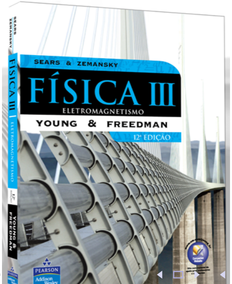
Capítulo 22 - Lei de Gauss

RODRIGO ALVES DIAS

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

Livro texto: Física 3 - Eletromagnetismo
Autores: Sears e Zemansky
Edição: 12^a
Editora: Pearson - Addisson and Wesley

18 de agosto de 2011



Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como determinar a quantidade de carga no interior de uma superfície fechada examinando o campo elétrico sobre a superfície.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como determinar a quantidade de carga no interior de uma superfície fechada examinando o campo elétrico sobre a superfície.
- O que significa fluxo elétrico e como calculá-lo.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como determinar a quantidade de carga no interior de uma superfície fechada examinando o campo elétrico sobre a superfície.
- O que significa fluxo elétrico e como calculá-lo.
- Como a lei de Gauss relaciona o fluxo elétrico através de uma superfície fechada à carga englobada pela superfície.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como determinar a quantidade de carga no interior de uma superfície fechada examinando o campo elétrico sobre a superfície.
- O que significa fluxo elétrico e como calculá-lo.
- Como a lei de Gauss relaciona o fluxo elétrico através de uma superfície fechada à carga englobada pela superfície.
- Como usar a lei de Gauss para calcular o campo elétrico de produzido por uma distribuição simétrica de carga.

Objetivos de Aprendizagem

Ao estudar este capítulo você aprenderá:

- Como determinar a quantidade de carga no interior de uma superfície fechada examinando o campo elétrico sobre a superfície.
- O que significa fluxo elétrico e como calculá-lo.
- Como a lei de Gauss relaciona o fluxo elétrico através de uma superfície fechada à carga englobada pela superfície.
- Como usar a lei de Gauss para calcular o campo elétrico de produzido por uma distribuição simétrica de carga.
- Onde se localiza a carga em um condutor carregado.

- Uma ferramenta importante para simplificar um problema é a utilização de propriedades de simetria

- Uma ferramenta importante para simplificar um problema é a utilização de propriedades de simetria
- A lei de Gauss usa considerações de simetria para a determinação de campos elétricos.

- Uma ferramenta importante para simplificar um problema é a utilização de propriedades de simetria
- A lei de Gauss usa considerações de simetria para a determinação de campos elétricos.
- A lei de Gauss relaciona a carga total existente no interior de uma superfície *imaginária* fechada com o campo elétrico de todos os pontos sobre a superfície.

Carga elétrica e fluxo elétrico

Qual é o campo elétrico produzido por uma dada distribuição de cargas em um ponto P do espaço?

Carga elétrica e fluxo elétrico

Qual é o campo elétrico produzido por uma dada distribuição de cargas em um ponto P do espaço?

Se invertermos a pergunta temos:

Caso você saiba a configuração de campos elétricos em uma dada região, o que poderiamos afirmar sobre a distribuição de cargas nessa região?

Carga elétrica e fluxo elétrico

Qual é o campo elétrico produzido por uma dada distribuição de cargas em um ponto P do espaço?

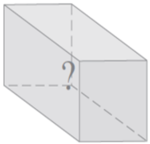
Se invertermos a pergunta temos:

Caso você saiba a configuração de campos elétricos em uma dada região, o que poderiamos afirmar sobre a distribuição de cargas nessa região?

Superfície fechada(imaginária): engloba completamente um dado volume, não produz nenhum efeito sobre qualquer campo elétrico.

Como você pode determinar a quantidade de carga(caso haja) existente no interior da caixa?

Uma caixa com uma quantidade de carga desconhecida



Carga elétrica e fluxo elétrico

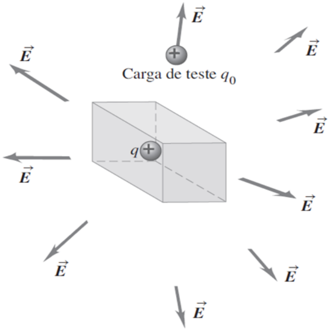
Caso você saiba a configuração de campos elétricos em uma dada região, o que poderiamos afirmar sobre a distribuição de cargas nessa região?

Superfície fechada(imaginária): engloba completamente um dado volume, não produz nenhum efeito sobre qualquer campo elétrico.

Como você pode determinar a quantidade de carga(caso haja) existente no interior da caixa?

Medindo a força $\vec{F}$ exercida sobre uma carga de teste q_0, você faz um mapa tridimensional do campo $\vec{E} = \vec{F}/q_0$ existente no exterior da caixa.

