

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA
Corso di Laurea in Matematica

Programma del corso di
Fenomeni elettromagnetici
Anno Accademico 2005 - 2006
(Corso svolto dal Prof. Giuseppe Giuliani)

Testo consigliato: *Lineamenti di elettromagnetismo* di G. Giuliani e I. Bonizzoni, La Goliardica Pavese (2004).

Avvertenza. *Il seguente programma non rispetta la successione cronologica delle lezioni, ma riflette l'organizzazione degli argomenti del testo consigliato. L'asterisco indica gli argomenti di cui lo studente deve conoscere e saper discutere solo l'impostazione ed i risultati. L'esame, orale, inizia con la richiesta di svolgere un semplice problema.*

1. Campi scalari e vettoriali. Operatori differenziali: gradiente, divergenza, rotore, operatore di Laplace. Campi conservativi. Teoremi di Green e Stokes*. Teorema di Helmholtz*.
2. Grandezze fisiche e loro dimensioni. Unità di misura. Il sistema internazionale delle unità di misura.
3. Omogeneità e isotropia dello spazio e omogeneità del tempo. Sistemi di riferimento inerziali. Il principio di invarianza galileiano. Le leggi della dinamica newtoniana. Le trasformazioni di coordinate 'di Galileo'. Invarianza della forma delle equazioni della dinamica newtoniana per trasformazioni di Galileo.
4. Esperimenti ideali con lampi di luce di durata idealmente nulla. Effetto Doppler. Dilatazione del tempo. Contrazione delle lunghezze. Due piattaforme in moto relativo. Trasformazioni di Lorentz. Trasformazioni di Lorentz ricavate con procedimento analitico*. Legge della

dinamica relativistica*: $\vec{F} = d\vec{p}/dt$, con $\vec{p} = \gamma m\vec{v}$. Energia a riposo di una particella*. Massa ed energia. Le verifiche sperimentali della ‘dilatazione del tempo’. La radiazione cosmica di fondo; la radiazione di corpo nero (cenni). Sistema di riferimento inerziale privilegiato.

5. La carica elettrica come grandezza fisica primitiva. La corrente elettrica ed il vettore densità di corrente \vec{J} . Le quattro equazioni di Maxwell come postulati per descrivere i fenomeni elettromagnetici nel vuoto: esse definiscono – insieme al postulato della forza di Lorentz – il campo elettrico \vec{E} e il campo magnetico \vec{B} .
6. Implicazioni delle equazioni di Maxwell: la conservazione della carica elettrica; la regola della sovrapposizione dei campi elettrico e magnetico.
7. I potenziali elettromagnetici φ e \vec{A} . Le quattro equazioni scalari riguardanti φ e le componenti di \vec{A} sono equivalenti alle otto equazioni di Maxwell espresse in termini delle componenti di \vec{E} e \vec{B} : il sistema delle equazioni di Maxwell non è sovradeterminato. Equazioni di trasformazione dei campi*.
8. Le equazioni dei potenziali elettromagnetici in assenza di sorgenti: equazione delle onde di d’Alembert. Le onde piane come soluzioni possibili dell’equazione delle onde. Il fronte d’onda e la velocità di propagazione dell’onda nel vuoto $c = 1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$. L’onda piana progressiva: caratteristiche (relazioni tra i campi, la direzione e la velocità di propagazione). Le onde sferiche: l’ampiezza di un’onda sferica decresce come $1/r$ (legame con il principio di conservazione dell’energia). La polarizzazione delle onde elettromagnetiche (cenni).
9. Le soluzioni delle equazioni complete dei potenziali elettromagnetici (con sorgenti non nulle): i potenziali – ed i campi – sono *ritardati* cioè dipendono dal valore delle sorgenti ad istanti precedenti.* I potenziali ed i campi di una carica puntiforme in moto qualunque*. L’energia irraggiata da una carica accelerata. L’energia irraggiata da una carica in moto armonico.
10. L’energia associata al campo elettromagnetico e il vettore di Poynting.
11. I quanti di luce (fotoni). La costante di Planck quale raccordo tra la descrizione ondulatoria e corpuscolare della luce. Proprietà delle onde e dei quanti di luce: energia, quantità di moto, momento angolare, polarizzazione. Effetto fotoelettrico.
12. Interferenza delle onde elettromagnetiche. Diffrazione attraverso una fenditura (trattazione con i fasori); interferenza dovuta a due fenditure (trattazione con i fasori), interferenza dovuta a N fenditure (trattazione con i fasori). Reticoli di diffrazione*.

