

Autor: Roberto A. Salmeron

1: Introdução

Em um corpo feito de material bom condutor, a eletricidade se distribui pela superfície externa. Isso pode ser mostrado muito simplesmente com uma série de experiências.

1ª Experiência

Eletrizamos um corpo metálico oco que possua um orifício (fig. 26). Tocando a face externa do corpo com o botão de um eletroscópio, as folhas do eletroscópio divergem, mostrando que há carga elétrica nessa face (fig. 27). Depois tocamos a face interna com um corpo de prova (é um disco metálico preso a um cabo isolante). Se nessa face interna houver carga elétrica, o disco metálico se eletrizará por contato. Encostando o disco metálico no botão do eletroscópio, este não revela eletrização. Isso mostra que o corpo de prova não se eletriza, e, portanto, não há carga elétrica na face interna do corpo.

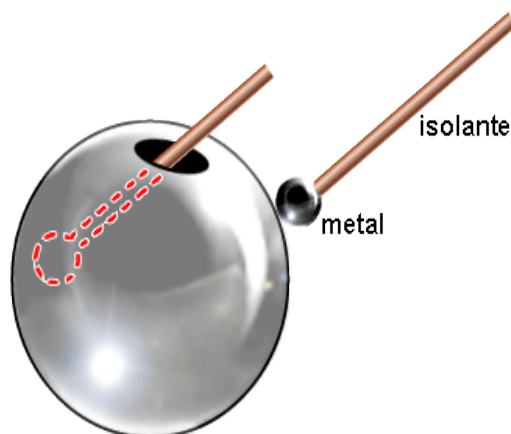


Figura 26

Autor: Roberto A. Salmeron

2ª Experiência (de Faraday)

Com uma tela metálica fazemos uma superfície de forma cônica. Um fio f isolante é amarrado ao vértice da superfície. Eletrizando o corpo e tocando-o com o eletroscópio na face externa, este revela existência de carga elétrica nessa face. Tocando a face interna com o corpo de prova e levando-o ao eletroscópio, este não revela a existência de carga no corpo de prova, e, portanto, na face interna do funil. Depois puxamos o fio f , de maneira a virar o funil ao avesso: a face interna ficará sendo externa e vice-versa. Repetindo o exame com o eletroscópio verificaremos que a eletricidade se distribui na nova face externa; portanto, a eletricidade muda de face, de maneira a ficar sempre na face externa.

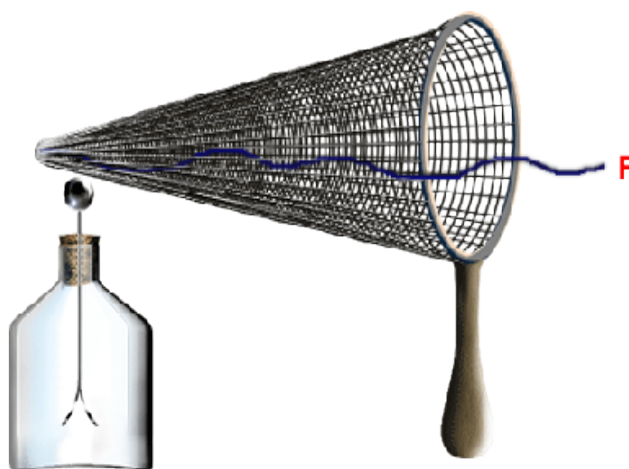


Figura 27

Esta experiência mostra que, mesmo quando a superfície do condutor é descontínua a carga elétrica se distribui pela superfície externa.

O leitor que tiver construído a máquina eletrostática sugerida no tópico *Uma Máquina Eletrostática simples*, e o eletroscópio sugerido na [questão 13 do Capítulo I](#), poderá comodamente realizar essas duas experiências. O corpo oco da 1ª experiência pode ser uma lata, ou uma chaleira. O corpo de prova pode ser uma moeda amarrada na ponta de um lápis.