Examinando os detalhes do mapa, você poderá calcular o valor exato da carga existente no interior da caixa.

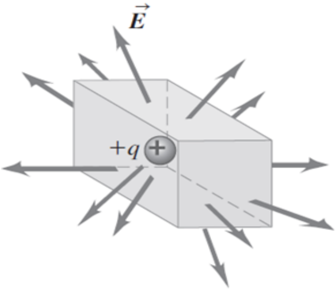


Fluxo elétrico e carga englobada

Para determinar o conteúdo da caixa, basta, na verdade medir $\vec{E}$ sobre a superfície da caixa.

- Carga positiva, fluxo para fora da superfície.

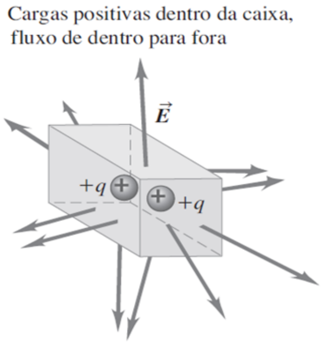
Carga positiva dentro da caixa, fluxo de dentro para fora



Fluxo elétrico e carga englobada

Para determinar o conteúdo da caixa, basta, na verdade medir $\vec{E}$ sobre a superfície da caixa.

- Carga positiva, fluxo para fora da superfície.
- Dobra a carga positiva, dobra o fluxo para fora da superfície.

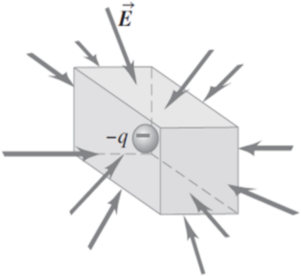


Fluxo elétrico e carga englobada

Para determinar o conteúdo da caixa, basta, na verdade medir $\vec{E}$ sobre a superfície da caixa.

- Carga positiva, fluxo para fora da superfície.
- Dobra a carga positiva, dobra o fluxo para fora da superfície.
- Carga negativa, fluxo para dentro da superfície.

Carga negativa dentro da caixa, fluxo de fora para dentro

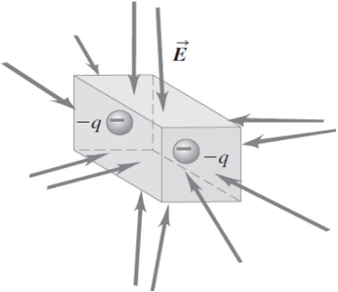


Fluxo elétrico e carga englobada

Para determinar o conteúdo da caixa, basta, na verdade medir $\vec{E}$ sobre a superfície da caixa.

- Carga positiva, fluxo para fora da superfície.
- Dobra a carga positiva, dobra o fluxo para fora da superfície.
- Carga negativa, fluxo para dentro da superfície.
- Dobra a carga negativa, dobra o fluxo para dentro da superfície.

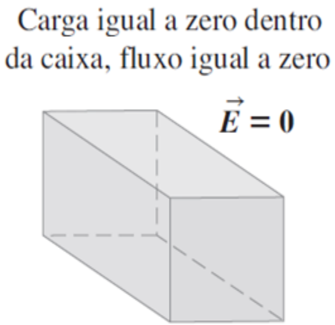
Cargas negativas dentro da caixa, fluxo de fora para dentro



Fluxo elétrico e carga englobada

Para determinar o conteúdo da caixa, basta, na verdade medir $\vec{E}$ sobre a superfície da caixa.

- Carga positiva, fluxo para fora da superfície.
- Dobra a carga positiva, dobra o fluxo para fora da superfície.
- Carga negativa, fluxo para dentro da superfície.
- Dobra a carga negativa, dobra o fluxo para dentro da superfície.
- Carga nula, fluxo para fora/dentro da superfície é nulo.

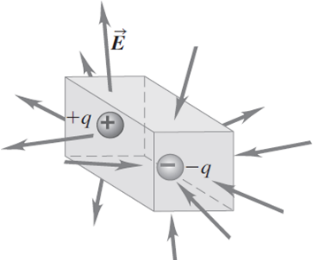


Fluxo elétrico e carga englobada

Para determinar o conteúdo da caixa, basta, na verdade medir $\vec{E}$ sobre a superfície da caixa.

- Carga positiva, fluxo para fora da superfície.
- Dobra a carga positiva, dobra o fluxo para fora da superfície.
- Carga negativa, fluxo para dentro da superfície.
- Dobra a carga negativa, dobra o fluxo para dentro da superfície.
- Carga nula, fluxo para fora/dentro da superfície é nulo.
- Carga *líquida* nula, fluxo elétrico *líquido* para fora/dentro da superfície é nulo.