13. Le equazioni di Maxwell per gli isolanti. L'indice di rifrazione*. Riflessione e rifrazione di onde elettromagnetiche*. Dipendenza dell'indice di rifrazione dalla frequenza: il fenomeno della dispersione*. Dispersione attraverso un prisma.
14. Le equazioni di Maxwell per il caso statico: due sistemi di equazioni indipendenti riguardanti rispettivamente il campo elettrico ed il campo magnetico. Elettrostatica e magnetostatica.
15. L'elettrostatica.
 - (a) La legge di Coulomb. Il campo elettrostatico è conservativo. Il teorema di Gauss. Il dipolo elettrico elementare: potenziale e campo elettrico di un dipolo a distanze sufficientemente grandi; coppia e forza agente su un dipolo in un campo elettrico; energia elettrostatica di un dipolo.
 - (b) I dielettrici. Dielettrici polarizzati nel caso statico: il momento di dipolo elettrico per unità di volume \vec{P} . Il postulato aggiuntivo riguardante materiali omogenei ed isotropi e campi elettrici sufficientemente piccoli: $\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$. Il potenziale elettrostatico di un dielettrico polarizzato*: equivalente a quello dovuto ad una distribuzione di carica di polarizzazione volumica $\rho_p = -\text{div } \vec{P}$ e ad una distribuzione di carica di polarizzazione superficiale $\sigma_p = \vec{P} \cdot \hat{n}$. Il vettore spostamento dielettrico \vec{D} e la costante dielettrica relativa. Le componenti di \vec{E} e \vec{D} alla superficie di separazione tra due mezzi materiali.
 - (c) Modelli microscopici della polarizzazione dei dielettrici: polarizzazione per deformazione e per orientamento. Gas di molecole dotate di momento di dipolo elettrico: dipendenza della polarizzazione dalla temperatura.
 - (d) Conduttori in equilibrio elettrico. Le cariche si distribuiscono sulla superficie. Campo elettrico nelle immediate vicinanze di un conduttore carico. Conduttore cavo.
16. La magnetostatica.
 - (a) Il teorema della circuitazione del campo magnetico. Campo magnetico creato da: tratto di filo rettilineo percorso da corrente; spira piana circolare percorsa da corrente; un solenoide rettilineo. Momento di dipolo magnetico associato ad una spira piana percorsa da corrente.
 - (b) Forze magnetiche su correnti: su di una spira piana rigida in un campo magnetico uniforme (forze e coppia); tra due fili paralleli percorsi da corrente. Definizione dell'unità di misura della corrente.
 - (c) L'effetto Hall.

- (d) Proprietà magnetiche dei materiali. Paramagnetismo, diamagnetismo, ferromagnetismo. Descrizione fenomenologica.
17. I conduttori ohmici definiti come i materiali per i quali $\vec{J} = \sigma \vec{E}$, ove σ è la conducibilità del materiale. I conduttori in equilibrio elettrico ($\vec{J} = 0$). Il campo elettrico nelle immediate vicinanze di un conduttore carico.
18. Correnti elettriche continue generate da una pila. La legge di Ohm macroscopica; la resistenza di un conduttore; forza elettromotrice e resistenza interna di una pila; energia dissipata per effetto Joule. Modelli microscopici della conduzione elettrica nei metalli. Resistenze in serie ed in parallelo.
19. I fenomeni di induzione elettromagnetica. Legge generale dell'induzione elettromagnetica. Casi particolari: barra conduttrice in moto, disco di Faraday, alternatore. Il circuito della barra conduttrice in moto come caso esemplare di un circuito in corrente continua. Il fenomeno dell'autoniduzione elettromagnetica.
20. La fisica dei circuiti.
- (a) Il condensatore piano; capacità di un condensatore piano e sua dipendenza dal dielettrico esistente tra le armature; energia elettrostatica di un condensatore carico (associata al campo elettrico esistente tra le armature). Condensatori in serie e in parallelo.
- (b) La carica di un condensatore mediante una pila attraverso una resistenza. La scarica di un condensatore su di una resistenza. La corrente di spostamento tra le armature del condensatore (durante la carica o la scarica).
- (c) Il coefficiente di autoinduzione: l'induttanza. Circuito $R - L$ alimentato da una sorgente di fem continua: regime transitorio alla chiusura e all'apertura del circuito. Energia associata ad una induttanza percorsa da corrente come energia del campo magnetico da essa prodotto.
- (d) Sorgenti di fem sinusoidali. Circuiti in corrente alternata. Valori di picco e valori efficaci (rms) delle grandezze sinusoidali. Relazione tra tensione e corrente per: una resistenza, un condensatore, un'induttanza. Reattanza capacitiva e induttiva. Il circuito $L - C$. Il circuito $R - L - C$ in serie. Impedenza del circuito. La frequenza di risonanza del circuito. Potenza media dissipata: il fattore di fase.
21. Esercitazioni di laboratorio: a) spettroscopio; b) linee di forza del campo magnetico; campo magnetico al centro di una spira circolare e campo magnetico terrestre; c) induzione elettromagnetica; d) circuito RLC .