Autor: Roberto A. Salmeron

3ª Experiência (de Cavendish)

Cavendish tomou uma esfera metálica com suporte isolante, e dois hemisférios que se adaptam perfeitamente à esfera, cada um com um cabo isolante (fig. 28). Eletrizou a esfera. Depois adaptou os dois hemisférios à esfera, e afastou-os. Depois de tê-los afastado, observou que a esfera estava neutra; a face interna dos hemisférios estava neutra; a face externa estava eletrizada. Concluiu que, quando os hemisférios foram adaptados, de maneira que passaram a formar um só corpo com a esfera, a eletricidade passou para a face externa desse conjunto.



Figura 28

Explicação – Essas três experiências mostram que nos condutores a eletricidade se distribui pela superfície externa. A explicação que damos para esse fato é a seguinte: a carga de um corpo é a soma das cargas elétricas de um grande número de partículas eletrizadas com cargas de mesmo sinal: essas partículas, por terem cargas de mesmo nome, repelem-se. Portanto, tendem a afastar-se o mais possível. Por isso tendem a ocupar a maior superfície possível no corpo. E a maior superfície possível é a externa

Autor: Roberto A. Salmeron

2: Densidade elétrica superficial

Em muitas questões interessa-nos saber o valor da carga elétrica existente na unidade de área. Por isso definimos uma grandeza chamada densidade elétrica superficial.

Densidade elétrica superficial média

Seja S a área da superfície externa e Q a carga elétrica de um corpo. Consideremos um elemento de superfície de área ΔS e contendo carga ΔQ (fig. 29). Por definição, “densidade elétrica superficial média de uma superfície é o quociente da carga existente na superfície pela área da superfície”. A densidade elétrica superficial média de ΔS é:

$$\sigma_m = \frac{\Delta Q}{\Delta S}$$

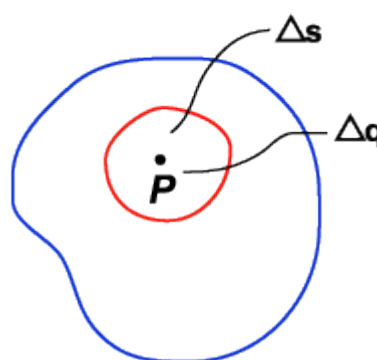


Figura 29

Densidade elétrica superficial em um ponto

Para definirmos a densidade elétrica num ponto P , consideremos uma superfície de área ΔS que contorne o ponto P . Fazendo a área ΔS tender a zero, a superfície vai tender ao ponto P . Por definição chama-se densidade elétrica superficial no ponto P ao limite da densidade elétrica média de uma superfície que contenha P , quando a área dessa superfície tende à zero de maneira tal que ela contenha sempre o ponto P .

Por definição

$$\sigma_p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \sigma_m = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta S} = \frac{dq}{ds}$$

Esse limite se representa por dq/ds ; é chamado derivada da carga em relação à área.

Autor: Roberto A. Salmeron

A densidade elétrica superficial é sempre dotada de sinal. Ela tem o sinal da carga da superfície.

Definição

Chama-se corpo uniformemente eletrizado aquele cujos pontos têm todos a mesma densidade elétrica. Num corpo uniformemente eletrizado, a densidade elétrica superficial de seus pontos é a densidade elétrica média de qualquer de suas regiões, e, em particular, é igual à densidade média da superfície inteira do corpo. Nesse caso, sendo S a área da superfície externa total do condutor, Q a sua carga elétrica total, σ a densidade elétrica, igual para todos os pontos, temos:

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

Neste curso suporemos sempre os condutores uniformemente eletrizados.

Exemplo

– Densidade elétrica de uma esfera.

Uma esfera sempre fica uniformemente eletrizada. Assim, a densidade elétrica, que é a mesma em qualquer ponto, é o quociente da carga total pela área total:

$$\sigma = \frac{Q}{S}. \text{ Mas } S = 4\pi R^2.$$

Então

$$\sigma = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

3: Unidades de densidade elétrica

Definimos esta unidade baseando-nos em corpo uniformemente eletrizado.

Num corpo uniformemente eletrizado, $\sigma = Q/S$. Para que tenhamos $\sigma = 1$ é necessário que seja $Q = 1$ e $S = 1$.