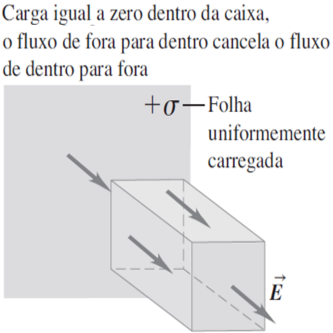
Carga *líquida* igual a zero dentro da caixa, o fluxo de fora para dentro cancela o fluxo de dentro pra fora



Fluxo elétrico e carga englobada

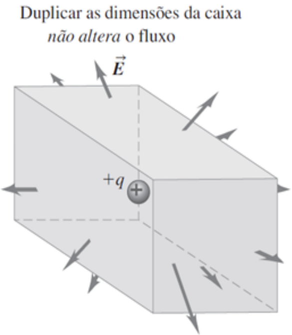
Para determinar o conteúdo da caixa, basta, na verdade medir $\vec{E}$ sobre a superfície da caixa.

- Carga positiva, fluxo para fora da superfície.
- Dobra a carga positiva, dobra o fluxo para fora da superfície.
- Carga negativa, fluxo para dentro da superfície.
- Dobra a carga negativa, dobra o fluxo para dentro da superfície.
- Carga nula, fluxo para fora/dentro da superfície é nulo.
- Carga *líquida* nula, fluxo elétrico *líquido* para fora/dentro da superfície é nulo.



Para determinar o conteúdo da caixa, basta, na verdade medir $\vec{E}$ sobre a superfície da caixa.

- Carga positiva, fluxo para fora da superfície.
- Dobra a carga positiva, dobra o fluxo para fora da superfície.
- Carga negativa, fluxo para dentro da superfície.
- Dobra a carga negativa, dobra o fluxo para dentro da superfície.
- Carga nula, fluxo para fora/dentro da superfície é nulo.
- Carga *líquida* nula, fluxo elétrico *líquido* para fora/dentro da superfície é nulo.
- Duplicar o tamanho da caixa não altera o fluxo elétrico através da superfície.



Lei de Gauss(Formulação qualitativa):

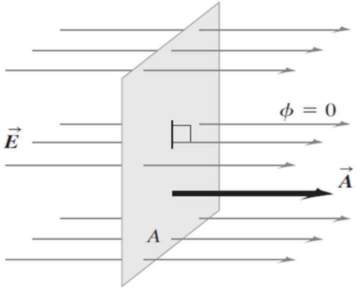
1. O sinal da carga no interior de uma superfície fechada determina se o fluxo está entrando/saindo da superfície.
2. Cargas no exterior da superfície fechada não fornece fluxo *líquido* através da superfície.
3. O fluxo elétrico líquido é diretamente proporcional à carga líquida no interior da superfície fechada, porém ele é independente do tamanho da superfície fechada.

Fluxo de um campo elétrico uniforme

Descreveremos o fluxo elétrico Φ_E como o número de linhas de campo elétrico que atravessa uma dada área A.

$$\Phi_E = EA$$

A superfície é frontal ao campo elétrico:



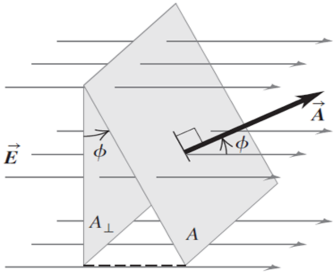
(o ângulo entre $\vec{E}$ e $\vec{A}$ é $\phi = 0$)
O fluxo $\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = EA$.

Fluxo de um campo elétrico uniforme

Descreveremos o fluxo elétrico Φ_E como o número de linhas de campo elétrico que atravessa uma dada área A.

$$\begin{aligned} \Phi_E &= EA \\ \Phi_E &= EA\cos\phi \end{aligned}$$

A superfície está inclinada em relação a uma orientação frontal, formando um ângulo ϕ:



O ângulo entre $\vec{E}$ e $\vec{A}$ é ϕ.
O fluxo $\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = EA\cos\phi$.

Fluxo de um campo elétrico uniforme

Descreveremos o fluxo elétrico Φ_E como o número de linhas de campo elétrico que atravessa uma dada área A.

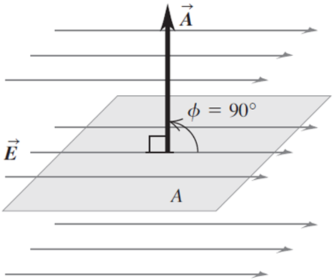
$$\begin{aligned}\Phi_E &= EA\\ \Phi_E &= EA\cos\phi\\ \Phi_E &= \vec{E}\cdot\vec{A}\end{aligned}$$

No S.I. a unidade de fluxo elétrico sera: Nm^2/C.

