

Relatório Final de F609



Sinos Eletrostáticos (de Franklin)

Aluno: Felipe Vallini (fvallini@ifi.unicamp.br)

Orientador: Newton C. Frateschi (fratesch@ifi.unicamp.br)

Co-orientador: David Figueira (dfigueir@ifi.unicamp.br)

Introdução:

Benjamim Franklin utilizou um aparato que mais tarde ficou conhecido como Sinos de Franklin, com o intuito de avisá-lo quando tempestades se aproximassem. Esse dispositivo foi inventado pelo cientista Andrew Gordon, professor de filosofia natural da Universidade de Erfurt, Alemanha, em 1742. Tal dispositivo foi o primeiro invento a converter energia elétrica em energia mecânica, onde um pêndulo, que era o badalo de um sino, oscilava entre dois sinos carregados [1]. Um exemplo deste dispositivo encontra-se na figura 1.

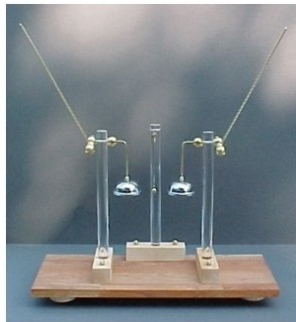


Figura 1: Um dos vários modelos de Sino de Franklin. Neste modelo os sinos não possuem badalo, e estão separados do pêndulo central por um isolante de vidro.

Para o uso de Franklin, um dos sinos (sem badalo) era conectado a uma ponta localizada no alto de uma chaminé em sua casa, enquanto que outro sino (também sem badalo) estava aterrado, ligado ao chão. Quando nuvens muito carregadas passavam sobre sua casa, elas carregam a ponta (na chaminé) que por sua vez fazia os sinos tocarem devido a um badalo condutor pendurado entre os sinos por um fio isolante.

A intenção de refazer este experimento, mesmo em condições diferentes da de Franklin, é mostrar alguns conceitos físicos básicos, tais como: eletrostática e indução elétrica em objetos condutores e conservação de energia elétrica em potencial gravitacional. Tudo isso será realizado utilizando um monitor como fonte de cargas, duas latas de refrigerante e um pêndulo de alumínio, conforme mostra o esquema da figura 2 [2].

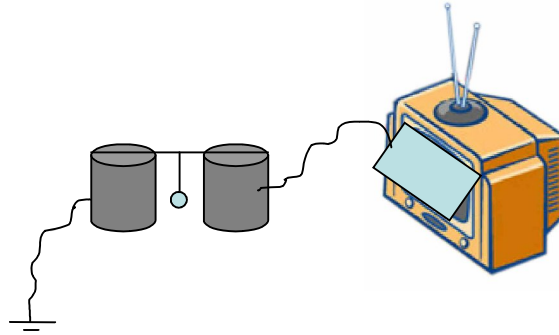


Figura 2: Experimento a ser realizado análogo aos sinos de Franklin, onde os sinos são substituídos por latas de refrigerantes, o pêndulo é de alumínio e a fonte de cargas é um televisor.

Mostraremos então uma pequena base teórica para analisar os modos possíveis de tratar este problema, seguindo para a montagem experimental, na qual anexaremos vídeos no relatório mostrando a operação do pêndulo, comentando acerca das dificuldades obtidas no decorrer da realização deste projeto.

Modelo Teórico:

Para começarmos a falar de força elétrica e de cargas, podemos fazer um análogo à gravitação, onde a massa de um corpo pode ser tratada como a carga de um corpo, com a diferença que as forças elétricas podem ser tanto repulsivas como atrativas, e a gravitacional é sempre atrativa. Essa diferença se dá porque a carga elétrica pode ser positiva ou negativa, conforme mostra experimento de Charles François du Fay em 1733, quando dois materiais eletrizados por um tecido repeliam-se ou atraíam-se para diferentes materiais, de forma que cargas de sinais opostos se atraem e cargas de sinais iguais se repelem.

Antes dessa descoberta, Stephen Gray descobriu em 1729 que alguns materiais permitiam a transmissão de cargas elétricas, enquanto que outros não [3]. Aqueles materiais que permitiam tais transferências de cargas passaram a ser chamados de condutores, e os que tendiam a reter as cargas passaram a ser chamados de isolantes.

Tratando-se de corpos condutores, um corpo é dito neutro por ter quantidades iguais de cargas positivas e de cargas negativas. Quando ele transfere cargas de um dado sinal para outro corpo, através de um processo qualquer de eletrização, ele fica carregado com carga de mesmo valor absoluto que foi induzida no outro corpo, porém com sinal contrário.

Existem diversas formas de realizar a transferência de cargas, como por exemplo, a eletrização por atrito, que é a mais conhecida. Neste experimento utilizaremos a indução eletrostática, onde inicialmente transferiremos cargas geradas por um monitor a uma folha de papel alumínio, conforme mostra a figura 3.



Figura 3: Folha de papel alumínio colocada sobre monitor e conectada por um fio a uma das latas.

Neste caso, o monitor apresenta uma diferença de potencial com relação à folha de papel alumínio. Esse potencial é criado em devido aos elétrons que bombardeiam o fósforo no visor de forma que a tela fica carregada negativamente. Essa diferença de potencial faz com que um campo elétrico induza cargas na superfície do papel alumínio, de sinais opostos às cargas da tela. Podemos dizer que pela indução eletrostática do papel alumínio devido à diferença de potencial, ele é atraído até o televisor [4]. Quando encosta-se ao visor, cargas de mesmo sinal da tela são induzidas no papel, que dessa vez é repelido.

A folha de papel alumínio está conectada por um fio a uma lata de alumínio, também condutora e neutra, portanto, teremos uma diferença de potencial que faz com que as cargas induzidas na folha de papel alumínio percorram o fio até se concentrarem na lata de refrigerante.

Entre as latas posicionamos um pêndulo condutor neutro de alumínio. Novamente teremos uma indução de cargas. Mas desta vez ela acontece entre o pêndulo de alumínio dependurado por um fio isolante entre as duas latas e a lata ligada ao papel alumínio. Novamente temos a indução como acima: as cargas na lata induzirão uma carga de polaridade oposta no pêndulo que é atraído até a lata. No momento do contato o pêndulo recebe as cargas da lata e é repelido. A partir deste ponto passaremos a tratar do movimento do pêndulo.

Descrição de um modelo parecido com este já foi realizada para um caso no qual o pêndulo permanecia suspenso e aterrado, e as latas estavam ligadas a um gerador de alta-voltagem, funcionando assim como placas de paralelas de um capacitor. Para este caso pode-se utilizar a conservação de energia potencial armazenada entre as placas de um capacitor em energia cinética [4]. Neste formato, o experimento pode nos dar dados como: capacitância entre as placas, podemos variar a distância entre as placas e observar mudanças no período de oscilação, dentre outros resultados.

Para a nossa montagem, basearemos no esquema da figura 4 para descrever o experimento, sendo que a direção positiva do eixo em questão é determinada da esquerda para a direita:

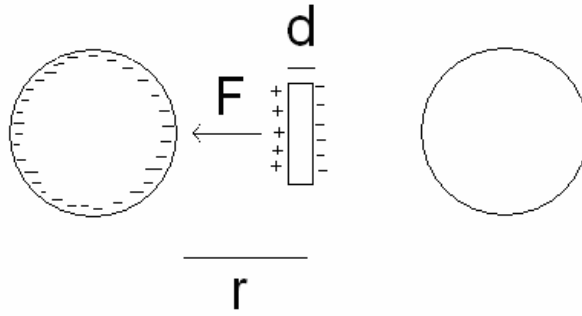


Figura 4: Um cilindro carregado por uma suposta densidade de carga linear que passa pelo seu centro e um disco circular de alumínio (placa vista de cima). A distância r é entre o disco e a superfície da lata e a distância d é entre as duas superfícies do pêndulo (disco de papel alumínio). O disco possui uma seção transversal A .