Autor: Roberto A. Salmeron**a. Sistema CGSES**

A unidade de σ é obtida fazendo-se:

$$Q = 1 \text{ ues CGSq}$$

$$S = 1 \text{ cm}^2$$

Resulta:

$$\sigma = \frac{1 \text{ ues CGSq}}{1 \text{ cm}^2} = 1 \frac{\text{ues CGSq}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ ues CGS } \sigma$$

A unidade de densidade elétrica superficial no sistema CGSES é a densidade elétrica superficial de um corpo uniformemente eletrizado que possui a carga de uma ues CGSq em cada centímetro quadrado. Representa-se por ues CGS σ .

b. Sistema MKS

A unidade de σ é obtida neste sistema fazendo-se:

$$Q = 1c$$

$$S = 1 \text{ m}^2$$

Resulta:

$$\sigma = \frac{1c}{1 \text{ m}^2} = 1 \left(\frac{c}{\text{m}^2} \right)$$

A unidade de densidade elétrica superficial no sistema MKS, é a densidade elétrica superficial de um corpo uniformemente eletrizado que possui a carga de um Coulomb em cada metro quadrado. É representada por c/m^2 .

Relação entre as duas unidades

Sabemos que

$$1c = 3 \cdot 10^9 \text{ ues CGSq}$$

$$1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$$

Autor: Roberto A. Salmeron

Logo

$$1\left(\frac{c}{m^2}\right) = \frac{1c}{1m^2} = \frac{3 \cdot 10^9 \text{ uesCGSq}}{10^4 \text{ cm}^2} = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{uesCGSq}}{\text{cm}^2},$$

ou

$$1\frac{c}{m^2} = 3 \cdot 10^5 \text{ uesCGSq}$$

4: Distribuição da densidade elétrica superficial

Em geral, os corpos não são uniformemente eletrizados: a densidade elétrica varia de ponto para ponto. A densidade elétrica é maior nas regiões de menor raio de curvatura, isto é, nas regiões mais curvas. Um corpo como o da figura 30, por exemplo, tem densidade elétrica maior na região AB do que em CD, porque AB tem a curva mais acentuada que CD.

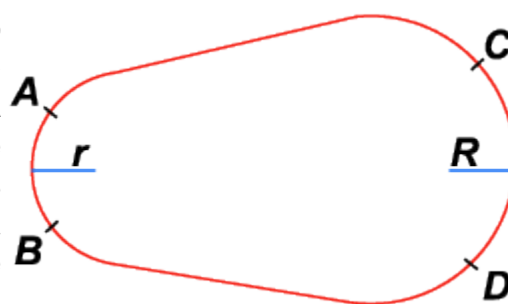


Figura 30

Como uma esfera tem raio de curvatura constante, ela é sempre uniformemente eletrizada. A figura 31 mostra, com uma linha pontilhada, a distribuição da densidade elétrica em uma esfera (a), um cilindro (b), um ovoide (c) e um disco (d).

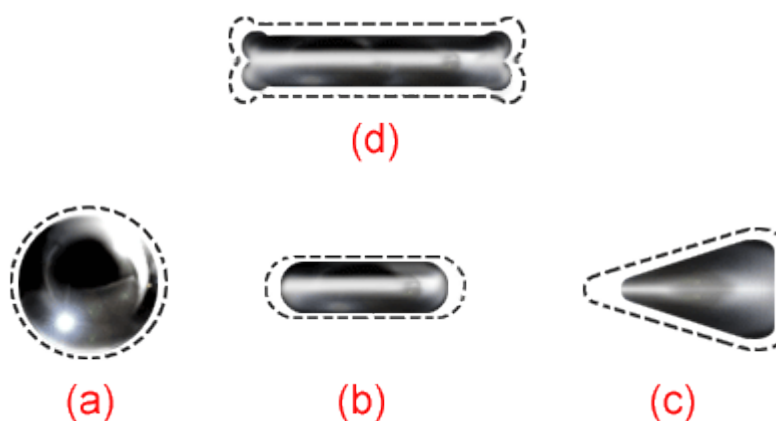


Figura 31

O leitor pode observar muito facilmente o que acabamos de escrever. Na máquina eletrostática da figura abaixo substitua um dos cilindros, C, por exemplo, por um corpo metálico que tenha curvaturas diferentes, por exemplo,

Autor: Roberto A. Salmeron

um bule, ou uma chaleira, e retire as esferas A e B. Gire o disco e encoste o botão do eletroscópio em regiões diferentes do bule. Verá que nas regiões mais curvas as folhas do eletroscópio divergem mais, indicando que nessas regiões há mais carga.