Podemos representar o vetor $\vec{A}$ por: $\vec{A} = A\hat{n}$, onde $\hat{n}$ é o vetor unitário normal à superfície.

Uma superfície possui dois lados, portanto existem dois sentidos para o vetor $\vec{A}$ e $\hat{n}$. Devemos sempre especificar qual é o sentido escolhido.

A superfície é lateral ao campo elétrico: $\vec{E}$ e $\vec{A}$ são perpendiculares



O fluxo $\Phi_E = \vec{E}\cdot\vec{A} = EA\cos 90° = 0$.

Fluxo de um campo elétrico não uniforme

Para uma superfície fechada, sempre escolhemos o sentido de $\hat{n}$ para fora da superfície e dizemos que o fluxo elétrico sai da superfície fechada.

Fluxo de um campo elétrico não uniforme

Para uma superfície fechada, sempre escolhemos o sentido de $\hat{n}$ para fora da superfície e dizemos que o fluxo elétrico sai da superfície fechada.

- Se um fluxo elétrico sai da superfície então: Φ_E é positivo.
- Se um fluxo elétrico entra da superfície então: Φ_E é negativo.

Fluxo de um campo elétrico não uniforme

Para uma superfície fechada, sempre escolhemos o sentido de $\hat{n}$ para fora da superfície e dizemos que o fluxo elétrico sai da superfície fechada.

- Se um fluxo elétrico sai da superfície então: Φ_E é positivo.
- Se um fluxo elétrico entra da superfície então: Φ_E é negativo.

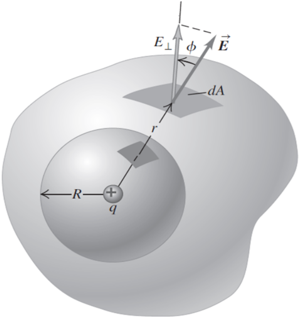
Se o campo elétrico $\vec{E}$ não é uniforme e a superfície é curva então:

Para uma superfície fechada, sempre escolhemos o sentido de $\hat{n}$ para fora da superfície e dizemos que o fluxo elétrico sai da superfície fechada.

- Se um fluxo elétrico sai da superfície então: Φ_E é positivo.
- Se um fluxo elétrico entra da superfície então: Φ_E é negativo.

Se o campo elétrico $\vec{E}$ não é uniforme e a superfície é curva então:

- Dividimos A em pequenos elementos de superfície dA, cada um deles possui um vetor unitário $\hat{n}$, perpendicular ao elemento de área dA, de tal forma que: $d\vec{A} = \hat{n}\ dA$.

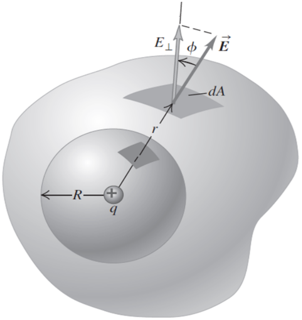


Para uma superfície fechada, sempre escolhemos o sentido de $\hat{n}$ para fora da superfície e dizemos que o fluxo elétrico sai da superfície fechada.

- Se um fluxo elétrico sai da superfície então: Φ_E é positivo.
- Se um fluxo elétrico entra da superfície então: Φ_E é negativo.

Se o campo elétrico $\vec{E}$ não é uniforme e a superfície é curva então:

- Dividimos A em pequenos elementos de superfície dA, cada um deles possui um vetor unitário $\hat{n}$, perpendicular ao elemento de área dA, de tal forma que: $d\vec{A} = \hat{n}\ dA$.



Calculamos o fluxo elétrico em cada um dos elementos de área e integramos para obter o fluxo elétrico total por:

$$\Phi_E = \int E \cos\phi dA = \int E_\perp dA = \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

Integral de superfície de $\vec{E} \cdot d\vec{A}$.