Supomos as latas como dois cilindros com densidade de carga uniformemente distribuída e muito maior do que a densidade de cargas no disco, com campo radial dado pela Lei de Gauss [5]:

$$\vec{E}_0 = -\frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0} \hat{x} \quad (1)$$

Resolvendo o sistema levando em conta uma lata (cilindro) de cada vez e um disco carregado disposto entre as duas latas conforme figura 4, teremos que a força no disco é dada por:

$$F = \sigma A E(r) \hat{x} - \sigma A E(r+d) \hat{x} = \frac{\sigma A \lambda}{2\pi \epsilon_0} \left(-\frac{1}{r} + \frac{1}{r+d} \right) \hat{x} \quad (2)$$

Onde σ é a densidade de carga no disco com área superficial A . A distância d é mostrada na figura 4. Como a distância r é a distância entre a lata e o disco circular e é dada em centímetros, enquanto que a distância d é a distância entre as faces do disco e é dada em micron, podemos fazer uma aproximação levando em conta que $d \ll r$:

$$F = \frac{\sigma A \lambda}{2\pi \epsilon_0} \left(-\frac{1}{r} + \frac{1}{r} \left(1 + \frac{d}{r}\right)^{-1} \right) \hat{x} = \frac{\sigma A \lambda}{2\pi \epsilon_0} \left(-\frac{1}{r} + \frac{1}{r} - \frac{d}{r^2} \right) \hat{x} = -\frac{\sigma A \lambda}{2\pi \epsilon_0} \frac{d}{r^2} \hat{x} \quad (3)$$

Sabendo quem o campo elétrico dentro de um condutor deve ser nulo, o campo externo devido a uma lata deve ser igual ao campo elétrico no interior do disco, o que nos dá uma relação entre a densidade de cargas no disco e em uma das latas:

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 r} \quad \rightarrow \quad \sigma = \frac{\lambda}{2\pi r} \quad (4)$$

Substituindo a expressão obtida em (4) na equação (3) obtemos a equação 5 cujo comportamento está descrito na figura 5:

$$F = -\frac{A \lambda^2}{(2\pi)^2 \epsilon_0} \frac{d}{r^3} \hat{x} \quad (5)$$

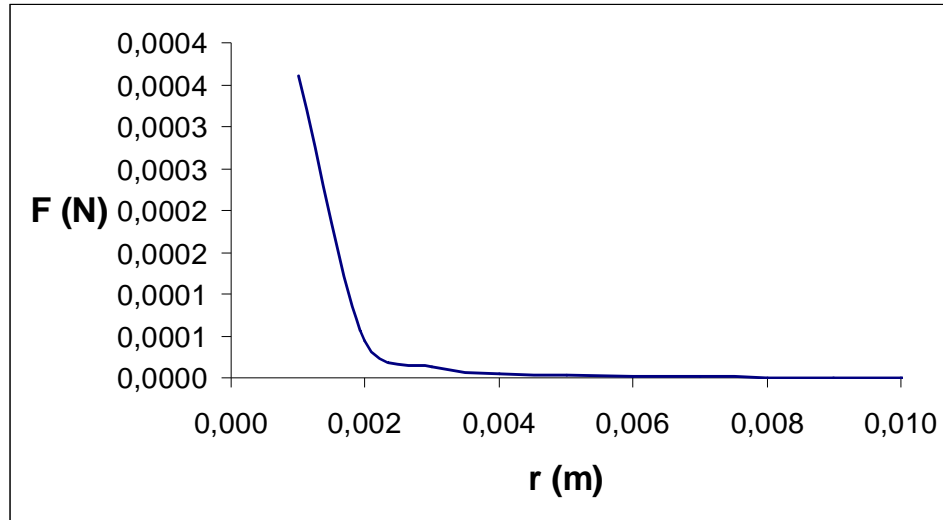


Figura 5: Gráfico da variação da força exercida sobre o disco (pêndulo) em função da distância entre o disco e a lata.

Analisando essa expressão temos que a força é maior para distâncias cada vez menores entre lata e pêndulo, o que era de esperar, apresentando uma indução cada vez maior com a diminuição da distância., obtendo um máximo quando o disco está a uma distância igual ao raio da lata. Para distâncias grandes a força é praticamente nula já que cai com a potência cúbica da distância.

Conseguimos então, obter de forma simples uma expressão que demonstra a atração eletrostática para nossa montagem. Passamos então para o experimento.

Montagem Experimental:

A figura 3 já mostra o início da parte da montagem experimental. Uma foto da montagem completa está na figura 4, com todas as alterações realizadas no projeto original.



Figura 4: Montagem experimental utilizando o monitor, as duas latas de alumínio, folhas de papel alumínio e um pequeno suporte de madeira.

Com relação à figura 4, a primeira modificação nítida são as latas de alumínio agora encapadas e com uma faixa de papel alumínio em volta delas. Antes de fazermos isso, descobrimos que as latas de alumínio não conduziam quase nada com toda a tinta sobre elas, o que explica o mau funcionamento da montagem anterior. Passamos então a lixar as latas ao seu redor, mas além de danificá-las muito facilmente, o alumínio oxidava muito rápido e a lata tinha que ser limpa após certo período de tempo. Para evitar isso, apenas encapamos as latas com papel, o que dá uma aparência melhor à montagem e colocamos uma fita de papel alumínio ao redor dela (não há necessidade de encapar a lata inteira). A fita mostrou-se melhor do que a lata inteira por fazer com que haja uma densidade de cargas maior.

Feito isso, medimos com um voltímetro a voltagem ao ligarmos o monitor, com um ponto no conector vindo do papel alumínio sobre o monitor e ligado a uma das latas e o outro ligado ao terra, e obtivemos uma diferença de potencial de 243V.

Para o pêndulo, no projeto inicial, pretendíamos utilizar um pêndulo em formato esférico, o qual seria mais fácil para uma possível caracterização do sistema, porém diversos problemas surgiram para fazer esse pêndulo. Os objetos esféricos circulares que poderiam ser utilizados como pêndulos eram muito pesados, e por experiência com o pêndulo do relatório parcial, nosso sistema não conseguiria fornecer energia para seu deslocamento. Outra tentativa foi fazer uma pequena esfera com papel alumínio, porém é difícil conseguir fazer uma esfera “perfeita” apenas amassando o papel. Muitas pontas restavam, o que deve ter gerado efeitos de borda e não permitiu o movimento do pêndulo, além de continuarmos com algo pesado para a energia que possuímos. A última tentativa, a qual funcionou, e foi demonstrada teoricamente no item anterior, fazendo sentido físico para nossa interpretação, foi fazer um pêndulo em formato de um disco circular como o da figura 5.



Figura 5: Pêndulo plano em formato circular feito com uma folha de papel alumínio.

Esse formato possibilitou um pêndulo com massa pequena, que foi colocado conforme mostra a mesma figura 5, preso em duas extremidades para tentar diminuir a movimentação do pêndulo em uma direção, o deixando oscilar apenas no eixo que liga as duas latas.

Uma última alteração foi a utilização de um computador. Neste caso, o movimento do pêndulo ocorria ao ligarmos o monitor, o que carregava o papel alumínio, ocorria novamente quando o papel alumínio descarregava, e mais uma vez quando desligamos o computador, o que pode ser explicado como um elemento de desmagnetização do monitor.

Mais um detalhe importante do experimento é que após as oscilações do pêndulo ele deve ser neutralizado para sua distribuição de carga não influir no movimento dele. Além disso, dependendo do ambiente onde o experimento é realizado pode ocorrer pouca ou nenhuma movimentação do pêndulo, por motivos de umidade que descarrega os corpos [6].

Em anexo incluiremos dois vídeos do aparato em funcionamento, um para o monitor ligado e outro para ele desligado.

Conclusão

Apresentamos aqui modelo simples para descrever o aparato experimental utilizando de conceitos básicos de eletromagnetismos e algumas aproximações para possibilitar a descrição do processo, mostrando que as forças eletrostáticas são realmente fracas para grandes distâncias.

Já na parte experimental, mesmo não conseguindo obter resultados quantitativos do sistema, construímos um aparato simples e barato que permite aos alunos do ensino médio observar a conservação de energia elétrica em energia mecânica, descrever a indução de cargas, além de demonstrar que existem cargas concentradas na tela de um televisor ou em um monitor.

Referências

- [1] <http://www.arcsandsparks.com/franklin.html> (acessado em 04 de junho de 2007).
- [2] <http://scitoys.com/scitoys/scitoys/electro/electro4.html> (acessado em 04 de junho de 2007).
- [3] http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-47442002000300013&script=sci_arttext (acessado em 04 de junho de 2007).
- [4] Krotkov RV, Tuominen MT, Breuer ML; ["Franklin's Bells" and charge transport as an undergraduate lab](#); AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS 69 (1): 50-55 JAN 2001.
- [5] *Fundamentos de Física*, volume 3, Halliday, Resnick and Walker, sexta edição, Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro.
- [6] <http://ciencia.hsw.com.br/geradores-van-de-graaff1.htm> (acessado em 04 de junho de 2007).

O meu orientador, Prof. Newton Cesário Frateschi realizou os seguintes comentários:

O relatório me pareceu bem escrito descrevendo de forma bastante prática e fiel o experimento. O aluno desenvolveu um modelo simples, mas que permite melhorias para a continuação do projeto. De forma geral, como um primeiro tratamento do problema, me pareceu muito bom.