5: O "poder das pontas"

Uma ponta é uma região muito curva. E como a eletricidade se acumula mais nas regiões mais curvas, quando um corpo eletrizado tem uma ponta, nela há grande acúmulo de carga elétrica. Numa ponta a densidade elétrica é sempre maior do que nas regiões não pontudas. Com as pontas se dão os três fatos seguintes:

1º) uma ponta sempre se eletriza mais facilmente do que uma região não pontuda;

2º) se um corpo já está eletrizado, uma ponta perde carga elétrica mais facilmente do que as regiões não pontudas; por este motivo é difícil manter-se eletrizado um corpo que possua pontas;

3º) se um corpo está eletrizado, uma ponta tem sobre os outros corpos uma ação muito mais forte do que as regiões não pontudas.

Esses três fatos são conhecidos como "poder das pontas". Eles podem ser observados com experiências muito simples.

PODER DAS PONTAS

1º) Para comprovar o 1º fato, faça as duas observações seguintes.

a) Faça funcionar a máquina eletrostática, aproxime um eletroscópio de um de seus terminais até uma certa distância; o eletroscópio se eletriza por indução. Observe então, o afastamento das folhas. Depois prenda várias pontas no botão do eletroscópio, por exemplo, vários alfinetes. Aproxime o eletroscópio do mesmo terminal da máquina eletrostática, à mesma distância, e observe que as folhas se afastam mais, indicando que a carga que apareceu por indução no eletroscópio é maior.

Autor: Roberto A. Salmeron

b) Aproxime um braço, ou a cabeça sua, de um terminal da máquina eletrostática. Verá que os pêlos do braço, ou os cabelos, ficarão eriçados, porque são pontas e se eletrizam facilmente.

2º) Para comprovar o 2º fato, eletrize um eletroscópio até que suas folhas fiquem abertas, por exemplo, em ângulo reto. Depois aproxime a mão do botão do eletroscópio, a uma certa distância. Verá que as folhas vão se fechando lentamente, indicando que o eletroscópio vai perdendo carga devagar. Depois adapte ao botão do eletroscópio uma ponta, por exemplo, um alfinete, eletrize-o até que as folhas fiquem novamente em ângulo reto, e aproxime a mão à igual distância que da vez anterior. Verá que as folhas se fecham muito mais depressa. A ponta faz que o eletroscópio perca carga mais rapidamente.

3º) O 3º fato pode ser comprovado pelo “sopro elétrico” e pelo “torniquete elétrico”.

Sopro elétrico

No terminal C negativo da máquina eletrostática (fig. 22) prenda uma ponta, que se eletriza negativamente. Como a ponta tem carga negativa, repele elétrons das moléculas de ar que estão próximas dela. Elétrons de muitas dessas moléculas de ar escapam das moléculas. A molécula com falta de elétrons deixa de ser neutra e se torna um agregado de partículas com carga resultante positiva, que chamamos íon positivo. O íon positivo é então atraído pela ponta (fig. 32-a). Quando os íons positivos são atraídos pela ponta, arrastam consigo outras moléculas de ar. Há então um deslocamento de moléculas de ar para a ponta, como se estivesse soprando um vento. Esse deslocamento de ar, provocado por fenômeno elétrico, é chamado vento elétrico, ou sopro elétrico. Para evidenciar o vento elétrico, coloque perto da ponta a chama de uma vela. O ar, ao ser deslocado, arrasta consigo a chama para a ponta tal qual como se a chama fosse soprada (fig. 32-b).