Forma geral da Lei de Gauss

O fluxo elétrico total através de qualquer superfície fechada é igual à carga elétrica total(líquida) existente no interior da superfície fechada dividida por ϵ_0.

$$
\begin{aligned}
\Phi_E &= \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0} \\
\Phi_E &= \oint E \cos\phi dA = \oint E_\perp dA = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}
\end{aligned}
$$

Forma geral da Lei de Gauss

O fluxo elétrico total através de qualquer superfície fechada é igual à carga elétrica total(líquida) existente no interior da superfície fechada dividida por ϵ_0.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

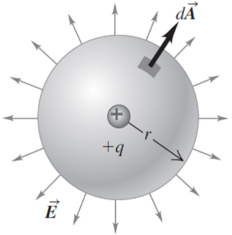
$$\Phi_E = \oint E \cos\phi dA = \oint E_\perp dA = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

Superfície esférica com raio r em torno de uma carga $+q$.

$$\Phi_E = \oint E_\perp dA = \oint \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dA$$

$$\Phi_E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \oint dA = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

Superfície gaussiana em torno de uma carga positiva: fluxo positivo (para fora)



Forma geral da Lei de Gauss

O fluxo elétrico total através de qualquer superfície fechada é igual à carga elétrica total(líquida) existente no interior da superfície fechada dividida por ϵ_0.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

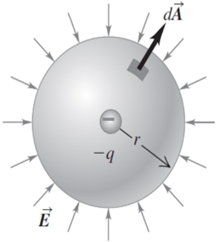
$$\Phi_E = \oint E \cos\phi dA = \oint E_\perp dA = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

Superfície esférica com raio r em torno de uma carga $-q$.

$$\Phi_E = \oint E_\perp dA = \oint \left(\frac{-q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\right) dA$$

$$\Phi_E = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \oint dA = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 r^2} 4\pi r^2 = \frac{-q}{\epsilon_0}$$

Superfície gaussiana em torno de uma carga negativa: fluxo positivo (para dentro)



Forma geral da Lei de Gauss

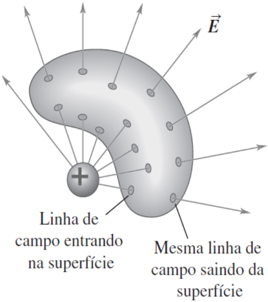
O fluxo elétrico total através de qualquer superfície fechada é igual à carga elétrica total(líquida) existente no interior da superfície fechada dividida por ϵ_0.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E = \oint E \cos\phi dA = \oint E_{\perp} dA = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

Superfície qualquer sem carga no interior.

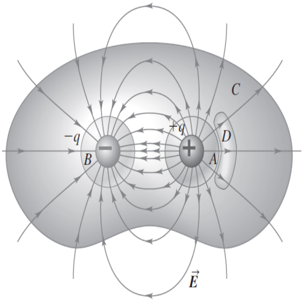
$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0$$



Fluxo elétrico e carga interna.

Determine o fluxo elétrico através das superfícies fechadas A, B, C e D.

$$\Phi_E \quad = \quad \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

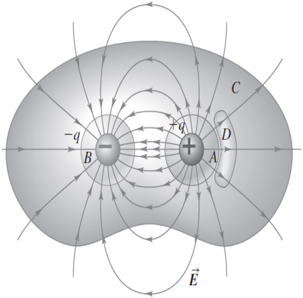


Fluxo elétrico e carga interna.

Determine o fluxo elétrico através das superfícies fechadas A, B, C e D.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E^A = \frac{q}{\epsilon_0}$$



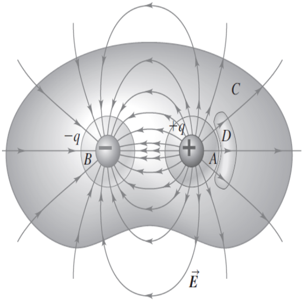
Fluxo elétrico e carga interna.

Determine o fluxo elétrico através das superfícies fechadas A, B, C e D.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E^A = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E^B = \frac{-q}{\epsilon_0}$$



Fluxo elétrico e carga interna.

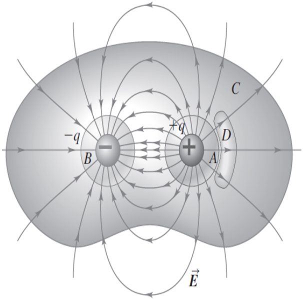
Determine o fluxo elétrico através das superfícies fechadas A, B, C e D.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E^A = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E^B = \frac{-q}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E^C = 0$$



Fluxo elétrico e carga interna.

Determine o fluxo elétrico através das superfícies fechadas A, B, C e D.

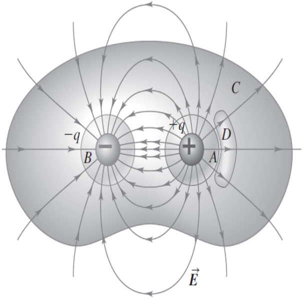
$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E^A = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E^B = \frac{-q}{\epsilon_0}$$

$$\Phi_E^C = 0$$

$$\Phi_E^D = 0$$



Cargas em condutores

- Se conhecemos a distribuição de carga ρ usando a lei de Gauss obtemos o campo elétrico $\vec{E}$.