[How to Order](#)



PV Scientific Instruments



[Contact Us!](#)

Franklin's Bells (Gordon's Bells)

[About Static Machines](#)

[About Leyden Jars](#)



Electrostatic bells like these are often referred to as Franklin's Bells, after the eminent American scientist Benjamin Franklin, who installed them in his house to warn him of approaching thunderstorms, as is recorded in a famous portrait of Franklin observing his set of electrostatic bells as a thunderstorm raged outside. This electrostatic device actually was invented in about 1742 by Andrew Gordon, Professor of Natural Philosophy at the University at Erfurt, Germany. Gordon's Bells constituted the first device that converted electrical energy into mechanical energy in the form of continuous mechanical motion, in this case, the moving of a bell clapper back and forth between two oppositely charged bells.

Franklin made use of Gordon's idea by connecting one bell to a pointed rod attached to his chimney and a second bell to ground. This pointed rod discharged electrical energy from heavily charged passing clouds that would cause Franklin's set of Gordon's Bells to ring. Franklin's use of Gordon's Bells for storm detection is extremely dangerous and therefore PV Scientific strongly warns experimenters not to try to replicate it, but our model of Gordon's Bells can be safely demonstrated as an energy conversion device using either a Wimshurst Static Electric Generating Machine or a Van de Graaff generator instead of a charged cloud as the source of static electricity.

Our model of Gordon's Bells provides a simple yet marvelous demonstration of the Law of Conservation of Energy that can be understood easily by science students of all ages. First, a static generating machine is connected to the instrument so that one of the two bells receives a positive charge and the other receives a negative charge. Suspended between the two bells is a bell clapper, which receives an induced electrostatic charge from one of the bells, to which it is attracted. The clapper swings toward the attracting bell until they touch, the bell chimes, and the clapper takes on the same charge as the bell. Because like charges repel each other, the clapper immediately is electrostatically repelled away from the first bell and, because opposite charges are attracted to each other, the clapper is electrostatically attracted to the opposite bell. When the clapper rings the second bell, the clapper takes on the charge of the second bell, is repelled by it, and then returns to ring the first bell. The process keeps repeating as long as opposite electrostatic charges reside on the two bells.

Collector's Model: \$445 plus shipping.
(For price quotes on museum, traveling exhibition, and theatrical models, please call us at **607 387-6752.**)

A high voltage motor in 5 minutes

This toy is so simple to build, it goes together in 5 minutes from a few things found around the house.

Click on the photo to see an *animated* picture

The toy is a high voltage motor that acts like a bell, with a clapper that bangs furiously from one can to the other and back again, sometimes several times per second.

Occasionally, the big blue spark snaps between the cans, to add interest to frenetic activity.

To build the toy, you need:

- Two empty soda cans.
- A plastic rod such as a ball-point pen.
- 5 inches of sewing thread.
- A couple square feet of aluminum foil.
- Cellophane tape.
- Two wires (alligator test leads work great).
-

The photo may be all you need to get the toy working.

Remove the pull-tops from both cans, and discard one of the pull-tops.

Tie the thread to the other pull-top. Tape the other end of the thread to the center of the plastic rod.

Place the two cans side-by-side two or three inches apart.

Place the plastic rod on top of the two cans, so the pull-tab dangles freely about an inch from the table.

Tape the bare end of one wire to the left can. This is the ground wire, and the free end should be connected to an electrical ground, such as a cold water pipe, or the metal frame of a computer. If a good electrical ground is not convenient, you can just hold onto the free end, since your body is a good enough ground for this device.

Tape the other wire to the can on the right. Its free end will be connected to a source of high voltage. This is easier than it sounds, since a safe source of high voltage is right in front of you when you watch television or use a computer with a CRT monitor.

In the photo above, you can see that the toy is sitting on top of a television. About two square feet of aluminum foil is pressed onto the face of the TV screen. It sticks there because the TV screen is highly charged with electricity. The free end of the right can's wire is attached to the aluminum foil.

You start the toy by turning on the TV. The pull-top gets pulled to one can, but when it hits it, it gets pulled to the other can, and then repeats.

How does it do that?

Inside a television, a high voltage is used to send electrons to the screen at high speed, to create the picture. By placing a large conductor on the front of the screen, we can make a capacitor, to tap into

some of that high voltage and put it to use outside of the television. The voltage is high, but the current is very small, so that touching the foil or the toy is no more harmful than touching a doorknob after scuffing your feet on the carpet.

The can on the right is connected to the high voltage. The can on the left is connected to the ground, which can absorb all of the voltage we can send it, and still be ready for more.

The pull-tab and the can on the left starts out without any electrical charge. We say they are at "ground potential".

The can on the right is charged with a lot of free electrons, from the foil on the TV screen. These electrons repel the electrons in the pull-tab, and attract the positive nuclei in the pull-tab.

The electrons in the pull-tab move to the side farthest from the high voltage can on the right. This leaves the right side of the pull-tab more positive than the left side. The positive side of the pull-tab is attracted to the highly negative can on the right, and the pull-tab jumps over to touch the can on the right.

Once it touches the can, the electrons from the can rush onto the pull-tab, until it has the same high voltage charge as the can it is touching. The pull-tab and the can now have the same charge, and like charges repel. The charged pull-tab is now repelled by the can on the right, and moves to the left.

The electrons in the can on the left are repelled by the pull-tab, and they move to the left side of the can, leaving the right side somewhat positive. This positive side attracts the negatively charged pull-tab, and draws it up to touch the can.

Now the excess electrons on the pull-tab move onto the left can, and into the ground. The pull-tab is now at ground potential again. It swings back towards the can on the right, and the whole process starts over again.

A fancier version

The device we have just built is called "Franklin's Bells", after a description of the device given by Benjamin Franklin, who used it to detect the approach lightning storms. He connected one end to his lightning rod on top of the house, and the other end to an iron water pump well connected to the ground.

Of course Ben didn't use soda cans. He used bells.

Click on the photo to see an *animated* picture

I built a pretty version with bells and set it up on top of the TV just like our first version.

Click on the photo to see a larger picture

I left the clappers on the bells, even though they no longer serve any purpose. The bells are connected to the aluminum foil and the ground by thin copper wires you can just barely see in the photo.

The [bells](#) are from a craft store. The [clapper](#) is one of the small round bells called "jingle bells".

Rev. Bras. Ens. Fis. vol.24 no.3 São Paulo Sept. 2002

doi: 10.1590/S0102-47442002000300013

As Origens Históricas do Eletroscópio

(The Historical Origins of the Electroscope)

Alexandre Medeiros

Departamento de Física e Matemática,

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE

Recebido em 2 de abril, 2002. Aceito em 19 de julho, 2002.

Este trabalho parte do fato de que o ensino da Eletrostática tem se afastado da fenomenologia que lhe deu origem. Investigando-se a história dos eletroscópios, tenta-se mostrar como algumas idéias tão importantes quanto as de carga, potencial e capacidade elétrica tiveram suas origens ligadas ao uso de um tal instrumento. Para além dos importantes detalhes históricos assinalados, a história do eletroscópio revela também algo de inquestionável valor filosófico no ensino da Física: a extensão na qual as observações dos fenômenos elétricos sempre estiveram carregadas de pressupostos teóricos.

This paper starts from the fact that the teaching of electrostatics is becoming increasingly apart from the phenomenology in which it roots. Investigating the history of electroscope we try to show how some ideas as important as charge, potential and electric capacity had their origins linked to the use of such an instrument. Beyond the assigned important historical details, the history of electroscope can also reveal us something of unquestionable philosophical value in the teaching of physics: the extent to which the observation of electrical phenomena were always theoretically laden.

I Introdução

O ensino da eletrostática tem sido caracterizado por um crescente afastamento da fenomenologia que envolve este ramo da Física. De fato, analisando-se os livros textos mais antigos, pode-se encontrar um número bem maior de referências a experimentos fundamentais e aos detalhes de funcionamento de certos instrumentos básicos, dentre eles o eletroscópio e o eletróforo. Em lugar de iniciar com o estudo de uma fenomenologia macroscópica observável e a partir dela construir um conhecimento que chegue à natureza microscópica da matéria, os textos mais recentes partem já, de modo postulativo, da natureza atômica da matéria (Scaricabarozzi, 1983; Medeiros & Lima Jr, 2000). Isso é algo paradoxal, pois os experimentos eletrostáticos estão entre os mais utilizados em museus de ciência, principalmente por alguns dos seus muitos efeitos espetaculares. Este tal descuido, no ensino escolar, em relação às bases observacionais e conceituais da eletrostática traz conseqüências danosas para o ensino e a aprendizagem da eletrostática, fazendo com que os estudantes sejam simplesmente treinados segundo o credo de uma teoria que não conseguem perceber de onde surgiu.

