

**QUESITI PER LA PREPARAZIONE
DELL'ESAME DI STATO**

Mauro Saita

Versione provvisoria. Marzo 2018

Per commenti o segnalazioni di errori scrivere, per favore, a:

maurosaita@tiscalinet.it

I questi proposti in questi appunti riguardano argomenti di solito trattati durante il quinto anno di un liceo scientifico. Essi possono essere utili per la preparazione della prova orale e di una eventuale terza prova dell'Esame di Stato. Di quelli contrassegnati con il simbolo \boxed{R} , nella sezione "Suggerimenti", si propone una possibile risposta oppure qualche suggerimento per costruirla. Si tenga presente che nella maggior parte dei casi esistono diverse risposte possibili; compito dello studente è fare le giuste scelte per costruire la risposta più consona alle proprie conoscenze e competenze.

1

¹ Nome file .tex: Quesiti_preparazione_esame_di_stato_fisica_2018.tex

Indice

1	Correnti	3
2	Magnetostatica	4
3	Fenomeni elettromagnetici dipendenti dal tempo	6
3.1	Correnti alternate	10
4	Onde elettromagnetiche	11
5	Relatività ristretta	12
6	Fisica moderna	13
7	Struttura della materia. Nuclei e particelle.	14
8	Suggerimenti	15

1 Correnti

Quesito 1.1. *Che cosa si intende per corrente elettrica? Come si definisce l'intensità di corrente? Qual è l'unità di misura della corrente elettrica nel Sistema Internazionale?*

R

Quesito 1.2. *Enunciare e spiegare la legge di Ohm, precisando se essa è valida per tutti i conduttori.*

R

Quesito 1.3. *Spiegare in termini microscopici l'effetto Joule.*

R

Quesito 1.4. *Esprimere energia e potenza disperse in calore quando un conduttore è percorso da corrente.*

R

Quesito 1.5. *Un circuito elettrico, formato da una conduttore ohmico di resistenza R , è percorso da una corrente di intensità i . È possibile quantificare l'effetto Joule? In caso affermativo, spiegare.*

R

2 Magnetostatica

Quesito 2.1. *Quali sono le sorgenti di campi magnetici? È possibile spiegare l'esistenza del campo magnetico mediante un'unica causa? In caso affermativo fornire una breve descrizione.*

R

Quesito 2.2. *Sia \mathbf{F} un campo vettoriale qualsiasi. Quali sono le proprietà che caratterizzano le linee di campo di \mathbf{F} ? Quali condizioni permettono di distinguere le linee di campo elettrico da quelle di campo magnetico?*

Quesito 2.3. *Descrivere le linee di campo magnetico nel caso di un filo rettilineo percorso da corrente. Determinare intensità, direzione e verso del vettore \mathbf{B} .*

Quesito 2.4. *Qual è la forza che agisce su una carica q che si trova immersa in un campo elettromagnetico?*

Quesito 2.5. *Enunciare la legge di Biot-Savart e spiegarne il significato in termini infinitesimali.*

Quesito 2.6. *Descrivere l'esperimento di Oersted. È possibile spiegare l'esistenza del campo magnetico mediante un'unica causa? In caso affermativo fornire una breve descrizione.*

R

Quesito 2.7. *Descrivere il campo magnetico generato da un solenoide percorso da corrente elettrica.*

Quesito 2.8. *Una carica elettrica q si trova vicino a un filo rettilineo percorso da corrente di intensità i . Se la carica è in quiete rispetto al filo si dica se sulla carica agiscono forze e, in caso affermativo, si descriva l'eventuale traiettoria descritta dalla carica.*

R

Quesito 2.9. *I due fili mostrati in figura sono paralleli. Nel filo 1 scorre corrente di intensità $i_1 = 2,0\text{ A}$ mentre nel filo 2 $i_2 = 5,2\text{ A}$. I versi delle correnti sono i medesimi (da sinistra verso destra). Determinare intensità direzione e verso del campo magnetico nel punto P e nel punto Q .*

R

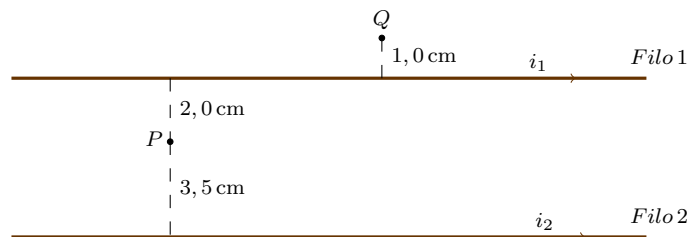


Figura 1: Due fili paralleli percorsi da correnti con lo stesso verso.

Quesito 2.10. *Il campo magnetico è conservativo? Spiegare.*

R

Quesito 2.11. *Enunciare e spiegare il teorema di Gauss per il campo magnetico.*

R

Quesito 2.12. *Quali valori può assumere la permeabilità magnetica relativa? Che cosa distingue i materiali paramagnetici, diamagnetici e ferromagnetici?*

Quesito 2.13. *Enunciare e commentare le equazioni di Maxwell per campi elettrici e magnetici stazionari.*

3 Fenomeni elettromagnetici dipendenti dal tempo

Quesito 3.1. *Enunciare e spiegare la legge di Faraday-Neumann.*

R

Quesito 3.2. *Un solenoide, formato da 500 spire e lungo 8,0 cm, è percorso da una corrente che aumenta uniformemente da 0 a 2,5 A in $\Delta t = 0,35$ s. Durante l'intervallo di tempo Δt l'intensità della f.e.m. indotta è 0,012 V. Trovare l'induttanza del solenoide e il valore del campo magnetico all'interno del solenoide quando la corrente assume valore massimo.*