Cargas em condutores

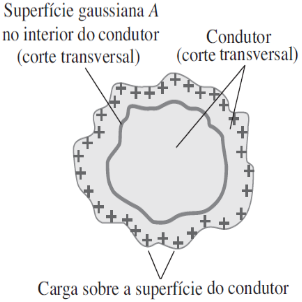
- Se conhecemos a distribuição de carga ρ usando a lei de Gauss obtemos o campo elétrico $\vec{E}$.
- Se conhecemos o campo elétrico $\vec{E}$ usando a lei de Gauss obtemos a distribuição de carga ρ.

Cargas em condutores

- Se conhecemos a distribuição de carga ρ usando a lei de Gauss obtemos o campo elétrico $\vec{E}$.
- Se conhecemos o campo elétrico $\vec{E}$ usando a lei de Gauss obtemos a distribuição de carga ρ.

Campo elétrico produzido por distribuição de cargas sobre condutores.

- Quando existe um excesso de carga em um condutor sólido em equilíbrio, o excesso de cargas fica inteiramente localizado sobre a superfície do condutor.

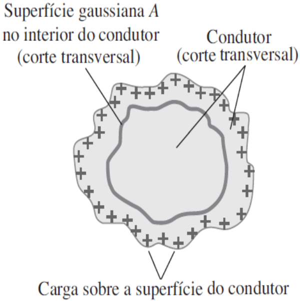


Cargas em condutores

- Se conhecemos a distribuição de carga ρ usando a lei de Gauss obtemos o campo elétrico $\vec{E}$.
- Se conhecemos o campo elétrico $\vec{E}$ usando a lei de Gauss obtemos a distribuição de carga ρ.

Campo elétrico produzido por distribuição de cargas sobre condutores.

- Quando existe um excesso de carga em um condutor sólido em equilíbrio, o excesso de cargas fica inteiramente localizado sobre a superfície do condutor.
- Não pode existir nenhum excesso de cargas no interior de um condutor sólido em equilíbrio;.

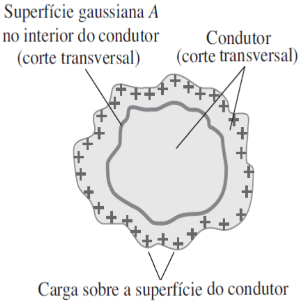


Cargas em condutores

- Se conhecemos a distribuição de carga ρ usando a lei de Gauss obtemos o campo elétrico $\vec{E}$.
- Se conhecemos o campo elétrico $\vec{E}$ usando a lei de Gauss obtemos a distribuição de carga ρ.

Campo elétrico produzido por distribuição de cargas sobre condutores.

- Quando existe um excesso de carga em um condutor sólido em equilíbrio, o excesso de cargas fica inteiramente localizado sobre a superfície do condutor.
- Não pode existir nenhum excesso de cargas no interior de um condutor sólido em equilíbrio;.



No equilíbrio eletrostático, $\vec{E} = 0$ em qualquer ponto no interior do condutor. Caso $\vec{E} \neq 0$ as cargas estariam em movimento.

Campo de uma esfera condutora carregada com carga q.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

Para $r > R$:

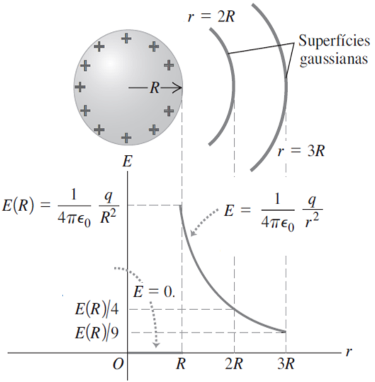
$$E(4\pi r^2) = \frac{q}{\epsilon_0}$$
$$E(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Para $r = R$:

$$E(R) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

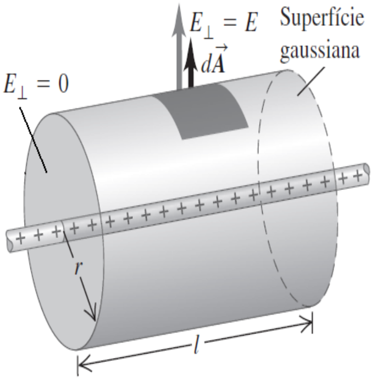
Para $r < R$:

$$E(4\pi r^2) = 0$$
$$E = 0$$



Campo de uma carga distribuída ao longo de um fio retilíneo.

