F502 Eletromagnetismo I

Turma A | 1º Semestre - 2010 | Márcio José Menon

Capítulo 4

CAMPOS ELÉTRICOS NA MATÉRIA

• ÍNDICE

4.1 Polarização
4.2 Campo de um Objeto Polarizado
4.3 Campo Deslocamento Elétrico
4.4 Dielétricos Lineares

4.1 Polarização

a. Descrição Macroscópica de Dielétricos
  a.1 Infinitésimos Físicos e Limites da Descrição Clássica
  a.2 Dipolos: Justificativa Teórica (Clássica)
b. Dipolos Permanentes e Dipolos Induzidos
  b.1 Conceitos
  b.2 Efeitos da Aplicação de um Campo Elétrico
    b.2.1 Dipolos Permanentes
      • Campo Uniforme
      • Campo Não Uniforme
    b.2.2 Dipolos Induzidos
      • Visão Clássica
      • Polarizabilidade Atômica e Molecular
c. Conceito e Definição de Polarização
  c.1 Definição Conceitual
  c.2 Definição Analítica
      • Definição de Polarização
      • Outras Definições Analíticas
  c.3 Campos Envolvidos no Processo de Polarização

4.2 Campo de um Objeto Polarizado

a. Potencial de um Objeto Polarizado
  a.1 Potencial Fora do Material
    a.1.1 Expressão Geral
    a.1.2 Cargas Ligadas (Cargas de Polarização)
    a.1.3 Justificativas Físicas das Cargas Ligadas
  a.2 Potencial Dentro do Material
b. Campo Elétrico de um Objeto Polarizado
c. Exemplos

4.3 Campo Deslocamento Elétrico

a. Conceitos e Resultados Básicos
  a.1 O Problema Global
  a.2 Equações de Campos em Dielétricos
b. Definição do Campo Deslocamento Elétrico
c. Lei de Gaus para o Deslocamento Elétrico
  c.1 Forma Diferencial
  c.2 Forma Integral
d. Rotacional e Integral de Linha do Deslocamento Elétrico
  d.1 Rotacional
  d.2 Forma Integral
e. Condições de Contorno
f. Conceito Físico de Deslocamento Elétrico
  f.1 Campos num Dielétrico
  f.2 Fontes do Deslocamento
  f.3 Exemplos

4.4 Dielétricos Lineares

a. Grandezas Características do Meio: Relações Constitutivas
  a.1 Relação entre Campo Resultante e Polarização: Suscetibilidade Elétrica
    a.1.1 Caso Geral
    a.1.2 Meios Lineares
  a.2 Relação entre Campo Resultante e Campo Deslocamento: Permissividade Elétrica e Permissividade Relativa (Constante Dielétrica)
    a.2.1 Caso Geral
    a.2.2 Meios Lineares
  a.3 Relações Constitutivas em Dielétricos Lineares
    a.3.1 Resumo, Valores Experimentais e Exemplos
    a.3.2 Outras Notações
  a.4 Efeito do Meio Dielétrico em Relação ao Vácuo
    a.4.1 Deslocamento Elétrico
    a.4.2 Campo Elétrico Resultante
    a.4.3 Capacitores
b. Problemas de Valores de Contorno em Dielétricos Lineares
  b.1 Equações de Poisson e de Laplace
  b.2 Condições de Contorno em Dielétricos Lineares
  b.3 Exemplos
c. Energia e Força em Sistemas Dielétricos
  c.1 Energia
  c.2 Força

• **QUESTÕES PROPOSTAS**

Os exemplos e problemas indicados, referem-se ao livro texto principal (Griffiths, 3a. edição).

4.1 Polarização

Questão 1. a) Discuta as características gerais que distinguem os materiais condutores e dielétricos;
b) Discuta os conceitos de *dipolos permanentes* e *dipolos induzidos*.

Questão 2. Mostre que o torque em relação ao centro o de um dipolo $\vec{p}$, submetido a um campo *uniforme* $\vec{E}$, é dado por $\vec{N}_o = \vec{p} \times \vec{E}$.

Questão 3. Mostre que a força $\vec{F}$ sobre um dipolo $\vec{p}$, submetido a um campo *não uniforme* $\vec{E}$, pode ser expressa por $\vec{F} = (\vec{p} \cdot \vec{\nabla})\vec{E}$.

Questão 4. Problema 4.7.

Questão 5. Problema 4.8.

Questão 6. Explique o conceito e dê a definição de *polarizabilidade atômica*.