R

Quesito 3.3. *Il grafico qui sotto mostra l'andamento, nel tempo, del flusso magnetico attraverso una spira. Trovare il valore assoluto della forza elettromagnetica indotta nella spira all'istante $t = 0,05$ s e all'istante $t = 0,3$ s. Trovare il valor medio della forza elettromagnetica indotta nella spira nell'intervallo di tempo compreso tra $t = 0$ e $t = 0,5$*

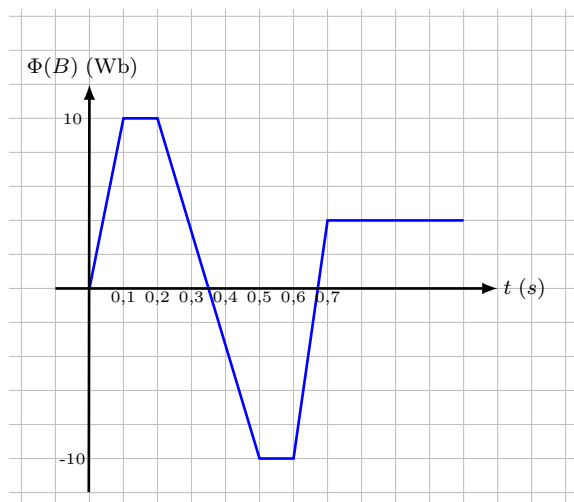


Figura 2: Grafico del flusso magnetico $\Phi(\mathbf{B})$ in funzione del tempo.

R

Quesito 3.4. *Il flusso magnetico attraverso una spira è espresso, in funzione del tempo, da*

$$\Phi(\mathbf{B}(t)) = 5 \sin\left(12x + \frac{\pi}{2}\right)$$

Trovare il valore assoluto della forza elettromagnetica indotta nella spira all'istante $t = 0,05$ s e all'istante $t = 0,3$ s. Trovare il valor medio della forza elettromagnetica indotta nella spira nell'intervallo di tempo compreso tra $t = 0$ e $t = 0,5$

R

Quesito 3.5. *Enunciare la legge di Lenz e spiegarne il significato con un esempio.*

Quesito 3.6. *Qual è il significato del segno ‘meno’ nella legge di Lenz? Spiegare.*

R

Quesito 3.7. *Una barretta di metallo di lunghezza l è immersa in un campo magnetico uniforme \mathbf{B} avente, rispetto al foglio, direzione perpendicolare e verso “entrante”. Analizzando le forze che agiscono su gli elettroni di conduzione, spiegare la differenza di potenziale che viene a crearsi alle estremità della barretta nell'ipotesi che essa si muova con velocità (costante) \mathbf{v} nella direzione e verso mostrate in figura.*

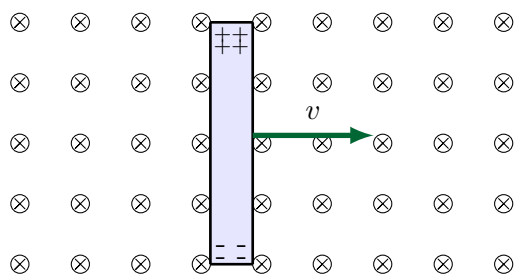


Figura 3: Barretta metallica in moto in un campo magnetico uniforme.

R

Quesito 3.8. *Con riferimento al problema precedente si determini la f.e.m indotta alle estremità della barretta sapendo che: $l = 0,30$ cm, $\mathbf{B} = 0,30$ T e $v = 2$ m/s.*

R

Quesito 3.9. *Una bobina ha 100 spire, raggio $r = 5,0$ cm e resistenza di 30Ω . Con quale rapidità deve variare un campo magnetico \mathbf{B} perpendicolare alla bobina per generare in essa la corrente di 6 A?*

R

Quesito 3.10. *Un circuito è immerso in un campo magnetico. Descrivere in quali modi è possibile variare il flusso magnetico concatenato con il circuito. $1 \text{ Wb/s} = 1 \text{ V}$, spiegare.*

R

Quesito 3.11. *Un circuito di forma rettangolare, avente i lati di 40 cm e 20 cm, è immerso in un campo magnetico \mathbf{B} uniforme. La direzione di \mathbf{B} è perpendicolare al piano del circuito e la sua intensità cresce uniformemente nel tempo con velocità $\frac{d\mathbf{B}}{dt} = 0,5 \text{ T/s}$. Determinare la forza elettromotrice indotta nel circuito.*

R

Problema 3.12. *Un conduttore metallico ABCD, di resistenza trascurabile, è stato piegato a forma di U; i due tratti paralleli distano l . Su di esso può traslare orizzontalmente, senza attrito, il conduttore PQ che possiede una resistenza pari a R .*

Il dispositivo viene immerso in un campo magnetico \mathbf{B} uniforme e costante, diretto perpendicolarmente rispetto al piano che contiene il circuito, il cui verso è quello specificato in figura. Calcolare

1. *il valore della corrente indotta nel circuito.*
2. *la potenza che occorre spendere per mantenere in movimento il conduttore mobile.*

(Trascurare l'autoinduzione del circuito).