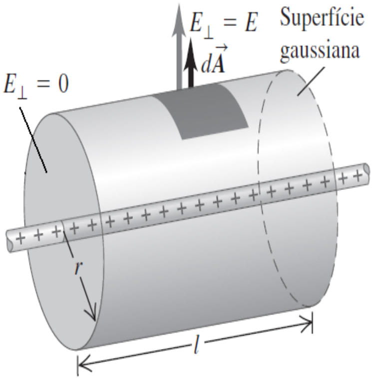
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0} \quad ; \quad Q_{inter} = \lambda l$$



Campo de uma carga distribuída ao longo de um fio retilíneo.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0} \quad ; \quad Q_{inter} = \lambda l$$

$$E(2\pi r l) = \frac{\lambda l}{\epsilon_0}$$

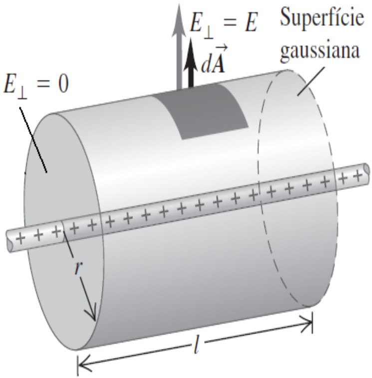


Campo de uma carga distribuída ao longo de um fio retilíneo.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0} \quad ; \quad Q_{inter} = \lambda l$$

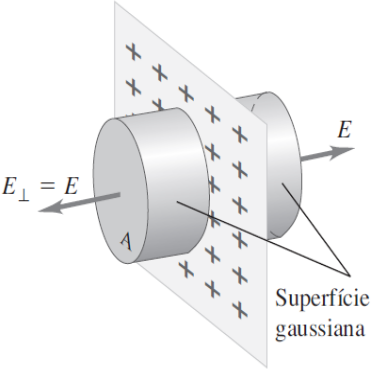
$$E(2\pi r l) = \frac{\lambda l}{\epsilon_0}$$

$$E(r) = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$



Campo de uma carga distribuída ao longo de um plano infinito.

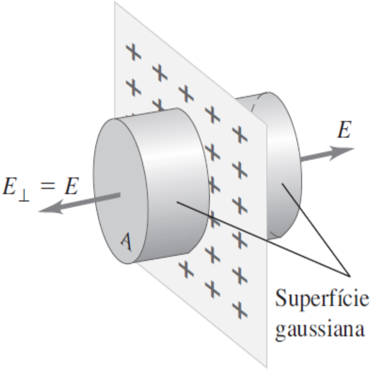
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0} \quad ; \quad Q_{inter} = \sigma A$$



Campo de uma carga distribuída ao longo de um plano infinito.

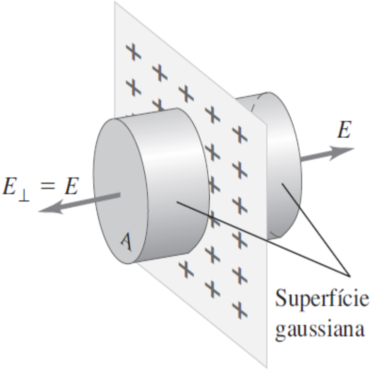
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0} \quad ; \quad Q_{inter} = \sigma A$$

$$E(2A) = \frac{\sigma A}{\epsilon_0}$$



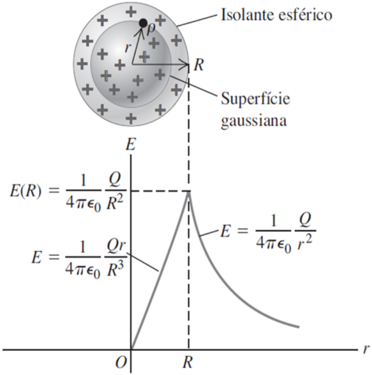
Campo de uma carga distribuída ao longo de um plano infinito.

$$\begin{aligned} \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} &= \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0} \quad ; \quad Q_{inter} = \sigma A \\ E(2A) &= \frac{\sigma A}{\epsilon_0} \\ E &= \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \end{aligned}$$



Campo de uma esfera uniforme não condutora carregada com carga Q.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

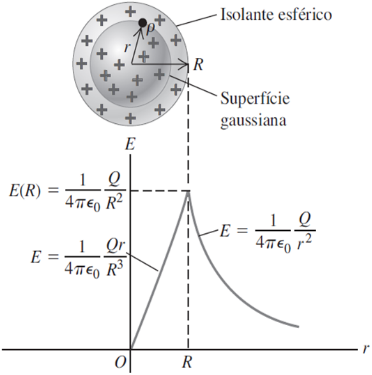


Campo de uma esfera uniforme não condutora carregada com carga Q.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

Para $r \geq R$:

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q}{\epsilon_0} \rightarrow E(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$



Campo de uma esfera uniforme não condutora carregada com carga Q.

