

Universidade Estadual de Campinas

Instituto de Física “Gleb Wataghin”

F 809 - Instrumentação para o Ensino

Experimentos de Eletrostática de Baixo Custo para o Ensino Médio



Aluno: Geraldo Magela Severino Vasconcelos R.A.: 016171 ¹

Orientador: Prof. Dr. André Koch Torres de Assis ²

Coordenador: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi ³



Campinas, 26 de novembro de 2005

¹geraldovasconcelos@yahoo.com.br

²assis@ifi.unicamp.br <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>

³lunazzi@ifi.unicamp.br <http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi>

Sumário

| | |
|---|-----------|
| Resumo | 3 |
| 1 Introdução | 3 |
| 2 Um Pouco de História | 4 |
| 2.1 William Gilbert | 4 |
| 2.2 <i>De Magnete</i> | 6 |
| 2.3 Versorium | 7 |
| 3 Parte Experimental | 9 |
| 3.1 Materiais Utilizados | 9 |
| 3.2 Experimentos com o Versorium | 9 |
| 3.2.1 Distinção entre Interação Elétrica e Magnética | 11 |
| 3.2.2 Verificação se um Corpo Está Carregado ou Não | 13 |
| 3.2.3 Caráter Vetorial da Força Elétrica | 13 |
| 3.2.4 Mapeamento do Campo Elétrico | 14 |
| 3.2.5 Interação Entre Versoriums | 16 |
| 3.3 Experimentos com Fita Adesiva | 17 |
| 3.3.1 Preparação das Fitas | 17 |
| 3.3.2 Interação entre as Fitas | 18 |
| 3.3.3 Interação das Fitas com Outros Corpos | 20 |
| 3.3.4 Fita Adesiva: Condutora ou Isolante? | 20 |
| 3.3.5 Construção de um Dipolo Elétrico | 22 |
| 3.3.6 Interação das Fitas Através de um Pedaco de Papel | 22 |
| 4 Discussão | 24 |
| 5 Conclusão | 25 |
| 6 Comentários do Coordenador | 26 |
| Referências | 27 |
| Anexo | 28 |

Experimentos de Eletrostática de Baixo Custo para o Ensino Médio

Resumo

Esse é um trabalho onde apresenta-se uma série de experimentos de eletrostática que podem ser facilmente realizados. São feitos a partir de materiais de baixo custo e simples manuseio, possibilitando a um professor de ensino médio sua realização em sala de aula. São experimentos que promovem uma discussão sobre os fenômenos eletrostáticos e que servem também como motivação para a explicação da teoria por trás dos experimentos. Neste trabalho está descrito a utilização do versorium de Gilbert, que foi o primeiro instrumento construído com o propósito de pesquisar a interação elétrica. Este fenômeno já era conhecido a bastante tempo (uns dois mil anos), mas não era explicado cientificamente. Serão mostradas também outras aplicações com o versorium que não foram descritas por Gilbert. Na segunda parte do trabalho são apresentados uma série de experimentos com fita adesiva, tipo durex.

1 Introdução

A eletricidade é um fenômeno que desperta interesse na humanidade desde a antiguidade. Ao redor de 600 a. C. os gregos já sabiam que atritando o âmbar (resina amarelada) com pele de animais era possível atrair partículas leves. Em 1600 William Gilbert, com o livro *De Magnete*, [Gilbert, 1958], apresenta a construção do versorium, considerado o primeiro aparelho para o estudo da eletrostática, descrevendo diversas experiências com ele.

Hoje sabe-se que toda matéria é constituída de átomos, que por sua vez são formados de partículas que apresentam cargas positiva e negativa: prótons e elétrons, respectivamente. A interação entre cargas é denominada “elétrica”, sendo muitas ordens de grandeza maior do que a interação gravitacional. O eletromagnetismo é uma interação fundamental, muito mais importante que a gravitação no domínio que nos é mais familiar, sendo a interação eletromagnética aquela que compreendemos melhor [Nussenzveig, 2001]. As forças elétricas podem ser atrativas ou repulsivas, dependendo apenas de quais cargas estão interagindo. Cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais opostos se atraem.