II O Eletroscópio no Ensino da Eletrostática

Relegados a um segundo plano nas abordagens de ensino mais recentes, estes instrumentos eletrostáticos têm sido vistos, geralmente, como artefatos tão simples que pouco teriam a oferecer numa sala de aula. A trivialização desses instrumentos carrega, contudo, um enorme equívoco. Instrumentos de aparências singelas, como um eletroscópio, por exemplo, encerram em suas próprias construções um arsenal de conceitos físicos fundamentais, cuja discussão muito poderia contribuir para uma melhor compreensão da eletricidade. Tome-se, por exemplo, o fenômeno da eletrização por atrito, discutido comumente de forma extremamente superficial nos livros-texto e nas aulas de Física. Deixa-se de lado, por exemplo, uma análise das condições necessárias para que um processo de atrito possa efetivamente ocasionar uma eletrização (Ainslie, 1967). Não se discutem também, numa etapa mais avançada do curso, quaisquer evidências observacionais que possam evidenciar que a eletrização por atrito depende do potencial de contato (Anderson, 1936). Assim sendo, fica a impressão errônea de que um qualquer atrito faz que uma determinada substância adquira sempre o mesmo tipo de eletrização, a despeito do outro material com o qual tenha sido atritada (Plumb, 1971). Nessas condições, o importante estudo da

triboeletricidade é completamente deixado de lado, em detrimento das conseqüências nefastas que daí possam advir para a aprendizagem da eletricidade.

Além das questões atinentes à eletrização por atrito, igualmente o fenômeno da indução eletrostática pode ter suas características evidenciadas por uma análise cuidadosa do funcionamento do eletroscópio. Os efeitos inusitados, relacionados à indução eletrostática, que podem ser demonstrados com o auxílio de um eletroscópio, são uma fonte inesgotável de questionamentos a serem debatidos com os estudantes em sala de aula (Spencer, 1958; Jefimenko, 1979). Trabalhos recentes têm evidenciado que atividades experimentais com eletroscópios e eletróforos podem contribuir decisivamente para que os estudantes explorem, de forma construtiva, os conceitos de indução eletrostática e o significado do aterramento (Stewart & Gallai, 1998).

Apesar de um tanto relegado pelos livros-texto mais recentes, muito tem sido escrito sobre as possibilidades experimentais dos eletroscópios, sobre suas potencialidades educacionais, suas limitações e sobre modificações interessantes a serem introduzidas na sua confecção (Myers, 1990; Edge, 1984; Davies, 1974; Siddons, 1979; Ohriner & Machtinger, 1969; Steenson, 1975).

Por outro lado, o estudo do desenvolvimento histórico do eletroscópio pode revelar toda uma história de construção de conceitos da eletricidade, como também possibilitar a apreciação do papel por ele desempenhado na criação da Física atômica (Roller & Roller, 1953; Siddons, 1983). O desenvolvimento de estratégias de ensino, convenientemente relacionadas às demonstrações com eletroscópios em sala de aula, pode, por outro lado, propiciar a discussão de idéias sobre a própria natureza da observação, colocando as descobertas nos seus contextos respectivos históricos e auxiliando a relacionar o conhecimento científico com as suas aplicações práticas (Engelmann, 1983).

O propósito deste trabalho consiste em buscar as raízes históricas do eletroscópio de forma a explicitar com maior clareza o quanto as relações teoria-experimento estiveram intrinsecamente ligadas na construção dos conceitos embutidos na concepção de um tal instrumento.

III Metodologia

Seguindo os contornos de uma pesquisa histórica, fundada numa preocupação nitidamente educacional, procurou-se construir um quadro geral de informações a respeito da criação e do desenvolvimento do eletroscópio baseado parcialmente em algumas fontes primárias como o *De Magnete*, de Gilbert, a histórica obra de Sigaud de la Fond e outros vários textos originais reproduzidos por Maggie em seu influente *A Source Book in Physics*. Foram, igualmente, utilizadas várias fontes secundárias de reconhecido valor acadêmico, devidamente apontadas na bibliografia deste trabalho. O eixo interpretativo das informações coletadas esteve sempre voltado para a explicitação das cargas teóricas presentes nos experimentos realizados e na explicitação dos pressupostos presentes na construção dos novos conceitos como a condução elétrica, a tensão e a indução eletrostática. Desta forma, foi possível identificar, com certa nitidez, as construções dos significados atribuídos pelos diversos personagens envolvidos na história tratada numa vertente metodológica semelhante àquela adotada por Nercessian (1984).

No seio desta investigação residia a firme convicção de que poucas coisas são mais importantes no ensino e na aprendizagem da Física do que uma compreensão da complexa relação entre teoria e experimento (Franklin, 1990).

Assim sendo, o caminho interpretativo das informações coletadas seguiu a linha de um estudo de caso histórico, no qual o mergulho em profundidade na análise das questões colocadas sobrepuja quaisquer preocupações com a abrangência das conclusões dali retiradas (Conant, 1957).

IV A Evolução Histórica do Eletroscópio de Gilbert a Coulomb

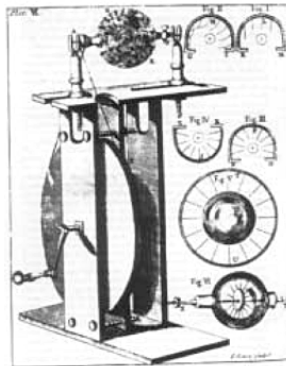
A maior parte dos instrumentos de medidas da eletricidade foi desenvolvida após 1770. Ao final do século XVIII, existiam vários modelos desses instrumentos, obedecendo a diferentes concepções, dentre os quais destacavam-se as balanças, os eletroscópios e os eletrômetros. Os eletroscópios e os eletrômetros recebiam, respectivamente, essas denominações, conforme estivessem destinados a uma simples avaliação do estado de eletrização dos corpos ou a uma medida mais efetiva desse mesmo estado. Para efeitos práticos, um eletrômetro nada mais é que um eletroscópio provido de uma escala, pelo que a denominação "eletroscópio", será utilizada, neste artigo, de uma forma abrangente. De início, não estava claro se aquilo que podia ser avaliado com os eletroscópios era, de fato, a carga acumulada ou algo mais complexo relacionado ao tal estado de eletrização do instrumento. A evolução histórica dos conceitos veio a esclarecer esta questão ao compreender-se que o eletroscópio, efetivamente, avaliava o que viria a ser denominado, posteriormente, de

potencial elétrico. Esta, no entanto, não é uma questão simples, e muitos livros-texto, ainda nos dias atuais, permanecem afirmando, equivocadamente, que o afastamento entre as folhas de um eletroscópio é uma medida da quantidade de carga acumulada nas mesmas. Os principais motivos propulsores do desenvolvimento dos eletroscópios foram as investigações da eletricidade atmosférica e as tentativas de medir o rendimento das máquinas eletrostáticas. Por muito tempo, após a época de Gilbert (1544-1603), a eletricidade havia sido produzida apenas pelo atrito de pedaços de âmbar, vidro ou enxofre com materiais como as roupas do pesquisador ou mesmo com as suas próprias mãos. Ainda no século XVII, no entanto, foi criado um novo modo de eletrizar mais vigorosamente os corpos: a máquina eletrostática. Idealizada originalmente por Otto von Guericke, ela consistia, inicialmente, em uma simples bola de enxofre, com um eixo central, montada numa armação de madeira, de modo que podia ser facilmente posta a girar em torno deste eixo. A eletrização era obtida originalmente pelo atrito contínuo das mãos contra a esfera, processo esse que seria, posteriormente, aperfeiçoado com o uso de pedaços de lã. Essa primitiva máquina de atrito foi sucessivamente aperfeiçoada, durante todo o século XVIII, por indivíduos como Hauksbee, Musschenbroek, Nollet, Tibérius Cavallo, Beccaria, Canton, Priestley, Franklin, Nairne, Marinus van Marum, e muitos outros. A importância e efeitos no desenvolvimento da eletrostática foi enorme e não deve jamais ser subestimada. Uma análise, porém, dos detalhes e princípios de seu funcionamento está fora do escopo deste presente trabalho, podendo, entretanto, ser encontrada em algumas obras aqui referenciadas (Hackmann, 1978; Dibner, 1957; Thompson, 1895).