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{inter}}{\epsilon_0}$$

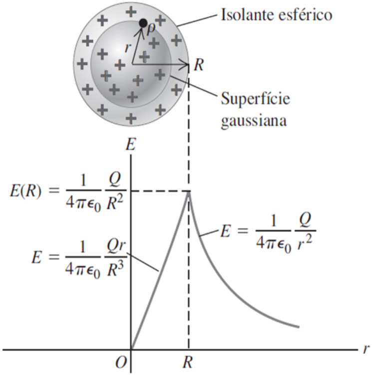
Para $r \geq R$:

$$E(4\pi r^2) = \frac{Q}{\epsilon_0} \rightarrow E(r) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

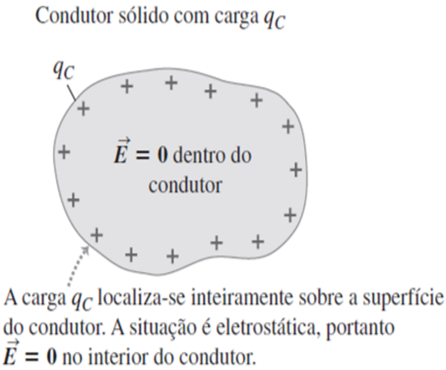
Para $r < R$:
Sabemos que, $\rho = \frac{Q}{4\pi R^3/3}$, o volume interno englobada pela superfície gaussiana é $V_{int} = \frac{4\pi r^3}{3}$, assim a carga interna será:

$$Q_{inter} = \rho V_{int} = \left(\frac{Q}{4\pi R^3/3}\right)\left(\frac{4\pi r^3}{3}\right) = Q\frac{r^3}{R^3}$$

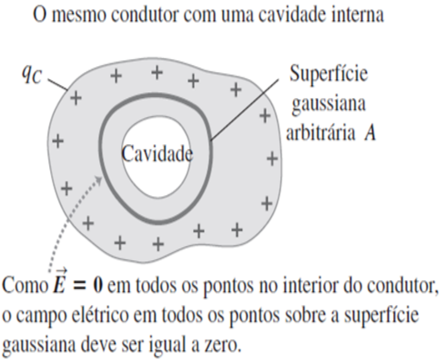
$$E(4\pi r^2) = \frac{Q}{\epsilon_0}\frac{r^3}{R^3} \rightarrow E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0}\frac{r}{R^3}$$



Campo de um volume oco carregada

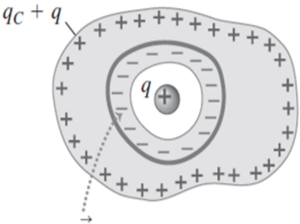


Campo de um volume oco carregada



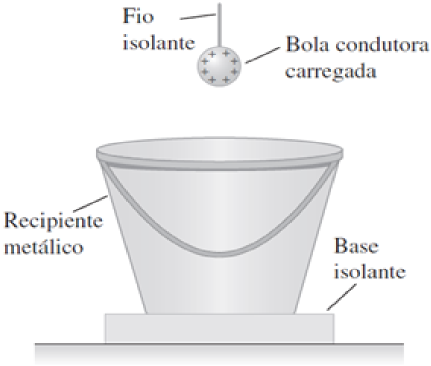
Campo de um volume oco carregada

Uma carga isolada q colocada dentro da cavidade

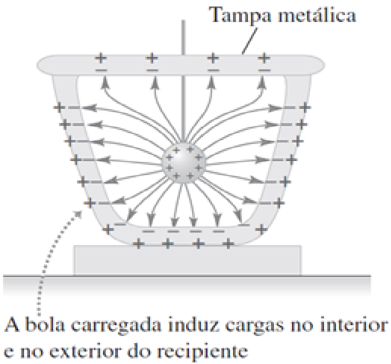


Para que $\vec{E}$ seja igual a zero em todos os pontos sobre a superfície gaussiana, a superfície da cavidade deve ter carga total igual a $-q$.

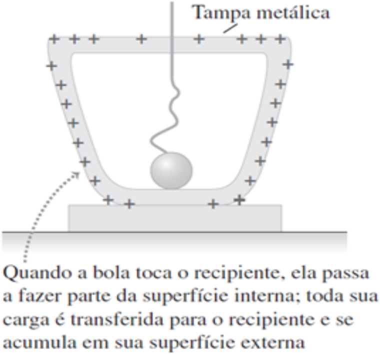
Teste experimental da lei de Gauss



Teste experimental da lei de Gauss



Teste experimental da lei de Gauss



Gaiola de Faraday