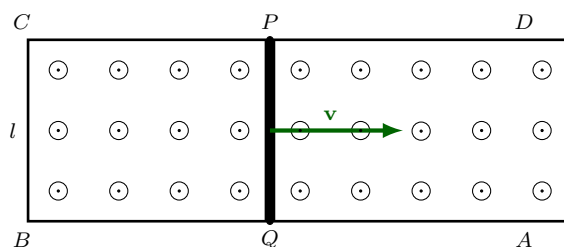


Figura 4

R

Quesito 3.13. *Con riferimento al problema precedente si sa che $PQ = 20$ cm, $R = 30$ Ω , $B = 0,5$ T. Trovare*

1. *il valore della corrente indotta nel circuito.*
2. *la potenza che occorre spendere per mantenere in movimento il conduttore mobile.*

R

Problema 3.14. *Lungo un conduttore metallico ABCD, come quello mostrato in figura, scorre senza attrito, sotto l'azione del proprio peso, una barretta conduttrice di massa m . Sia R la resistenza del conduttore. Il dispositivo è immerso in un campo magnetico uniforme e costante, di modulo B , ortogonale al foglio, con verso 'uscente' dal foglio stesso.*

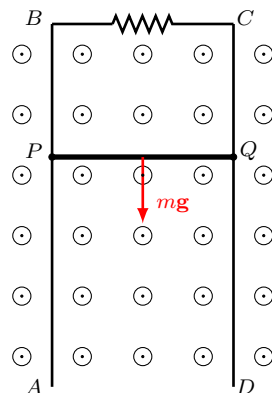


Figura 5

Nell'ipotesi che all'istante $t = 0$ la barretta sia ferma si determini, al variare di t , la corrente indotta nel circuito e la velocità della barretta. (Trascurare le altre resistenze dei conduttori, l'autoinduzione del circuito, la resistenza dell'aria).

R

Quesito 3.15. *Quali ragioni spinsero Maxwell a modificare la legge di Ampère? Enunciare e spiegare la quarta legge di Maxwell.*

Quesito 3.16. *Scrivere le leggi di Maxwell in termini differenziali e commentarle sinteticamente.*

Quesito 3.17. *Descrivere il funzionamento di un circuito RL, alla chiusura del circuito.*

R

3.1 Correnti alternate

Quesito 3.18. *Cosa succede se un induttore è percorso da corrente elettrica rapidamente variabile?*

R

Quesito 3.19. *Un generatore elettrico a corrente alternata fornisce una f.e.m efficace di 220 V. Il generatore alimenta un phon per asciugare i capelli la cui resistenza è di 90 Ω . Qual è l'intensità di corrente efficace che circola nel phon? Qual è la potenza media erogata dal generatore?*

R

Quesito 3.20. *Descrivere il funzionamento di un trasformatore e il suo impiego.*

Quesito 3.21. *Il trasformatore di cui è dotato un certo elettrodomestico riduce la corrente alternata della rete elettrica dal valore di 220 V a 12 V. L'avvolgimento secondario del trasformatore è formato da 30 spire e l'elettrodomestico assorbe 500 mA. Determinare il numero di spire dell'avvolgimento primario e l'intensità efficace della corrente che vi fluisce.*

R

Quesito 3.22. *Quali equazioni e quali funzioni permettono di descrivere il funzionamento di un circuito RC?*

Quesito 3.23. *Un induttore ($L = 0,380$ H) e una resistenza ($R = 225$ Ω) vengono collegati in serie con un generatore di corrente alternata avente tensione efficace di 30,0 V e frequenza di 60,0 Hz. Trovare i valori efficaci:*

1. della corrente nel circuito;
2. della tensione ai capi della resistenza;
3. della tensione ai capi dell'induttanza.

R

Quesito 3.24. *Quale ruolo svolgono i condensatori e gli induttori inseriti in un circuito elettrico?*

(Da Wikipedia: L'induttore è un componente elettrico che genera un campo magnetico al passaggio di corrente elettrica (continua o alternata o impulsiva). Nella teoria dei circuiti, l'induttore è un componente ideale (la cui grandezza fisica è l'induttanza) in cui tutta l'energia elettrica assorbita è immagazzinata nel campo magnetico prodotto).

Quesito 3.25. *Descrivere in termini matematici il funzionamento di un circuito RLC.*

4 Onde elettromagnetiche

Quesito 4.1. *In che modo si possono produrre onde elettromagnetiche?*

[da scrivere]

5 Relatività ristretta

Quesito 5.1. *Commentare la seguente affermazione: “ogni asserzione riguardante il tempo è un’asserzione di simultaneità tra due eventi”.*

Quesito 5.2. *Quali sono gli assiomi della relatività ristretta?*

Quesito 5.3. *Scrivere e commentare le trasformazioni di Galileo e quelle di Lorentz.*

Quesito 5.4. *In che modo Einstein deduce le trasformazioni di Lorentz nel suo libro Relatività . Esposizione divulgativa ?*

Quesito 5.5. *Cosa si intende per “contrazione delle lunghezze”?*

Quesito 5.6. *Cosa si intende per “dilatazione dei tempi”?*

Quesito 5.7. *In che modo Einstein modifica il concetto di massa? Scrivere e commentare la quantità di moto di un elettrone che si muove con velocità $v = 0,9c$.*

Quesito 5.8. *Descrivere brevemente la relazione esistente, secondo Einstein, tra massa e energia.*

6 Fisica moderna

Quesito 6.1. *Descrivere l'esperimento della doppia fenditura di Thomas Young (1773-1829) e spiegarne l'importanza.*

Quesito 6.2. *Che cosa si intende e quali sono le principali grandezze fisiche "quantizzate"?*

Quesito 6.3. *Che cosa si intende per "catastrofe ultravioletta"? In che modo Planck spiegò il fenomeno?*

Quesito 6.4. *Per quali ragioni l'effetto fotoelettrico suscita un così grande interesse tra i fisici del primo novecento?*

Quesito 6.5. *Da che cosa dipende il contenuto di energia di un quanto di luce?*

Quesito 6.6. *Descrivere e spiegare l'effetto Compton?*

Quesito 6.7. *Perchè l'effetto Compton non si manifesta con la luce visibile?*

Quesito 6.8. *È possibile effettuare l'esperimento della doppia fenditura con gli elettroni? In caso affermativo quali sono le principali conseguenze che si possono trarre?*