Versorium de Gilbert.

Apesar do sucesso alcançado pelas máquinas eletrostáticas no século XVIII, as tentativas feitas à época para produzir padrões de medidas das eletrizações, assim como a busca de técnicas padronizadas para efetuar tais medidas, não obtiveram, de início, o êxito esperado. O principal motivo deste insucesso foi a falta de uma clareza, à época, acerca da totalidade dos fatores envolvidos que influenciavam o funcionamento daqueles instrumentos. Os conceitos físicos envolvidos não haviam sido ainda devidamente identificados (Hackmann, 1978). *"A quantificação da teoria física pressupõe a existência de conceitos apropriados, expressáveis matematicamente, e simples de serem testados e medidos. O coração do processo está na construção dos conceitos. Como mostra o sofrido aparecimento da noção de carga localizada, mesmo os conceitos mais simples podem ser muito difíceis de serem encontrados. A quantificação efetiva da eletrostática requereu, além do conceito de uma carga isolada (Q), os conceitos de capacidade (C) e de potencial (V), assim como a redução das forças macroscopicamente mensuráveis, a forças microscópicas, assumidas como atuando entre os elementos de carga elétrica. Esses ingredientes já estavam à mão por volta do final dos 1780"* (Heilbron, 1982, p. 218).



Máquina eletrostática de Hauksbee.

Por longo tempo, havia ocorrido um descompasso entre as necessidades de avanços na questão das medidas elétricas e uma melhor compreensão das quantidades a serem medidas. Uma retrospectiva histórica dos melhoramentos introduzidos nos instrumentos de medidas elétricas pode dar uma idéia do quanto o aperfeiçoamento de tais artefatos estava ligado ao desenvolvimento conceitual na eletricidade.

O mais antigo eletroscópio foi o "*versorium*", de Gilbert, ilustrado em seu livro "De Magnete" (1600), que consistia de uma agulha montada num pivô, lembrando uma bússola. Gilbert foi um dos pioneiros nas investigações dos fenômenos elétricos e na identificação de uma natureza própria para a eletricidade, distinta do magnetismo. A agulha do *versorium* era feita inicialmente de um metal claro, não magnetizado, equilibrada em um pino colocado no ponto central da mesma. Em outras versões do *versorium*, Gilbert substituiu a agulha metálica por um pedacinho de palha. O *versorium* permitiu a Gilbert a realização de estudos muito mais sensíveis que aqueles feitos até então pelos seus antecessores, como Petrus Peregrinus e Robert Norman. Gilbert investigou várias substâncias que atraíam a palha, compilando uma lista enorme de materiais que poderiam ser eletrificados por atrito, denominando-os de "*elétricos*". Ele notou, ainda, que a atração elétrica diferia da magnética pelo fato de que não havia nenhum pólo nos objetos eletrificados (Gilbert, 1958). Com a construção do novo conceito de materiais "*elétricos*", a eletricidade deixou de ser vista como sendo uma propriedade de um único corpo, ou de um certo par de corpos, para passar a ser encarada como uma propriedade de vários corpos na natureza.

Otto von Guericke, ainda no século XVII, e Stephen Gray, já no século XVIII, utilizaram penas de aves para indicar as eletrificações. Um outro precursor do eletroscópio foi o método rudimentar, inventado por Francis Hauksbee, ainda em 1705. Tal método consistia na utilização de vários pedaços de linha suspensos, lado a lado, na extremidade de uma barra cilíndrica de vidro ou na superfície interior de uma esfera oca, igualmente de vidro, de tal modo que as linhas ficavam penduradas para baixo com suas extremidades afastadas, aproximadamente, uma polegada do vidro. Quando o vidro era eletrificado por atrito, as linhas reordenavam-se passando todas a apontarem radialmente em direção ao mesmo. Os vários experimentos realizados por Hauksbee com as linhas orientadas eletricamente estimularam as discussões sobre os "eflúvios" ou emanções da virtude elétrica. (Gamow, 1988; Home, 1992).



Stephen Gray & Desaguliers_ experimento de condução.

Elaborando a idéia de Hauksbee, de utilizar várias linhas dependuradas, Stephen Gray utilizou, já na década dos 1740, um único par de linhas de seda ou um par de penas, para avaliar, através da divergência angular entre elas, as intensidades das eletrizações produzidas. O conhecido eletroscópio pendular de bolinha de sabugueiro tem, portanto, sua origem nas linhas dispostas por Hauksbee em seus tubos e globos de vidro, assim como nas penas e nas linhas dependuradas por Stephen Gray nos seus condutores metálicos. Mantendo uma pena pendurada próximo à extremidade de um tubo metálico, cuja outra extremidade tocava num globo de vidro eletrizado, Gray constatou que a pena era atraída em direção ao tubo e logo após repelida, ao tocar no mesmo (Leon, 1988). O processo de detecção da eletricidade, com a utilização de linhas, utilizado por Gray foi descrito pela primeira vez por Wheeler, um amigo e colaborador nos seus experimentos. Os experimentos de Gray consistiam em tomar um corpo eletrizado e tocá-lo com outros corpos bastante extensos, como barras e fios, observando, com seu eletroscópio rudimentar, em que condições os efeitos elétricos apareciam ao longo de tais corpos extensos. Esses experimentos contribuíram para a descoberta da condução da eletricidade. Pensando na eletricidade como um fluido, Gray observou que ela viajava através de alguns corpos e não de outros. Rejeitou, assim, os velhos conceitos de "*elétricos*" e "*não elétricos*", introduzidos por Gilbert, isto é, aqueles corpos, respectivamente, que geravam e aqueles que

não geravam eletricidade. Gray passou a adotar, então, uma distinção entre os corpos que conduziam a eletricidade (os antigos *não elétricos*) e os que a isolavam (os antigos *elétricos*), denominando-os respectivamente, de condutores e isolantes.

Essa não é uma questão meramente semântica, como pode parecer à primeira vista, mas carrega, em verdade, uma nova conceituação sobre a própria natureza da eletricidade. Com Gray, a eletricidade deixa de ser vista, simplesmente, como uma "*virtude*" que podia ser transmitida, para ser tida como algo substancial que podia viajar através da matéria. A própria existência independente da eletricidade é que estava sendo conceitualmente construída nessa nova denominação. (Canby, 1966; Anderson, 1968; Bernal, 1973).

A moderna filosofia da ciência assinala que as observações são carregadas de pressupostos teóricos. A história da eletricidade fornece ótimas ilustrações de uma tal assertiva. Confrontem-se, por exemplo, as observações de Guericke com as de Gray a respeito da natureza da eletricidade e da existência ou não de um fluxo elétrico. É essencial perceber que a imagem de algo fluindo corresponde à construção de um novo modelo mental que deu novos rumos ao estudo da eletricidade. Para que se tenha uma idéia da importância de uma tal construção conceitual e da sua interferência naquilo que poderia ser observado, bastaria mencionar que Guericke, ainda no século XVII, havia feito alguns experimentos com a sua máquina eletrostática, semelhantes aos que viriam a ser realizados por Gray no século seguinte, sem, contudo, realizar as mesmas observações. Guericke, efetivamente, observara que objetos eletrificados podiam transferir parte da sua "*virtude elétrica*", ou seja da sua "*capacidade de atrair*", denominada de "*carga*", para outros objetos não eletrificados. Com uma bola de enxofre Guericke conseguiu carregar uma outra, mas não deduziu daí, ou seja, "não observou" a "condução elétrica", o fluxo de eletricidade, pois a eletricidade não era reconhecida como algo concreto, que tivesse uma existência independente. O modelo mental de Guericke da "*eletricidade como uma virtude*", uma "*vis*", permitia-lhe observar apenas que uma bola tocada por outra já eletrizada ganhava a referida *virtude elétrica*, mas ele não conseguia imaginar nada passando entre elas, não observando, assim, nenhuma condução elétrica.



Franklin - pêndulo eletrostático e sua máquina elétrica.