Na forma “natural” a matéria apresenta-se neutra, ou seja, possui o mesmo número de cargas positiva e negativa cancelando assim os efeitos de interações elétricas (considerando os dois corpos neutros) [Chabay e Sherwood, 2002]. No entanto, é possível remover ou adicionar partículas negativas, elétrons, o que acarretará um desequilíbrio entre o número de cargas positiva e negativa. A carga líquida num material é a soma das cargas positivas e negativas, sendo que a carga total terá o sinal daquela em maior quantidade. Nesses processos de troca de carga entre corpos sempre há conservação da carga elétrica total, ou seja, se algum corpo perde carga negativa um outro deve recebê-la. Existem três processos principais pelos quais os materiais são eletrizados: atrito, contato e indução.

Tem-se como objetivo neste trabalho apresentar experimentos de simples manuseio e baixo custo que possam ser aplicados em sala de aula nos cursos de eletrostática para o ensino médio. Será dividido basicamente em duas partes. Na primeira parte será estudado o versorium de Gilbert, [Ferreira, 2005(a)], [Ferreira, 2005(b)] e [Ferreira, 2005(c)]; e na segunda parte realizaremos uma série de experimentos com durex, [Chabay e Sherwood, 2002]. Os fenômenos a serem mostrados neste trabalho: eletrização por atrito, eletrização por contato, atração, repulsão, conservação da

carga elétrica, construção de um dipolo, descarga de corpos carregados, verificação se um corpo encontra-se eletrizado usando um versorium, diferenciação de forças elétricas e magnéticas, assim como o caráter vetorial da força elétrica e mapeamento do campo elétrico de um cilindro carregado e de uma placa plana carregada.

Neste relatório serão apresentados primeiramente os experimentos com o versorium, mostrando um pouco de sua história e como o mesmo pode ser aperfeiçoado para observar outros fenômenos, além daqueles analisados por Gilbert. Em segundo lugar serão mostrados os vários experimentos com dures, desde sua preparação e funcionamento, até uma explicação do fenômeno envolvido.

2 Um Pouco de História

2.1 William Gilbert

William Gilbert era inglês. Nasceu em Colchester (pequena cidade da Inglaterra) em 1540 e morreu no ano de 1603. Era o primogênito dos cinco filhos de Jerome Gilbert, magistrado muito considerado na cidade. Gilbert ingressou bem cedo na escola. Em 1558 ingressou no St. John's College, de Cambridge, onde estudou durante onze anos, revelando grande aptidão pelas disciplinas científicas. Em 1565, foi nomeado examinador de matemática e quatro anos mais tarde recebeu o título de doutor em medicina. Exerceu sua função de médico na Itália fazendo amizades com muitos estudiosos. Em 1573 regressou a Londres e ingressou no *Colégio Real de Médicos*, onde ocupou cargos de notável importância, como: censor, tesoureiro e presidente. Também foi membro do comitê para redação da "Pharmacopaeia Londoniensis", publicada em 1618. O renome de Gilbert como médico cresceu tanto, que a rainha Elizabeth I o convidou para tratar exclusivamente dela ⁴.



Figura 1: William Gilbert.

Porém, o que fez com que Gilbert marcasse seu nome na história não foi o fato dele ter sido médico particular da rainha, mas sim suas contribuições para a eletricidade e, principalmente, para o magnetismo. Em 1600 publica sua obra, cujo título original em latim é: "*De Magnete, Magneticisque Corporibus et de Magno Manete Tellure.*" [Magalhães, 2000], sendo que sua tradução para

⁴Ver referência no site: <http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/gilbert.html>

português fica: **“Sobre os ímãs, corpos magnéticos e sobre o grande íma, Terra.”** Logo nos seus primeiros capítulos, Gilbert coloca sua posição crítica diante das obras dos antigos (julga-os incapazes de elaborar o material empírico) e também ataca os contemporâneos (dizendo que eles não fazem mais que remanejar e dissertar sobre os dogmas das doutrinas de Aristóteles).