Quesito 6.9. *Descrivere il modello atomico di Thomson e quello di Rutherford.*

Quesito 6.10. *Perchè il modello atomico di Rutherford risulta insoddisfacente? In che modo Niel Bohr (1885-1962) risolve le contraddizioni? Descrivere il modello di Bohr per l'atomo di idrogeno.*

Quesito 6.11. *Che cos'è il raggio di Bohr? Che cosa sono i livelli energetici di un atomo?*

Quesito 6.12. *Che cosa afferma il principio di indeterminazione di Heisenberg?*

7 Struttura della materia. Nuclei e particelle.

Quesito 7.1. *Che cosa si intende per “legami molecolari”? Spiegare e descriverne i tipi principali.*

Quesito 7.2. *Spiegare sinteticamente il fenomeno della “radioattività ” e scrivere l’equazione differenziale che ne costituisce il modello matematico.*

Quesito 7.3. *I decadimenti nucleari sono di tre tipi: il decadimento α , il decadimento β e quello γ . Spiegare.*

Quesito 7.4. *Cos’è il “tempo di dimezzamento” di una sostanza radiattiva?*

Quesito 7.5. *In quale modo è possibile datare sostanze organiche con il carbonio ^{14}C ? Spiegare.*

Quesito 7.6. *Descrivere il fenomeno di fissione e quello di fusione nucleare.*

8 Suggerimenti

Quesito 1.1 In un conduttore vi è passaggio di corrente elettrica tutte le volte che vi sono cariche elettriche in moto. Con il termine *intensità di corrente* si indica la velocità con cui le cariche fluiscono nel conduttore, $i = \frac{dQ}{dt}$. L'ultima uguaglianza può essere precisata con considerazioni infinitesimali (i è la derivata della carica rispetto al tempo). L'intensità di corrente si misura in Ampere.

Quesito 2.1 Oersted scoprì che una corrente genera un campo magnetico. Secondo l'interpretazione di Ampère tutte le manifestazioni macroscopiche del magnetismo nella materia sono riconducibili a un gran numero di piccoli magneti presenti a livello atomico (per esempio, l'atomo di idrogeno si comporta come una piccola spira percorsa da corrente elettrica). Quindi il magnetismo è dovuto alla presenza di correnti.

Quesito 2.6 Le sorgenti di campi magnetici sono i magneti naturali e le correnti (Oersted scoprì che un filo percorso da corrente genera un campo magnetico). Secondo l'interpretazione di Ampère tutte le manifestazioni macroscopiche del magnetismo nella materia sono riconducibili a un gran numero di piccoli magneti presenti a livello atomico (per esempio, l'atomo di idrogeno si comporta come una piccola spira percorsa da corrente elettrica). Quindi il magnetismo è dovuto alla presenza di correnti.

Quesito 2.8 La carica non subisce interazioni elettriche perchè il filo è globalmente neutro anche se in esso scorre una corrente di intensità i . Il filo genera un campo magnetico \mathbf{B} ma esso esercita forza solamente su cariche in moto. Più precisamente, se \mathbf{v} è la velocità della carica e \mathbf{B} è il campo magnetico, la forza esercitata sulla carica è

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B} \quad (8.1)$$

Se la carica è ferma la sua velocità \mathbf{v} è zero e, di conseguenza, la carica rimane nello stato di quiete.

Quesito 2.9

Campo magnetico nel punto Q. Il campo magnetico in Q è la somma dei campi magnetici \mathbf{B}_1 e \mathbf{B}_2 generati dai due fili percorsi da corrente

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2 \quad (8.2)$$

I vettori \mathbf{B}_1 e \mathbf{B}_2 risultano entrambi perpendicolari e uscenti dal foglio. Pertanto, indicate con r_1 e r_2 le distanze del punto Q dal filo 1 e 2, l'intensità del campo magnetico risultante nel punto Q è

$$B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(\frac{i_1}{r_1} + \frac{i_2}{r_2} \right) \quad (8.3)$$

La direzione e il verso di \mathbf{B} coincidono con le direzioni e il verso di \mathbf{B}_1 e \mathbf{B}_2 .

Si ottiene

$$B = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad (8.4)$$

Campo magnetico nel punto P. L'intensità del campo magnetico \mathbf{B}_1 , generato dal filo 1, è

$$B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{4 \pi r_1} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A} \frac{2,0 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,02 \text{ m}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad (8.5)$$

La direzione di \mathbf{B}_1 è perpendicolare al foglio, il verso entrante (nel foglio).

L'intensità del campo magnetico \mathbf{B}_2 , generato dal filo 2, è

$$B_2 = \frac{\mu_0 i_2}{4 \pi r_2} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A} \frac{5,2 \text{ A}}{2\pi \cdot 0,035 \text{ m}} = 2,97 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad (8.6)$$

La direzione di \mathbf{B}_2 è perpendicolare al foglio, il verso uscente (dal foglio). Poichè \mathbf{B}_1 e \mathbf{B}_2 hanno stessa direzione e versi opposti, l'intensità del campo magnetico risultante in P è

$$B = B_2 - B_1 = 2,97 \cdot 10^{-5} \text{ T} - 2 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 0,97 \cdot 10^{-5} \text{ T} \quad (8.7)$$

Quesito 2.10 Un campo vettoriale \mathbf{F} è conservativo se e solo se la sua circuitazione lungo qualsiasi linea chiusa è nulla. In altri termini \mathbf{F} è conservativo se e solo se

$$\oint \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = 0 \quad (8.8)$$

Nel caso del campo magnetico \mathbf{B} esistono cammini chiusi lungo cui la circuitazione di \mathbf{B} è diversa da zero. Si consideri per esempio, il caso di un filo rettilineo percorso da corrente di intensità i . Il campo magnetico in un punto P che si trova a distanza r dal filo ha intensità $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$, mentre direzione e verso sono quelli mostrati in figura.