Certamente, mesmo para Gray, ainda não parecia claro aquilo que estava sendo medido com a deflexão angular entre as linhas de seda (Heilbron, 1982). Gray, no entanto, teve um "*insight*" que viria a frutificar em trabalhos posteriores aos seus: a eletricidade não parecia preencher todo o corpo dos "*não elétricos*" (condutores, em nossa terminologia moderna). Tomando-se dois cubos de carvalho, de mesmas dimensões, um cheio e um outro oco, carregados da mesma maneira, podia-se observar que causavam deflexões idênticas entre as linhas de seda. Olhando de um ponto de vista mais recente, pode-se perceber que Gray estava diante do que poderia ser interpretado, atualmente, como uma evidência de que os potenciais eletrostáticos dos dois cubos eram idênticos e de que, em última instância, a informação fornecida pela deflexão das linhas pode, efetivamente, ser associada a este potencial. Nada disso, no entanto, foi observado por Gray. Faltou-lhe a ferramenta teórica do conceito de potencial para que algo desse tipo pudesse vir a ser observado. Assim como faltara a Guericke a idéia da eletricidade como algo com uma existência independente, e não apenas como uma virtude, para poder observar o fenômeno da condução elétrica, faltou a Gray o conceito de potencial para que pudesse observar o que mediam as deflexões entre as linhas de seda nos fenômenos por ele estudados. Esta complexa imbricação teoria-observação, na análise de um fenômeno, é uma das coisas mais importantes para aqueles que ensinam Física. Afinal, de acordo com o sentido grego da palavra, "*fenômeno é aquilo que pode ser visto*".

À mesma época, François Du Fay utilizou, na França, o mesmo esquema de linhas indicadoras de Gray nos seus experimentos, e isso o levou a formular a idéia da existência de dois tipos diferentes de fluidos elétricos. Benjamin Franklin, por seu lado, em seus

influentes estudos sobre a eletricidade, adotaria um sistema semelhante ao de Gray para avaliar eletrizações. Tais estudos conduziram Franklin, porém, ao modelo de um único fluido elétrico, em oposição ao modelo de dois fluidos elétricos proposto por Du Fay. Franklin usaria, também, como indicador de eletrização, o comprimento da centelha produzida, por exemplo, por uma garrafa de Leiden, ao ser descarregada.

As primeiras tentativas concretas de construção de instrumentos para medirem as eletrizações, os eletroscópios, são efetivamente dessa época. Dentre tais tentativas destacam-se os trabalhos dos franceses d'Arcy e Le Roy. Em 1752, o abade Nollet, assistente de Du Fay e responsável pela educação da família real francesa, adotou um sistema, muito semelhante ao de Gray, que consistia em dois fios suspensos a partir de um mesmo ponto e que formavam entre si um determinado ângulo ao serem carregados. Nollet acrescentaria, logo depois, ao método das linhas de seda criado por Gray, uma escala circular (uma espécie de transferidor) e um sistema ótico de projeção, produzindo, assim, o primeiro eletrômetro do qual se tem conhecimento. Seu aparelho, no entanto, apresentava ainda, assim como o sistema de Gray, sérios problemas de fuga da eletricidade e não era, deste modo, um aparato sensível.

Giovanni Beccaria, um importante físico de Turin, interpretou as deflexões entre as linhas de seda de um modo diferente. Em vez de tomar o ângulo de deflexão α , como de costume, para indicar a força elétrica, tomou o seno como uma medida desta mesma força. Considerando-se que o ângulo formado entre a força elétrica e o deslocamento horizontal da lâmina é o complemento do semi-ângulo de deflexão $\alpha/2$, pode-se notar o quanto próximo esteve Beccaria de enfatizar a decomposição de tal força elétrica naquela direção horizontal: $F \cos \alpha/2$. Embora o conceito de trabalho mecânico não estivesse ainda estabelecido, o que viria a se dar apenas a partir do início do século XIX (Harman, 1985), as peças necessárias para o desenvolvimento da idéia de trabalho realizado pela força elétrica e a energia potencial a ele associada já começavam a surgir em tais experimentos. Avizinhava-se, portanto, o esclarecimento do que estaria, efetivamente, sendo medido pelo eletroscópio.

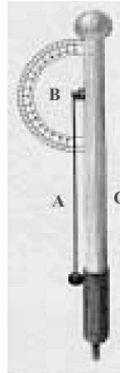
Beccaria, além disso, preocupado com as questões ligadas à eletricidade atmosférica, repetiu o célebre experimento da pipa, realizado anteriormente por Franklin, inventando, em conexão, um novo instrumento de medida. Seu aparelho consistia em dois fios pontiagudos, um deles ligado à extremidade inferior de um alto condutor metálico, mantido na vertical, enquanto o outro era aterrado ao chão. No espaçamento entre as extremidades pontiagudas dos dois fios eram produzidas centelhas. Colocando-se uma tira de papel, movida por um mecanismo de relojoaria, entre essas extremidades, obtinha-se uma marcação dos furos provocados pelas centelhas. O tamanho e a frequência desses furos forneciam um registro gráfico da atmosfera elétrica acima do instrumento (Dibner, 1957).

Richmann introduziu no eletroscópio de linhas um condutor fixo em lugar de uma das linhas, e passou a ler $\alpha/2$ numa escala em formato de quadrante. As perdas e a imprecisão do método de linhas foram minimizadas com o aperfeiçoamento introduzido por John Canton, em 1754 (Wightman, 1951). Atento ao "*poder das pontas*", evidenciado pelo pára-raios de Franklin, Canton colocou pequenas bolinhas de sabugueiro envelhecido, ou cortiça, nas extremidades das linhas, reduzindo, assim, consideravelmente as fugas e aumentando, a sensibilidade do aparelho, tornando-o assim mais útil e mais confiável (Bauer, 1960). Uma mudança, aparentemente tão simples, carregava, em verdade, a motivação de uma nova abordagem conceitual, já vislumbrada por Gray nos experimentos com os blocos de carvalho, acima descrita. Os aperfeiçoamentos introduzidos por Canton no eletroscópio permitiram-lhe investigar a natureza da indução eletrostática, constatando que a aproximação de um corpo carregado de um condutor neutro induzia o aparecimento do tipo oposto de carga no lado do corpo neutro mais próximo do corpo originalmente carregado, ou indutor. Ao mesmo tempo, no lado oposto do corpo inicialmente neutro, ou induzido, aparecia uma carga igual e de mesmo tipo da do indutor. Parecia agora claro, para Canton, o fenômeno já anteriormente observado, mas não compreendido, de que, ao afastar-se o indutor, o induzido voltava a ficar neutro. Os sinais opostos e as quantidades aparentemente idênticas das cargas surgidas, assim como a posterior neutralização do induzido, evidenciadas com o seu eletroscópio, levaram-no a conjecturar, baseado no modelo de dois fluidos de Du Fay, sobre uma mera separação de cargas pré-existentes no corpo que recebia a influência elétrica.

Tibérius Cavallo, em Londres (1770), construiu um eletroscópio com fios de prata pendurados de uma haste metálica, adicionando bolinhas de sabugueiro nos seus terminais e encerrando o conjunto num vaso de vidro com folhas metálicas finas envolvendo as suas paredes. A haste metálica projetava-se para cima do vaso de vidro com uma pequena esfera em sua extremidade superior. O eletroscópio começava a tomar forma. Pouco tempo depois, Volta construiria um eletrômetro que utilizava dois pequenos pedaços retos de palha suspensos a partir de um mesmo ponto por meio de uma junta bastante móvel (Sigaud de la Fond, 1775).

Em 1772, William Henley criou uma versão mais operacional do modelo de Richmann, que viria a substituir, a partir de então, na Inglaterra, os eletroscópios tradicionais de bolinhas de sabugueiro. Seu instrumento, o "*eletrômetro de quadrante*", consistia em um eletroscópio de Richmann com bolinhas de sabugueiro, em lugar, simplesmente, das linhas. No final do século XVIII, eram já

utilizados, nas experiências de indução, por exemplo, diversos tipos de eletroscópios e eletrômetros, dentre os quais o criado pelo reverendo Abraham Bennet, um aperfeiçoamento do aparelho de Tiberius Cavallo, e que viria a se tornar o mais conhecido deles. (Forbes & Dijksterhuis, 1963; Turner, 1927).



Eletrômetro de quadrante.

Abraham Bennet publicara na *Philosophical Transactions*, da *Royal Society de Londres*, de 1787, duas invenções de grande importância. Uma delas era o "*eletroscópio de folhas de ouro*", que seria aperfeiçoado, logo em seguida, por William Hasledine Pepys, tornando-se, desde então, o mais preciso detector de eletricidade disponível à época. Esse instrumento, bem mais sensível que o seu antecessor de linhas, daria um enorme impulso nas pesquisas sobre a eletricidade.

O outro instrumento, proposto por Bennet, era o "*duplicador elétrico*", um artefato que permitia, atuando por indução eletrostática, passar de uma carga pequena para uma carga bem maior (Meyer, 1977). Esse duplicador estava baseado num outro aparelho simples e revolucionário, criado por Alessandro Volta em 1775 e por ele mesmo aperfeiçoado em 1782: o "*eletróforo*" (Canby, 1966; Thompson, 1895).