Questão 7. Exemplo 4.1.

Questão 8. Problema 4.1.

Questão 9. Explique o conceito e dê a definição de *polarização* de um material.

Questão 10. Explique e discuta os campos envolvidos no processo de polarização de um material.

4.2 O Campo de um Objeto Polarizado

Questão 11. Seja um dielétrico com polarização $\vec{P}$. Considerando o material representado macroscópicamente por um “contínuo" de *dipolos* com momento infinitesimal $d\vec{p} = \vec{P}d\tau$, mostre que o potencial devido à polarização, $V_P(\vec{r})$, para pontos fora do dielétrico pode ser expresso por:

$$V_P(\vec{r}) = k \oint_S \frac{\vec{P} \cdot \hat{n}}{\mathscr{r}} da' - k \int_\nu \frac{\vec{\nabla}' \cdot \vec{P}}{\mathscr{r}} d\tau',$$

onde

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \qquad \text{e} \qquad \vec{\nabla}' = \left(\frac{\partial}{\partial x'}, \frac{\partial}{\partial y'}, \frac{\partial}{\partial z'} \right)$$

Questão 12. Considerando um dielétrico polarizado, explique os conceitos e dê as definições de *densidades superficial e volumétrica de cargas ligadas* (ou *cargas de polarização*): σ_b e ρ_b (b - “bound").

Questão 13. Discuta a espressão do potencial devido à polarização de um dielétrico, em pontos no *interior* do material. Explicite as condições físicas e os arqumentos que levam à conclusão que a expressão do potencial, devido à polarização, é a mesma, fora e dentro do material.

Questão 14. Com base na resposta da questão anterior, mostre que o campo elétrico *devido à polarização* $\vec{P}$ de um dielétrico, em pontos exteriores e interiores, é dado por

$$\vec{E}_P(\vec{r}) = k \oint_S \frac{\vec{P} \cdot \hat{n}}{\mathscr{r}^2} da' \, \hat{\mathscr{r}} - k \int_\nu \frac{\vec{\nabla}' \cdot \vec{P}}{\mathscr{r}^2} d\tau' \, \hat{\mathscr{r}} \, .$$

Questão 15. Exemplo 4.2

Questão 16. Exemplo 4.3

4.3 Campo Deslocamento Elétrico

Questão 17. Para cada um dos campos discutidos na questão 10, escreva as equações de campo correspondentes: divergente e rotacional dos campos vetoriais e laplaciano dos campos escalares (potenciais) associados.

Questão 18. a) Explique o conceito e dê a definição de *campo deslocamento elétrico* $\vec{D}$ (utilize os resultados da questão anterior).
b) Para o campo $\vec{D}$, obtenha a lei de Gauss correpondente, nas formas diferencial e integral.
c) Discuta as similaridades e diferenças da lei de Gauss para os campos $\vec{D}$ e $\vec{E}$.

Questão 19. Exemplo 4.4.

Questão 20. Exemplo 4.15.

Questão 21. Determine as condições de contorno para o campo $\vec{D}$, numa superfície com densidade superficial de cargas livres σ_f (f - “free").

4.4 Dielétricos Lineares

Questão 22. Discuta o conceito e dê a definição de *suscetibilidade elétrica* de um material. Considere o caso geral e em seguida o caso de isotropia e homogeneidade.

Questão 23. a) Dê a definição de *dielétrico linear* e as *relações constitutivas* características desse tipo de material.
b) Dê a definição de *constante dielétrica* (permissividade relativa) de um material.

Questão 24. Exemplo 4.5.

Questão 25. Com relação ao campo resultante $\vec{E}$, discuta o efeito de um material dielétrico em relação ao vácuo: a presença do dielétrico altera o valor (intensidade) do campo resultante em relação a seu valor no vácuo? De quanto? Justifique a resposta e discuta uma aplicação prática.

Questão 26. Exemplo 4.6

Questão 27. Mostre que se a *densidade volumétrica de cargas livres* num sistema dielétrico for nula, o potencial resultante de um objeto polarizado obedece a equação de Laplace. Nesse caso, onde se encontram as *cargas ligadas*?

Questão 28. a) Determine as condições de contorno para o campo elétrico resultante na interface (cargas livres) de dois meios dielétricos com permissividades ϵ e ϵ'.
b) Expresse a condição de contorno em termos da derivada normal do potencial,

$$\frac{\partial V}{\partial \eta} = \vec{\nabla} V \cdot \hat{n}.$$

Questão 29. Exemplo 4.7.

.....