*“Nossa geração tem produzido muitos trabalhos sobre o oculto, obscuro, causas ocultas e maravilhas, e em todas elas o âmbar e o azeviche são representados como um atrator de pedaços de palha, mas nunca nenhuma prova a partir de experimentos, nunca uma demonstração você acha neles. Os escritores espalham apenas palavras que envolvem o assunto muito grosseiramente; tratam-os como: exotéricos, milagrosos, obscuros, ocultos e místicos.”*⁵

O maior mérito de sua obra consiste justamente em apresentar mais de seiscentas experiências, sendo que algumas foram feitas por seus predecessores e outras foram realizadas por ele mesmo. Gilbert foi quem batizou várias coisas e fenômenos que conhecemos hoje. Por exemplo, ele foi o primeiro a chamar de pólos as extremidades da agulha de uma bússola; definiu como magnéticos os corpos que são atraídos por um ímã; classificou materiais como elétricos e não-elétricos, usando para isso o versorium por ele construído; e também foi o primeiro a usar o termo eletricidade, para se referir aos efeitos percebidos pelo seu versorium, quando aproximava dele objetos eletricamente carregados. Cabe a Gilbert o mérito da distinção entre *magnetismo* e *eletricidade*.

A mais importante contribuição de Gilbert foi com respeito ao magnetismo, principalmente o terrestre. Ele utilizou um ímã esférico, que chamou de “Terrella” (Terra pequena, considerando-o análogo ao planeta Terra). Ele apoiava uma agulha magnetizada sobre a superfície deste ímã esférico, sendo que esta agulha era livre para girar e se orientar devido à atração magnética do ímã. Ele estudou as propriedades magnéticas deste pequeno ímã esférico e descobriu que correspondiam às da Terra, conseguindo com isso explicar a direção norte-sul da agulha magnética, sua inclinação, definir o eixo de um ímã e as linhas de força da Terra. Como já citado na introdução, os fenômenos elétricos e magnéticos já eram conhecidos pelos gregos e romanos, mas estes não atingiram o nível da explicação científica (por exemplo, acreditavam que o ferro tinha anéis para prender pequenos ganchos dos ímãs). Gilbert rejeitou todas as explicações mágicas, desenvolvendo uma idéia que exercerá enorme influência sobre Kepler e Newton: os corpos atraem-se em virtude de uma força física, que pode ser medida e estudada. A influência das novas idéias de Gilbert foi extensa e profunda, tendo provocado grande interesse e fazendo desse médico um homem famoso em toda a Europa. Galileu proclamou-se fervoroso admirador do médico inglês e mesmo aristotélicos como Nicolau Cabeo e Atanasius Kircher foram seus discípulos. Em sua casa em Colchester, Gilbert costumava reunir um grupo de estudiosos para debater todos os problemas da época. Gilbert mostrava grande interesse nas reuniões, fazendo com que essas se tornassem regulares. Foram elas que levaram à formação da Royal Society, instituição que exerceu papel fundamental no desenvolvimento da ciência inglesa. Gilbert nunca se casou e não se sabe exatamente como morreu. Sua morte ocorreu no ano de 1603, durante uma peste. Como legado ao Colégio dos Médicos, deixou a biblioteca e as coleções, infelizmente destruídas durante o grande incêndio de Londres, em 1666. O novo espírito científico, no entanto, permaneceria para sempre.

⁵Extraído da obra de Gilbert, “*De Magnete*”, pág. 77.

2.2 De Magnete

Em 1600 Gilbert publicou sua obra, *De Magnete*, tratando as questões de eletricidade e magnetismo. Nessa obra, ele expõe claramente sua crítica tanto às obras dos antigos, quanto às dos contemporâneos. Essa obra é dividida em seis livros onde Gilbert desenvolveu uma completa teoria diferenciando as forças elétrica e magnética, e também fez um estudo sistemático dos cinco movimentos magnéticos. No livro I, relata a história do magnetismo, indo das antigas fábulas sobre a pedra-ímã aos fatos e teorias conhecidas por seus contemporâneos, [Magalhães, 2000]. Nos outros livros discute sobre os cinco movimentos magnéticos: **cópula, direção, variação, declinação e revolução**. Da discussão em torno da cópula magnética ⁶, ele distinguiu com cuidado a atração devida ao efeito âmbar daquele causado por um ímã. Introduziu o vocábulo *elétrico*, estabelecendo as diferenças entre os corpos elétricos e os magnéticos. O termo elétrico vem de *elektron* que em grego significa âmbar ⁷.