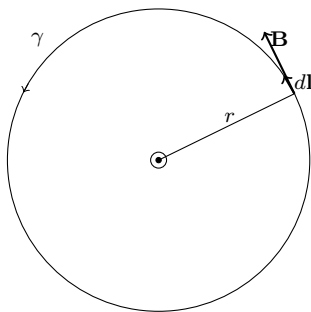


Figura 6: Il filo è perpendicolare al foglio, l'intensità del campo magnetico è $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$ e il verso della corrente è entrante nel foglio.

Lungo la circonferenza γ la circuitazione di \mathbf{B} vale

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \oint \frac{\mu_0 i}{2\pi r} dl = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \oint dl = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} 2\pi r = \mu_0 i \quad (8.9)$$

Segue che \mathbf{B} non è conservativo.

Quesito 2.11 Le linee di campo magnetico sono sempre linee chiuse perchè non esistono singoli poli magnetici (la situazione del campo elettrico è differente: le linee di campo escono dalle cariche positive, le sorgenti, e entrano in quelle negative, i pozzi.)

Pertanto, indicata con S una superficie orientata chiusa, le linee di campo magnetico che entrano in S devono anche uscire da S . Ciò significa che il flusso $\Phi_S(\mathbf{B})$ del campo \mathbf{B} attraverso S è sempre uguale a zero

$$\Phi_S(\mathbf{B}) = \int_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS = 0 \quad (8.10)$$

per qualunque superficie orientata chiusa S . L'uguaglianza (8.10) è vera in magnetostatica (*la magnetostatica è quella parte dell'elettromagnetismo che studia campi magnetici statici ovvero invarianti nel tempo. Corrispondentemente mentre nell'elettrostatica sono le cariche elettriche, generatrici del campo elettrostatico, ad essere approssimativamente stazionarie, nella magnetostatica sono le correnti elettriche, generatrici dei campi magnetici statici, ad essere approssimativamente stazionarie ovvero costanti o invarianti nel tempo.* Citazione tratta da Wikipedia).

Quesito 3.1

Si consideri il caso di una spira conduttrice immersa in un campo magnetico. Se il flusso di \mathbf{B} concatenato con la spira varia nel tempo, nella spira si registra passaggio di corrente. In altri termini, se nell'intervallo di tempo Δt si ha una variazione di flusso allora la forza elettromotrice indotta f_i nella spira eguaglia la variazione $\Delta\Phi(\mathbf{B})$ di flusso rispetto all'intervallo di tempo Δt

$$\bar{f}_i = \frac{\Delta\Phi(\mathbf{B})}{\Delta t} \quad (8.11)$$

\bar{f}_i costituisce il valore medio della forza elettromotrice indotta nella spira, nell'intervallo Δt . Essa è uguale alla rapidità di variazione del flusso magnetico nel tempo. Ovviamente, se si provoca la stessa variazione di flusso in un intervallo di tempo minore la forza elettromotrice sarà maggiore.

Per trovare la forza elettromotrice all'istante t bisogna passare al limite per $\Delta t \rightarrow 0$

$$f_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi(\mathbf{B})}{\Delta t} = \frac{d\Phi(\mathbf{B})}{dt} \quad (8.12)$$

L'uguaglianza (8.12) si chiama legge di *Faraday-Neumann*.

Possibili approfondimenti: descrizione dell'*esperimento dell'anello* attraverso il quale Michael Faraday scoprì, nel 1831, l'induzione elettromagnetica.

Quesito 3.2

Nell'intervallo di tempo da 0 a 0,35 s l'intensità di corrente cresce uniformemente, quindi

$$\frac{di}{dt} = \frac{\Delta i}{\Delta t} = \frac{2,5 \text{ A}}{0,35 \text{ s}} = 7,14 \text{ A/s} \quad (8.13)$$

Dall'uguaglianza

$$|f_{em}| = L \left| \frac{di}{dt} \right| \quad (8.14)$$

si ricava l'induttanza

$$L = \frac{|f_{em}|}{\left| \frac{di}{dt} \right|} = \frac{0,012 \text{ V}}{\frac{2,5 \text{ A}}{0,35 \text{ s}}} = 1,68 \text{ mH} \quad (8.15)$$

Il valore massimo di i è 2,5 A. Il corrispondente valore di B è

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} \cdot i = 20 \text{ mT} \quad (8.16)$$

Quesito 3.3

Quesito 3.6

Si consideri un circuito immerso in un campo magnetico. Se il flusso magnetico concatenato con il circuito varia nel tempo allora nel circuito si induce una forza elettromotrice $f_i = \frac{d\Phi(\mathbf{B})}{dt}$ (legge di Faraday-Neumann). Si può ricavare il valore dell'intensità di corrente che circola nel circuito all'istante t ricordando la legge di Ohm ($f = Ri$). Si ottiene:

$$i(t) = \frac{f}{R} = \frac{1}{R} \frac{d\Phi(\mathbf{B})}{dt} \quad (8.17)$$

La legge di Lenz stabilisce il verso con cui questa corrente scorre nel circuito. Più precisamente, la corrente i è causata dalla variazione (nel tempo) del flusso $\Phi(\mathbf{B})$, dove \mathbf{B} è il campo magnetico in cui è immerso il circuito. Tuttavia la corrente i che circola nel circuito genera a sua volta un campo magnetico \mathbf{B}' il cui flusso $\Phi(\mathbf{B}')$ ha segno opposto rispetto a quello di $\Phi(\mathbf{B})$.

La legge di Lenz esprime la tendenza dei sistemi fisici elettromagnetici, ad opporsi a rapide variazioni di stato, così come in dinamica i corpi tendono ad opporsi a rapide variazioni di velocità (inerzia meccanica).

