10^2 \text{ s}$

- 16 Nelle trasmissioni radio in modulazione di frequenza:

**A** si mantiene costante la frequenza dell'onda e la sua ampiezza è modulata in accordo con il segnale che si vuole trasmettere.

**B** si mantiene costante l'ampiezza dell'onda e la sua frequenza è modulata in accordo con il segnale che si vuole trasmettere.

**C** si mantiene costante l'ampiezza e la sua fase è modulata in accordo con il segnale che si vuole trasmettere.

**D** si mantiene costante la frequenza dell'onda e la sua fase è modulata in accordo con il segnale che si vuole trasmettere.

- 17 La velocità della luce in un mezzo:

**A** aumenta di un fattore  $\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ .

**B** diminuisce di un fattore  $\sqrt{\epsilon_r \mu_r}$ .

**C** aumenta di un fattore  $\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_r \mu_0}$ .

**D** diminuisce di un fattore  $\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_r \mu_0}$ .

- 18 La frequenza di un'onda elettromagnetica di lunghezza d'onda pari a 48,2 nm è:

**A**  $1,61 \times 10^{-16} \text{ Hz}$       **C**  $6,22 \times 10^{13} \text{ Hz}$

**B**  $1,45 \times 10^1 \text{ Hz}$       **D**  $6,22 \times 10^{15} \text{ Hz}$

- 19 Quali delle seguenti affermazioni sono vere per le onde tipiche delle trasmissioni radio (più di una risposta è giusta)?

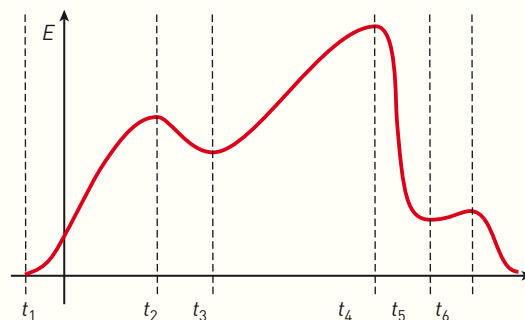
**A** Questo tipo di onde è usato dalle trasmissioni radar.

**B** La lunghezza d'onda è superiore al metro.

**C** Le onde sono riflesse dagli strati ionizzati dell'atmosfera.

**D** L'energia delle onde può essere facilmente ceduta all'acqua contenuta nei cibi, riscaldandoli.

- 20 Considera il grafico seguente, che rappresenta il modulo di un campo elettrico uniforme al variare del tempo. Possiamo dire che:



**A** la corrente di spostamento ha sempre lo stesso verso, nonostante cambi il suo modulo.

**B** la corrente di spostamento è sempre diversa da zero, eccetto all'istante  $t_1$ .

**C** la corrente di spostamento ha modulo costante da  $t_1$  a  $t_6$ .

**D** la corrente di spostamento cambia verso in corrispondenza di ogni linea tratteggiata.

- 21 The magnetic field in a travelling electromagnetic wave has a peak value of 20 nT. The peak value of electric field strength is:

**A. B** 6 V/m      **E. F** 12 V/m

**C. D** 9 V/m      **G. H** 3 V/m