Autor: Roberto A. Salmeron

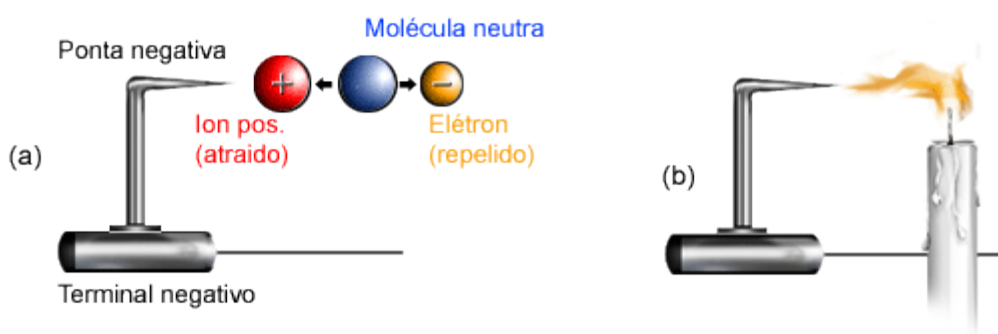


Figura 32

Agora perguntamos ao leitor: se a ponta estiver no terminal positivo da máquina eletrostática, em que sentido corre o vento elétrico? Justifique a resposta.

Torniquete elétrico

É constituído por um conjunto de fios metálicos terminados em pontas que são dobradas todas num mesmo sentido (fig. 33). Esses fios são solidários entre si, e são articulados com uma haste vertical h , de maneira que possam girar livremente num plano horizontal. Liga-se a haste h ao terminal negativo de uma máquina eletrostática. Cada ponta, sendo negativa, exerce sobre as moléculas de ar próximas a ação já explicada acima, produzindo-se o vento elétrico em torno de cada ponta.

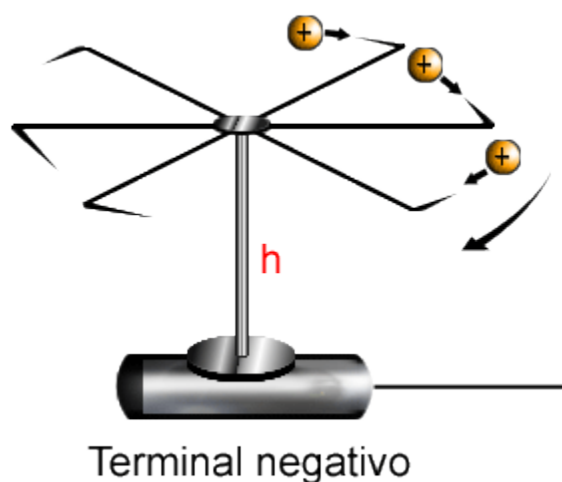


Figura 33

Autor: Roberto A. Salmeron

Os íons positivos e as moléculas neutras de ar que se deslocam, ao se chocarem com as pontas, exercem forças sobre elas. Essas forças põem o torniquete em movimento de rotação, em sentido contrário ao das pontas.

6: Raio, Relâmpago, Trovão e Para-Raio

Durante as tempestades violentas as nuvens se carregam intensamente de eletricidade. Saltam então faíscas gigantescas dessas nuvens para a Terra, ou entre duas nuvens próximas que tenham cargas de sinais opostos. Essas faíscas são os raios. Essa descarga elétrica arranca elétrons das moléculas dos constituintes do ar, isto é, ioniza essas moléculas. Quando se dá a ionização, que nesse caso é muito violenta se produz luz. Essa luz é o relâmpago. A descarga aquece muito o ar por onde passa, e provoca uma dilatação rápida desse ar. Essa dilatação rápida produz um som forte, que é o trovão.

A razão pela qual as nuvens se carregam de eletricidade não é bem explicada. Sabe-se que pequenas gotas d'água podem ser "quebradas" por um jato de ar, as gotas quebradas tornando-se positivas, e o ar negativo. Uma teoria da eletrização das nuvens admite então que as gotas de chuva são quebradas por ventos violentos; e que as gotas quebradas, sendo mais pesadas que o ar sobem mais devagar que ele, permanecendo nas nuvens mais baixas. Essas nuvens mais baixas teriam então carga positiva, porque as gotas quebradas têm carga positiva. E as nuvens mais altas teriam carga negativa. Por isso os raios podem se dar de uma nuvem à outra, ou de uma nuvem à terra.