Un altro modo per spiegare il segno 'meno' che compare nella legge di Lenz

$$f_i = - \frac{d\Phi(\mathbf{B})}{dt} \quad (8.18)$$

consiste nell'utilizzare il principio di conservazione dell'energia. La corrente indotta nel circuito dà origine a un campo magnetico e, di conseguenza, a un flusso concatenato con il circuito. Questo flusso deve opporsi alla variazione di flusso che ha inizialmente generato la corrente indotta, altrimenti, se tale corrente generasse un flusso che favorisse la variazione complessiva di flusso, la forza elettromotrice indotta aumenterebbe e ciò provocherebbe un

ulteriore aumento della forza elettromotrice indotta. In questo modo la corrente nel circuito crescerebbe indefinitamente senza spese di energia, contraddicendo così il principio di conservazione dell'energia.

Quesito 3.7

Ogni singolo elettrone si muove orizzontalmente verso destra con velocità \mathbf{v} ; su di esso si esercita una forza magnetica $\mathbf{F}_m = e \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ avente direzione verticale, orientamento verso il basso e modulo $e v B$.

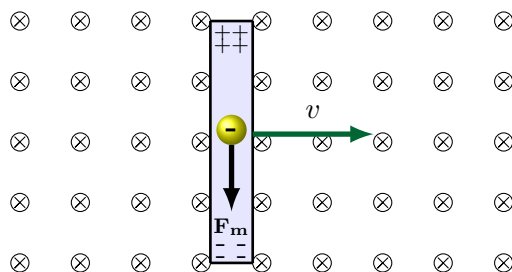


Figura 7: Sull'elettrone libero agisce la forza di Lorentz $\mathbf{F}_m = e \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ che lo fa muovere verso il basso.

La forza \mathbf{F}_m fa muovere gli elettroni liberi verso il basso producendo una carica totale negativa nella parte inferiore della barretta e una uguale carica totale positiva nella parte superiore. La separazione di cariche genera un campo elettrico \mathbf{E} che diventa via via più intenso con l'accumularsi delle cariche alle estremità della barretta. Il moto degli elettroni verso il basso continua finchè la forza $e \mathbf{E}$ (verticale e orientata verso l'alto) non eguaglia la forza magnetica. Quando le due forze si equilibrano si ha $e \mathbf{E} = e v B$; nella situazione di equilibrio l'intensità del campo elettrico è

$$E = vB$$

Quindi, la differenza di potenziale alle estremità della barretta, ossia la f.e.m indotta, è

$$\Delta V = E l = B l v$$

Quesito 3.8

Quesito 3.9

La f.e.m f nella bobina è uguale alla differenza di potenziale agli estremi della resistenza:

$$f = R i = (6,0\text{A}) \cdot (30\Omega) = 180\text{V}$$

Il flusso del campo magnetico attraverso la sezione A della bobina è

$$\Phi(\mathbf{B}) = n \cdot B \cdot A = 100 \pi (0,05\text{m})^2 \cdot B = \pi \cdot 0,25\text{m}^2 \cdot B$$

La legge di Faraday afferma che il valore assoluto della f.e.m. indotta è uguale alla rapidità di variazione del flusso magnetico:

$$f = \frac{d\Phi(\mathbf{B})}{dt}$$

ossia

$$180\text{V} = \frac{d(\pi \cdot 0,25\text{m}^2 \cdot B)}{dt} = \pi \cdot 0,25\text{m}^2 \frac{dB}{dt}$$

Quindi, per generare la corrente richiesta, la rapidità di variazione del campo magnetico deve essere

$$\frac{dB}{dt} = \frac{180\text{V}}{\pi \cdot 0,25\text{m}^2} = 229 \text{ T/s}$$

.

Quesito 3.10

È possibile variare il flusso magnetico concatenato con il circuito in modi diversi:

1) avvicinando o allontanando la sorgente del flusso magnetico al circuito e viceversa, avvicinando o allontanando il circuito alla sorgente del flusso;

2) se il campo magnetico è generato da corrente, aumentando o diminuendo l'intensità di corrente oppure invertendo il verso di circolazione della corrente nel circuito;

3) aumentando o diminuendo l'area del circuito immerso in un campo magnetico uniforme.

Per la legge di Faraday, il valore assoluto della f.e.m indotta f è uguale alla rapidità con cui varia il flusso rispetto al tempo

$$f = \frac{d\Phi(\mathbf{B})}{dt}$$

f si misura in Volt, il flusso in *Weber*, la rapidità con cui varia il flusso rispetto al tempo in Weber al secondo; quindi

$$1 \text{ Wb/s} = 1 \text{ V}$$

Quesito 3.11 La direzione del vettore induzione magnetica \mathbf{B} è ortogonale al piano che contiene il circuito, quindi il flusso $\Phi(\mathbf{B})$ di \mathbf{B} concatenato con il circuito è

$$\Phi(\mathbf{B}) = BS \tag{8.19}$$

Si ottiene

$$\begin{aligned}
 f_i &= \frac{d\Phi(\mathbf{B})}{dt} \quad (\text{legge di Faraday}) \\
 &= \frac{dBS}{dt} \quad (\text{uguaglianza (8.19)}) \\
 &= S \frac{dB}{dt} \quad (S \text{ è costante nel tempo})
 \end{aligned}$$

Quindi, la forza elettromotrice indotta è $f_i = (40 \cdot 10^{-2} \text{ m}) \cdot (20 \cdot 10^{-2} \text{ m}) (0,5 \text{ T/s}) = 0,04 \text{ V}$

Quesito 3.12

1) Il conduttore PQ si muove di moto traslatorio uniforme; la sua velocità \mathbf{v} , il campo magnetico \mathbf{B} e il conduttore sono ortogonali tra loro.