O eletróforo foi, para Volta e para os seus contemporâneos, um instrumento de usos múltiplos. Seu funcionamento está baseado no princípio da indução eletrostática. Era utilizado basicamente com a finalidade de produzir grandes eletrizações, acumuladas, por exemplo, em garrafas de Leyden, mas servia também para a avaliação das eletrizações obtidas evidenciadas pelos comprimentos das centelhas por ele produzidas. O seu desenvolvimento está intimamente ligado à construção do conceito de tensão elétrica, que no século XIX seria identificado com a função potencial. A complexidade do funcionamento, entretanto, foge ao escopo deste trabalho.



Eletroscópios de folhas de ouro de Bennet.

O eletróforo seria o ponto de partida para uma nova geração de máquinas eletrostáticas, que substituiria as máquinas de atrito, até então utilizadas: as máquinas de indução, conhecidas à época como "*máquinas de influência*". O "*duplicador de Bennet*" foi a primeira tentativa de automatizar as funções do eletróforo de Volta, ou seja, a primeira máquina eletrostática de indução.

O "*eletroscópio de folhas de ouro*", de Bennet, por outro lado, pode ser tido como um exemplo do desenvolvimento da compreensão do papel desempenhado pelos condutores nos instrumentos de medidas elétricas. A incorporação de folhas de ouro ao instrumento não

deve ser vista como o resultado de uma tentativa qualquer de substituição do tipo de folhas utilizado. O ouro, assim como a prata antes utilizada por Tiberius Cavallo, é um elemento muito valioso para ser incorporado, sem maior compromisso, em meros procedimentos de tentativas e erros. A utilização do ouro é, antes de tudo, um reconhecimento do seu papel desempenhado como um excelente condutor.

Em conexão com o eletroscópio de folhas de ouro de Bennet, deveria ser mencionado que, ao final do século XVIII, vários outros eletroscópios e eletrômetros estavam igualmente em uso ou em desenvolvimento. Certo é que todos esses instrumentos estavam já sendo utilizados na segunda metade do século XVIII. Daniel Gralath, de Dantzig, por exemplo, por volta desta mesma época, havia construído uma espécie de "*balança elétrica*", precursora de uma série de instrumentos semelhantes que culminariam no célebre instrumento de Coulomb.

Já em 1749, Le Roy e d'Arcy haviam inventado um primeiro instrumento capaz de medir forças elétricas, o "*eletrômetro-aerômetro*". O referido aparelho dispunha de um flutuador e uma haste imersos na água e encimados por um prato. Ao aproximar-se deste prato um segundo prato, ligado a uma máquina eletrostática, produzia-se uma indução elétrica que fazia o *aerômetro* emergir. Colocando-se pesos sobre o prato do *aerômetro*, conseguia-se restituir o instrumento à sua posição original. Isso dava uma idéia do valor da força elétrica, agora equilibrada pelo peso disposto sobre o prato do instrumento. Já em 1760, Daniel Bernoulli utilizou tal artefato para determinar o modo como as forças elétricas variavam em função da distância entre os pratos. Suas medidas apontaram na direção da existência de uma relação do tipo inverso do quadrado da distância. A complexidade do fenômeno em estudo, no entanto, aliado à ausência de certos conceitos fundamentais que permitissem uma melhor interpretação, contribuiu decisivamente para que os seus resultados não fossem tidos como evidências suficientemente convincentes de uma tal relação matemática (Bauer, 1960).

O mais importante de todos os instrumentos de medida da eletricidade, surgidos ao final do século XVIII, foi a "*balança de torção*", apresentada em 1784 por Charles Augustin Coulomb (1736-1807). Para disputar, entretanto, a primazia desta invenção, cabe salientar que o reverendo John Michell, cujo nome é frequentemente mencionado em conexão com a história do magnetismo, havia descrito, anteriormente, uma balança de torção semelhante que viria, logo após, a ser utilizada por Henry Cavendish na determinação da densidade média da Terra. Coulomb, no entanto, parece ter sido, efetivamente, o primeiro a utilizar uma tal balança para determinar as leis dos inversos dos quadrados que regem as forças elétricas e magnéticas. Essa lei havia sido anunciada, para as forças magnéticas, por Johann Tobias Mayer em Goettingen em 1760 e para as forças elétricas por Cavendish em 1762, mas em cada um dos casos apenas com evidências parciais. O uso da balança de torção por Coulomb marca o início dos trabalhos quantitativos na eletricidade e no magnetismo e o final de um acelerado período evolutivo nos trabalhos exploratórios com o eletroscópio.

V Conclusões

Embora os aparelhos de medidas elétricas tenham experimentado um enorme avanço durante o século XIX, avanço este impulsionado pelo desenvolvimento conceitual da eletricidade, a seqüência histórica deste desenvolvimento não fez com que os eletroscópios, instrumentos mais rudimentares, viessem a ser esquecidos. Ainda que não mais ocupando a cena principal, mas atuando como coadjuvantes, a utilização dos eletroscópios prossegue na história da Física com alguns aperfeiçoamentos menores, mas com marcantes contribuições nos estudos da estrutura atômica realizados no final do século XIX e no início do século XX. A utilização prática dos eletroscópios, simplesmente reajustada aos novos tempos, só seria secundada pelo papel originalmente desempenhado por eles na construção de idéias mais claras sobre os conceitos de carga, potencial e capacidade elétrica. Tal importância parece justificar a necessidade de repensar-se as muitas formas de utilização de um tal instrumento, ainda hoje, nas aulas de Física. Para além dos aspectos meramente demonstrativos possibilitados por este aparelho, estão sobretudo os pressupostos teóricos nele contidos, apontados do decurso evolutivo histórico desse instrumento, que, se bem trabalhados, podem vir a se constituir em poderosas ferramentas heurísticas na reconstrução dos conceitos em sala de aula.

VI Referências Bibliográficas

- AINSLIE, D. What are the Essential Conditions for Electrification by Rubbing? *American Journal of Physics* **35**, p.535-537, 1967.
- ANDERSON, D. *El Descubrimiento del Electron*. México: Editorial Reverté, 1968.
- ANDERSON, S. An Experiment to Demonstrate that "Friction" Electricity Depends on Contact Potential. *American Journal of Physics* **144**, 1936.

BAUER, E. A Eletricidade e o Magnetismo no Século XVIII. In René Taton (org). *História Geral das Ciências*. São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1960.

BERNAL, J. *The Extension of Man: A History of Physics Before 1900*. Frogmoe, St Albans, England: Granada Publishing Limited, 1973.

CANBY, E. *História da Eletricidade*. Lisboa: Livraria Moraes Editora, 1966.

CONANT, J. *Harvard case Histories in Experimental Science*. 2 vols. Cambridge: Harvard University Press, 1957.

DAVIES, G. An Electronic Gold Leaf Electroscope. *Physics Education*. **9**, n.6, p.393-398, Sep 1974.

DIBNER, B. *Early Electrical Machines*. Norwalk, Connecticut: Burndy Library, 1957.

EDGE, R. String and Sticky Tape Experiments: Electrostatics with Soft-Drink Cans. *Physics Teacher*, **22**, n.6, p.396-98, Sep 1984.

ENGELMANN, M. An Electroscope with a Point. *Science Teacher*, **50**, n.3, p.30-32, Mar 1983.

FORBES, R. & DIJKSTERHUIS, E. *A History of Science and Technology: The Eighteenth and Nineteenth Centuries*. London: Pelican Books, 1963.

FRANKLIN, A. *Experiment: Right or Wrong*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

GAMOW, G. *The Great Physicists from Galileo to Einstein*. New York: Dover, 1988.

GILBERT, W. *De Magnete*. New York: Dover Publications Inc, 1958.

HACKMANN, W. *Electricity from Glass: the History of the Frictional Electrical Machine (1600-1850)*. Alphen aan den Rijn, The Netherlands, Sijthoff & Noordhoff, 1978.

HARMAN, P. *Energy, Force and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth Century Physics*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.

HEILBRON, J. *Elements of Early Modern Physics*. Berkeley: University of California Press, 1982.

HOME, R. *Electricity and Experimental Physics in 18th Century Europe*. Hampshire, Great Britain: Ashgate Publishing Limited, 1992.

JEFIMENKO, O. How Can An Electroscope be Charged This Way? *The Physics Teacher*. **56**, 1979.

LEON, G. *The Story of Electricity*. New York: Dover Publications Inc, 1988.

MAGIE, W. *A Source Book in Physics*. Cambridge: Harvard University Press, 1965.

MEDEIROS, A. & LIMA JR, N. *Identificando Pressupostos e Contextos de Validade em Experimentos com Eletroscópios*. VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, UFSC, Florianópolis, Março 2000.