Choque de retorno

Quando uma nuvem fortemente carregada passa por cima de objetos altos que estão em comunicação com a terra como árvores, edifícios, postes, eles se eletrizam por indução. Depois que se dá o raio, mesmo que ele não atinja os objetos, estes escoam suas cargas rapidamente para a terra. Uma pessoa em contato com esses objetos, pode então levar um choque e ferir-se, mesmo sem ter sido atingida pelo raio. A esse fenômeno chamamos choque de retorno.

Autor: Roberto A. Salmeron

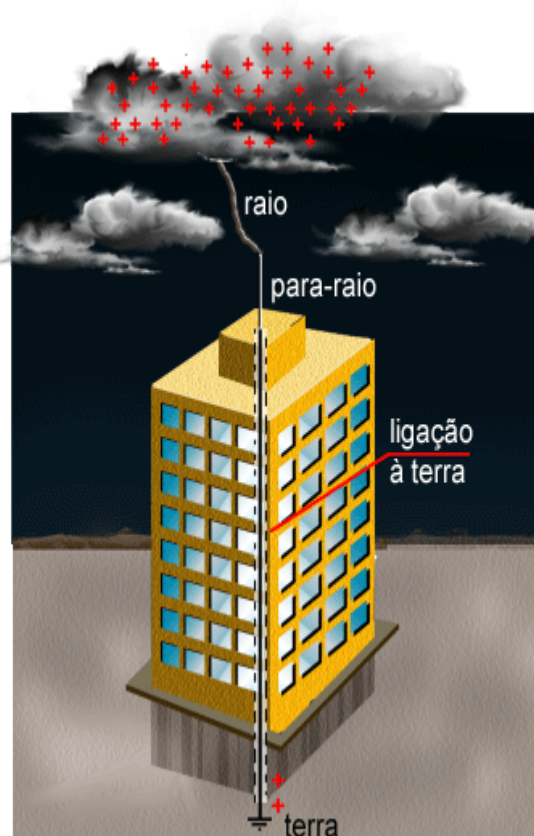
Para-raios

Os para-raios protegem inteiramente os edifícios contra os raios. São barras de metal, de mais ou menos um metro de altura, que são colocadas nas partes mais altas dos edifícios, e ligadas à terra. Em vez de se colocar uma só barra, consegue-se uma proteção mais eficiente com várias barras colocadas mais ou menos a 4 metros uma da outra, todas ligadas à terra.

Quando uma nuvem eletrizada passa perto do para-raio, por indução aparece nele uma carga elétrica de sinal oposto ao da nuvem. Então a carga da nuvem é atraída, dá-se o raio entre a nuvem e o para-raio, e assim a carga da nuvem é escoada para a Terra (fig. 34).

A zona de proteção que o para-raios oferece é um círculo em torno do edifício de raio aproximadamente igual a duas vezes e meia a altura do edifício. Por exemplo, um edifício de 40 metros de altura oferece proteção dentro de um círculo ao seu redor de 100 metros de raio aproximadamente.

O leitor pode comprovar muito facilmente a eficiência do para-raio com a seguinte experiência. Em uma casa de brinquedo coloque um bico de Bunsen, de maneira que a sua ponta saia pelo telhado como se fosse uma chaminé. Acima do telhado coloque uma chapa metálica, ligada a um terminal de uma máquina eletrostática. Quando a máquina eletrostática funciona, a placa metálica se eletriza, e salta uma faísca da placa ao bico de Bunsen. Essa faísca acende o gás do bico de Bunsen, (fig. 35a). Depois adapte ao telhado da casa uma barra metálica (para-raio) em comunicação com uma torneira que, como sabemos, é ligada à terra. Agora a faísca saltará à barra metálica, e não mais ao bico de Bunsen, que não mais se acende (fig. 35-b).