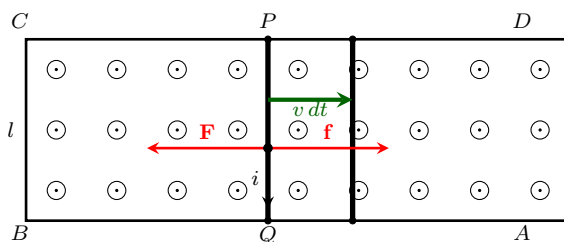


Figura 8: Il conduttore PQ , nell'intervallo di tempo dt , si sposta orizzontalmente del tratto $v dt$.

Se $A(t)$ è l'area delimitata dal circuito all'istante t , il flusso uscente da tale area è

$$\Phi(\mathbf{B}) = B A(t)$$

In un intervallino di tempo dt la barretta PQ si sposta verso destra di $v dt$, quindi l'area delimitata dal circuito aumenta di $dA = lv dt$. La variazione di flusso nell'intervallino dt è

$$d\Phi(\mathbf{B}) = B dA = Blv dt$$

ossia

$$\frac{d\Phi(\mathbf{B})}{dt} = Blv$$

Per la legge di Faraday-Lenz, la forza elettromotrice indotta è

$$f_i = -\frac{d\Phi(\mathbf{B})}{dt} = -Blv$$

essa coincide con la differenza di potenziale agli estremi del conduttore PQ . Il verso della corrente indotta i è quello orario, infatti il flusso di \mathbf{B} attraverso il circuito è 'uscente' pertanto

quello prodotto dal campo \mathbf{B}_i (il campo magnetico generato dalla corrente indotta), deve essere entrante. Ciò si verifica se la corrente percorre il conduttore in senso orario.

Si noti che la forza elettromotrice indotta f_i è costante nel tempo perchè il moto di PQ è uniforme. Avendo inoltre trascurato il fenomeno di autoinduzione, anche la corrente i è costante. Si ottiene

$$i = \frac{|f_i|}{R} = \frac{Blv}{R}$$

2) Per determinare la potenza occorre prima trovare la forza che agisce sul conduttore PQ . Tale conduttore è lungo l , è percorso da corrente i ed è immerso nel campo magnetico \mathbf{B} ; quindi esso risente di una forza \mathbf{F} la cui intensità è

$$F = B i l = B \frac{Blv}{R} l$$

ossia²

$$F = \frac{B^2 v l^2}{R}$$

La direzione di \mathbf{F} è parallela a AD e ha verso opposto a quello di \mathbf{v} . Pertanto per mantenere il conduttore in moto con velocità costante \mathbf{v} occorre applicare al conduttore la forza esterna \mathbf{f} uguale e contraria a \mathbf{F} . Serve spendere la potenza meccanica

$$P_m = F v = \frac{B^2 v^2 l^2}{R}$$

Tale potenza meccanica è esattamente uguale alla potenza elettrica dissipata nel circuito per effetto Joule.

Le espressioni trovate per f_i , i e \mathbf{F} in funzione della velocità non dipendono dal tipo di moto. Esse continuano a essere vere anche per velocità variabili. Quello descritto è il principio su cui si fonda la produzione della maggior parte di energia elettrica nel mondo.

Quesito 3.13

Quesito 3.14 Nel circuito si genera una corrente indotta perchè il circuito è immerso in un campo magnetico e una sua parte è mobile. Ciò genera una forza magnetica di intensità $F = Bil$.

L'equazione del moto della barretta è

$$m a = mg - Bil$$

ossia

²La forza F si chiama, di solito, *resistenza di attrito elettromagnetico*.

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{Bil}{m} \quad (8.20)$$

Con le stesse argomentazioni fatte per l'esercizio 3.12 si ricava che la forza elettromotrice indotta nel circuito è

$$|f_i| = Blv = Ri \quad (8.21)$$

Sostituendo l'uguaglianza (8.21) in (8.20) si ottiene

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{B^2 l^2}{mR} v$$

La velocità della barretta è

$$v(t) = \frac{mgR}{B^2 l^2} \left(1 - e^{-\frac{B^2 l^2}{mR} t} \right)$$

Per t che tende a $+\infty$ la velocità tende al valore limite $v = \frac{mgR}{B^2 l^2}$. In altri termini, la corrente tende a un valore limite e la corrispondente forza magnetica eguaglia in modulo la forza peso. Il moto della barretta diventa uniforme, esattamente come avviene nella caduta di un corpo in un mezzo viscoso.

Quesito 3.17 Il funzionamento di un circuito RL (circuito costituito da una resistenza e da un induttore) è espresso dalla seguente uguaglianza

$$V = Ri(t) + L \frac{di}{dt} \quad (8.22)$$

dove V indica la differenza di potenziale agli estremi del generatore, $i(t)$ la corrente che circola nel circuito all'istante t .

Alla chiusura del circuito la corrente che circola nel circuito varia dal valore iniziale pari a zero, fino al valore i , detto valore di regime.

Risolvendo l'equazione (8.22) si ottiene:

$$i(t) = \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L} t} \right) \quad (8.23)$$

dove la quantità $\tau_L = \frac{L}{R}$ si chiama *costante di tempo del circuito RL*. La costante τ_L ha le dimensioni del tempo. Si può dimostrare che dopo un intervallo di tempo pari a $5 \cdot \tau_L$ l'intensità di corrente raggiunge oltre il 99% del valore di regime (che si ottiene per $t \rightarrow +\infty$).

Al momento dell'apertura del circuito la corrente che circola nel circuito varia dal valore i di regime fino al valore nullo. Il tempo necessario per annullare la corrente è circa uguale a quello necessario per la carica.