MEYER, H. *A History of Electricity and Magnetism*. Boston: MIT Press, 1971.

MEYERS, ROBERT D. An Easy-to-Assemble Electroscope. *Science Teacher* **57**, n.1, p.33-34, Jan 1990.

NERCESSIAN, N. *Science & Philosophy. Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer, 1984.

OHRNER, M. & MACHTINGER, S. Two Electroscopes are Better Than One. *The Physics Teacher* **7**, n. 6, p. 343-344, Sept 1969.

PLUMB, R. Triboelectricity, *Journal of Chemical Education* **48**, p.524, 1971.

REASON, H. *The Road to Modern Science*. London: G. Bell & Sons, 1959.

ROLLER, D. & ROLLER, D. H. The Prenatal History of Electrical Science, *American Journal of Physics* **21**, p.343-356, 1953.

ROLLER, D. The Development of the Concept of Electric Charge. In James Bryant Conant (org). *Harvard Case Histories in Experimental Science*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1957.

SCARICABAROZZI, R. "Microfísica, Macrofísica e Livros-Texto". *Revista de Ensino de Física*, São Paulo, **5**, n.1: 3/15, 1983.

SIDDONS, J. From Electroscope to Electrometer. *Physics Education* **18**, n.1, p.39-42, Jan 1983.

SIDDONS, J. More Homespun Experiments in Physics. *School Science Review* **60**, n.212, p.459-74, Mar 1979.

SIGAUD DE LA FOND, J. *Description et Usage d'un Cabinet de Physique Expérimentale*, Vol. II, Pl. XXI. Paris, 1775,

SPENCER, G. Demonstrations in Electrostatics. *American Journal of Physics* **26**, p.269, 1958.

STEENSON, C. Proving the Presence of Ions in Air. *School Science Review* **57**, n.199, p.349-350, Dec 1975.

STEWART, G. & GALLAI, D. More Electrostatic Explorations. *Science Scope* **21**, n.7, p.18-22, Apr 1998.

TAYLOR, L. *Physics: The Pioneer Science*. New York: Dover Publications Inc, 1959.

THOMPSON, S. *Elementary Lessons in Electricity and Magnetism*. London: MacMillan & Co, 1895.

TURNER, D. *Makers of Science: Electricity & Magnetism*. Oxford: Oxford University Press, 1927.

WIGHTMAN, W. *The Growth of Scientific Ideas*. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1951.

Eletricidade estática

Para entender o gerador Van de Graaff e como ele funciona é preciso entender de eletricidade estática. Quase todas as pessoas estão familiarizadas com a eletricidade estática, pois podem vê-la e senti-la no inverno. Em dias secos, a eletricidade estática pode se formar nos nossos corpos e fazer com que uma descarga passe deles para pedaços de metal ou para outras pessoas. Podemos ver, sentir e ouvir o som dessa descarga.

Nas aulas de ciência, você deve ter feito alguns experimentos com eletricidade estática. Se você esfrega, por exemplo, um bastão de vidro em um pedaço de seda ou se você esfrega um pedaço de âmbar com lã, o vidro e o âmbar vão desenvolver uma carga estática que pode atrair pequenos pedaços de papel ou de plástico.

Raízes

A palavra "**elétron**", em inglês, vem da palavra grega **amber**.

Para entender o que acontece quando seu corpo ou o vidro desenvolvem uma carga estática, pense nos [átomos](#) que formam tudo que podemos ver. Toda a matéria é formada por átomos, que são formados por partículas carregadas. Os átomos têm um núcleo formado por nêutrons e prótons e uma "camada" de elétrons que os envolve. Basicamente, a matéria tem carga neutra, isso significa que o número de elétrons e prótons é o mesmo. Se um átomo possui mais elétrons que prótons, tem carga negativa. Se tiver mais prótons que elétrons, carga positiva.

Alguns átomos agarram-se a seus elétrons mais firmemente que outros. O quão firme a matéria se segura aos elétrons é o que determina seu lugar nas **séries triboelétricas**. Nas séries triboelétricas, se um material, em contato com outro, é mais apto a doar elétrons, é considerado mais positivo; se for mais propenso a "capturar" elétrons, é considerado mais negativo.

A tabela a seguir mostra as séries triboelétricas para muitos materiais que podem ser encontrados pela casa. Itens positivos estão acima e os negativos na parte de baixo:

- mãos humanas, geralmente úmidas - *muito positivo*
- pele de coelho
- vidro
- cabelo humano
- nylon
- lã
- pele
- chumbo
- seda
- alumínio
- papel
- algodão
- aço - *neutro*
- madeira
- âmbar
- borracha dura
- níquel, cobre

- latão, prata
- ouro, platina
- poliéster
- estireno (isopor)
- papel filme
- poliuretano
- polietileno (fita isolante)
- polipropileno
- vinil (PVC)
- silicone
- teflon - *muito negativo*

A **posição relativa** de duas substâncias nas séries triboelétricas determinam como elas vão se portar quando entrarem em contato. Vidro esfregado por seda causa uma separação de carga, pois estão divididos por muitas posições na tabela. O mesmo se aplica ao âmbar e a lã. Quanto maior a separação na tabela, maior o efeito.

Quando dois materiais não condutores entram em contato, um laço químico, conhecido como **adesão**, é formado entre eles.

Dependendo de suas propriedades triboelétricas, um material pode "capturar" alguns elétrons do outro. Se os dois forem separados, um **desequilíbrio de carga** acontece. O material que capturou os elétrons está com carga negativa e o que perdeu está com carga positiva. Esse desequilíbrio de carga é de onde a "eletricidade estática" vem. O termo "estática", nesse caso, é enganador, pois implica em "falta de movimento", quando na verdade é comum e necessário que um desequilíbrio aconteça. O pequeno choque que você sente quando toca numa maçaneta é um exemplo desse fluxo.

A quantidade de carga depende dos materiais envolvidos e da quantidade de área de superfície que os une. Muitas superfícies, quando observadas com um [microscópio de luz](#), parecem ásperas ou irregulares. Se essas superfícies fossem lisas para que mais contato pudesse acontecer, a carga (**voltagem**) certamente aumentaria.

Outro fator importante na eletrostática é a **umidade**. Se estiver muito úmido, o desequilíbrio de carga não permanecerá por um tempo útil. Lembre-se que a [umidade](#) é a medida do grau de umidade no ar. Se o grau estiver alto, a umidade reveste a superfície do material, fazendo um caminho de baixa resistência para o elétron fluir. Esse caminho permite que as cargas se reagrupem e assim neutralizem o desequilíbrio. Da mesma forma, quando está muito seco, uma carga pode crescer até níveis extraordinários, até dezenas de milhares de volts.

Dependendo do tipo de sola dos seus sapatos e do material do chão em que você está pisando, cria-se uma voltagem suficiente para fazer a carga pular para a maçaneta da porta, deixando-o neutro. Você deve lembrar do velho comercial do "agarrão estático".

As roupas na [secadora](#) criam uma carga eletrostática. A secadora cria um ambiente de baixa umidade que gira, fazendo com que as roupas entrem em contato e separem-se continuamente. A carga pode facilmente ser alta o suficiente para fazer com que o material se atraia e "grude" em superfícies com cargas opostas, por exemplo, seu corpo ou outras roupas. Um método usado para remover a "estática" é vaporizar as roupas.

Aqui novamente, a água faz com que a carga vaze, deixando o material neutro.

Quando há sujeira no ar, este se parte muito mais fácil em um campo elétrico. Isso significa que a sujeira permite que o ar fique ionizado mais facilmente. O ar ionizado é apenas material que perdeu os elétrons. Quando isso acontece, é chamado de **plasma**, que é um condutor muito bom. De forma geral, adicionar impurezas ao ar melhora a sua

condutividade. Impurezas no ar causam o mesmo efeito que a umidade. Nenhuma dessas condições é desejável para a eletrostática.

Geralmente, a presença dessas impurezas no ar significa que estão, também, nos materiais que você está usando. Assim, é possível saber como estão as condições do material. Os materiais geralmente vão se partir como o ar, só que muito mais rápido.

Causas das cargas eletrostáticas

As cargas eletrostáticas não são causadas por fricção. Muitos presumem ser assim. Esfregar um balão na cabeça ou arrastar os pés no tapete vão criar uma carga. A eletrostática e a fricção são relacionadas na maneira em que ambas são produto da **adesão**. Esfregar materiais pode aumentar a carga eletrostática porque uma quantidade maior de superfície está em contato, mas a fricção sozinha não tem nada a ver com a carga.