Autor: Roberto A. Salmeron

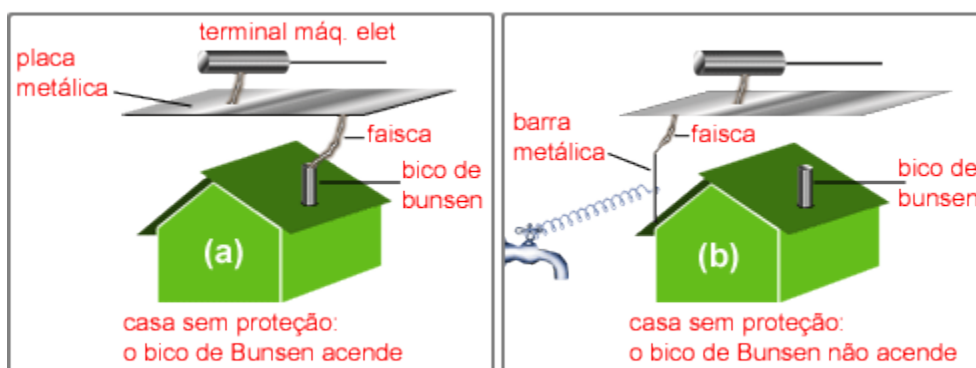


Figura 35

Em dias de tempestade, em uma casa não protegida por para-raios é muito perigoso ficar-se perto de lareiras e chaminés, porque são “captadores de raio”. Se, por desventura, o leitor um dia se encontrar em campo aberto em plena tempestade, lembre-se de que é mais garantido molhar-se muito do que ficar em baixo de árvores ou qualquer outra coisa que possa funcionar como um “para-raios” inoportuno.

7: Tensão eletrostática

A carga de um corpo eletrizado é constituída pela soma de um número muito grande de pequenas cargas de mesmo sinal. Essas cargas, sendo de mesmo sinal, repelem-se. Dessa repulsão entre as partículas resulta que uma porção qualquer da superfície ΔS do condutor está sujeita a uma força $\Delta \vec{F}$ de repulsão, exercida pelo restante do condutor. Ao quociente do módulo da força $\Delta \vec{F}$ pela área correspondente ΔS damos o nome de tensão eletrostática na área ΔS :

$$T = \frac{|\Delta \vec{F}|}{\Delta S}$$

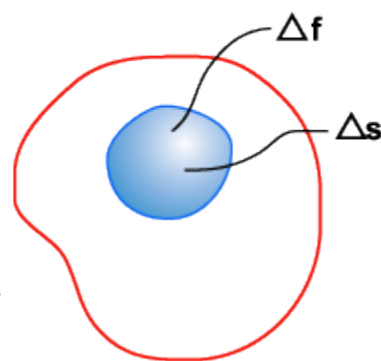


Figura 36

No próximo capítulo provaremos que, num ponto em que a densidade elétrica superficial é σ , a tensão eletrostática vale:

Autor: Roberto A. Salmeron

$$T = \frac{1}{\varepsilon} 2\pi\sigma^2$$

8: Nota histórica

Excetuando-se a Física Atômica e Nuclear, a Eletricidade é a parte mais nova da Física. Enquanto que a Antiguidade deu muitas contribuições à Mecânica e à Ótica, em Eletricidade a observação de Tales é a única de que temos notícia daquela época. Os antigos tinham o conceito de “raio luminoso, conheciam os fenômenos de reflexão e refração, os espelhos e as lentes: sabiam usar a alavanca, o plano inclinado, tinham já o conceito de centro de gravidade e conheciam alguma coisa de estática. Galileu, no único do século XVII lançou os fundamentos da Mecânica como ciência, e Newton, no início do século XVIII, completou a obra de Galileu, coordenando os três princípios fundamentais da Mecânica.

Para que o leitor tenha idéia de como a Eletricidade se desenvolveu tardiamente, vejamos as datas de descoberta de alguns fatos já estudados nos Capítulos I e II. A distinção entre condutores e isolantes foi feita por Stephen Gray em 1731 (4 anos depois da morte de Newton). A descoberta de que há eletricidade positiva e negativa foi feita em 1734 por Du Fay. A produção simultânea de eletricidades positiva e negativa foi observada quase na mesma época, 1747, por Watson e por Franklin. Em 1752, Franklin provou a origem elétrica do raio e do trovão. Finalmente, a lei de Coulomb, que marca o início da Eletricidade como ciência, foi descoberta em 1785. Por esses fatos citados o leitor pode observar que, quando as leis fundamentais da Mecânica já tinham sido estabelecidas, a Eletricidade estava ainda na sua “pré-história”.