Quesito 3.18 La legge di Faraday afferma che ogni variazione di corrente provoca una variazione di flusso magnetico; a sua volta, in base alla legge di Lenz, questa variazione genera una f.e.m. autoindotta il cui verso tende a generare una corrente associata a un flusso magnetico di segno opposto a quello della variazione di flusso che lo ha generato. Ciò significa che gli induttori tendono a opporsi alle rapide variazioni di corrente; questa inerzia è dovuta alla nascita di campi magnetici che si oppongono alle variazioni che li hanno provocati.

Quindi il comportamento degli induttori sottoposti a rapide variazioni di corrente è simile a quello dei condensatori quando sono sottoposti a rapide variazioni di tensione: così come i condensatori tendono a attenuare le variazioni di tensione tra le due armature, gli induttori presentano una certa inerzia alle rapide variazioni di corrente che li percorrono.

Quesito 3.19

Generatore e phon costituiscono un circuito a corrente alternata formato solamente da un resistore di resistenza 90Ω . Utilizzando la legge di Ohm (rispetto ai valori efficaci di f.e.m e i) si ottiene:

$$i_e = \frac{f_e}{R} = \frac{220 \text{ V}}{90 \Omega} = 2,44 \text{ A}$$

La potenza media del generatore è

$$P_m = i_e^2 R = \frac{f_e^2}{R} = \frac{220^2 \text{ V}}{90 \Omega} \sim 538 \text{ W}$$

Quesito 3.21

Sia f_1 la f.e.m efficace dell'avvolgimento primario e f_2 la f.e.m efficace dell'avvolgimento secondario. Se n_1 e n_2 indicano nell'ordine il numero di spire del primario e del secondario, si ha

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

ossia

$$n_1 = n_2 \frac{f_1}{f_2} = 30 \frac{220 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 550$$

La corrente che circola nell'avvolgimento primario è

$$i_1 = \frac{f_1}{n_1} = 30 \frac{220 \text{ V}}{550} = 0,4 \text{ A}$$

Quesito 3.23

1. L'impedenza del circuito è

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} = \sqrt{(225 \Omega)^2 + (2\pi 60,0 \text{ Hz})(0,380 \text{ H})} = 267 \Omega$$

La corrente efficace è data dal rapporto tra la tensione efficace e l'impedenza, cioè

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{Z} = \frac{30,0 \text{ V}}{267 \Omega} = 0,112 \text{ A}$$

2. La tensione efficace ai capi della resistenza è

$$V_{eff,R} = I_{eff}R = (0,112 \text{ A})(225 \Omega) = 25,2 \text{ V}$$

3. La tensione efficace ai capi dell'induttore è

$$V_{eff,L} = I_{eff} \cdot X_L = I_{eff} \cdot \omega L = (0,112 \text{ A}) \cdot 2\pi(60,0 \text{ Hz})(0,380 \text{ H}) = 16,0 \text{ V}$$

Quesito 4.1 Tutte le volte che una carica elettrica viene accelerata si producono onde elettromagnetiche. In altri termini, una carica elettrica accelerata, per esempio che oscilla, genera un campo elettrico variabile il quale provoca un campo magnetico variabile che, a sua volta, genera un nuovo campo elettrico e così via. In linea di principio, per produrre un'onda elettromagnetica è sufficiente mettere in moto una carica ferma o fermare una carica in moto. I due campi, elettrico e magnetico, si propagano mantenendo direzioni di oscillazione perpendicolari uno rispetto all'altro; entrambi si mantengono perpendicolari alla direzione di propagazione. Nella maggioranza dei casi per la produzione di onde elettromagnetiche si utilizzano opportuni *circuiti oscillanti*.

Quesito 6.2 Una grandezza fisica si dice quantizzata se può assumere soltanto un certo insieme discreto di valori, più precisamente i valori assumibili da una grandezza quantizzata sono un multiplo di una certa grandezza minima, detta grandezza elementare. Per esempio, le cariche elettriche sono quantizzate infatti, secondo la teoria atomica classica, la carica dell'elettrone è la più piccola carica elettrica esistente in natura ($1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$). Anche l'energia della luce è quantizzata: un quanto di luce è il 'pacchetto di energia' di cui è dotato il fotone. Esso vale $E = hf$. (Si veda anche la risposta al quesito ...)

Quesito 6.3 Planck ipotizzò che sia l'emissione che l'assorbimento di radiazione elettromagnetica all'interno del corpo nero fossero quantizzate. In altre parole il corpo nero assorbe o cede energia termica sempre attraverso piccoli 'pacchetti di energia' (i quanti) la cui energia è $E = hf$, dove h è una costante (in seguito denominata 'costante di Planck') e f la frequenza della radiazione elettromagnetica.

Quesito 6.5

Un quanto di luce è un "pacchetto di energia" il cui valore è

$$E = h \cdot f \tag{8.24}$$

dove h è la costante di Planck e f la frequenza della luce. Per ogni onda la velocità di propagazione è data dal prodotto della sua frequenza per la lunghezza d'onda: $c = \lambda f$. Quindi un altro modo di esprimere l'energia di un quanto di luce è

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (8.25)$$

Un'altra interessante relazione per l'energia di un quanto utilizza la costante \hbar (si legge: "h tagliato) che indica la più piccola unità dello *spin*, una sorta di *momento* di un oggetto quantistico che vale

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \sim 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad (8.26)$$

Da (8.26), sostituendo in (8.24) si ottiene:

$$E = \hbar 2\pi f \quad (8.27)$$

La velocità angolare ω di un moto circolare uniforme è il prodotto di 2π per la frequenza f , ossia:

$$\omega = 2\pi f \quad (8.28)$$

Infine sostituendo (8.28) in (8.27) si ottiene una terza importante espressione per l'energia di un quanto di luce

$$E = \hbar \omega \quad (8.29)$$