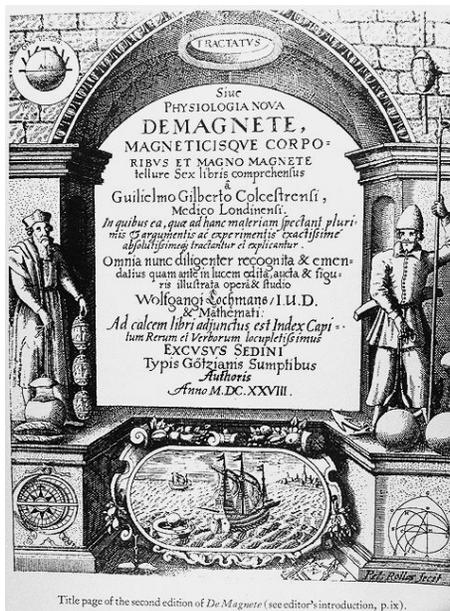


Figura 2: Capa do livro *De Magnete* de William Gilbert.

A distinção feita por Gilbert entre o fenômeno magnético e o efeito âmbar baseava-se na diferença entre suas causas, ou seja uma causa material para explicar o efeito âmbar e outra formal para a atração magnética [Magalhães, 2000]. As substâncias que tinham sido formadas de matéria fluida e úmida a partir da terra, depois de solidificarem, apresentariam comportamento análogo ao âmbar ao ser atritado. Os corpos conhecidos capazes de eletrizar eram, em sua maioria, duros e transparentes. Isso levou Gilbert à idéia de que eram formados pela consolidação de líquidos aquosos. Concluiu que devia existir um humor particular relacionado com as propriedades dos corpos elétricos [Magalhães, 2000]. Gilbert explicava que a eletrização por atrito ocorria porque excitaria e liberaria esse humor, emanando do corpo elétrico em forma de eflúvio, criando uma atmosfera favorável a atração. Isso era tão sutil que não era percebido pelos nossos sentidos. Com isso conseguiu explicar a interação,

⁶Cópula magnética é usada por Gilbert no lugar de atração magnética pois os movimentos magnéticos não resultam da atração exercida por um único corpo, mas sim pela aproximação dos dois corpos harmoniosamente, um impulso levando à união magnética.

⁷Resina amarelada que desencadeou todo o interesse e desenvolvimento dos fenômenos elétricos.

pois era necessário a existência de um meio, sendo que nessa época acreditava firmemente que a matéria atuaria somente na existência de um meio. Também com respeito ao processo de eletrização por atrito, tinha-se uma dúvida, pois ao friccionar os objetos esses esquentavam, e não se sabia se o calor é que gerava a força de atração. Porém Gilbert, com seu versorium, conseguiu mostrar que não era o calor responsável pela atração, pois ele fez o experimento atritando o âmbar e depois apenas esquentando um outro pedaço de âmbar (sem friccioná-lo), sendo que este último não apresentava efeitos de atração [Ferreira, 2005(a)].

*“Agora o âmbar não atrai devido ao calor, pois quando esquentado no fogo e levado próximo à palha, se está meramente aquecido, ou se está quente, ou mesmo quente ao ponto de queimar, ou se atingiu o ponto incandescente, ele não tem atração.”*⁸

Nessa sua obra, Gilbert também fala sobre o Versorium criado por ele para investigar a natureza das forças. Maiores detalhes sobre esse instrumento são apresentados na próxima seção.

2.3 Versorium

O instrumento mais antigo usado como um eletroscópio foi o versorium construído por Gilbert. Versorium é uma palavra latina que significa *girar*. Gilbert o chamou assim, pois ele girava na direção dos corpos eletrizados, apontando para eles. Gilbert construiu seu aparelho usando os mesmos princípios utilizados numa bússola. Esse aparelho era feito com uma haste metálica muito leve, cuja parte central era apoiada numa espécie de alfinete pontiagudo. A haste tinha uma forma de flecha para que se soubesse em que direção apontava. Com esse versorium, Gilbert pesquisou as atrações dos corpos carregados eletricamente. Ao construir esse equipamento, ele queria ter um instrumento capaz de perceber a atração elétrica com maior sensibilidade. A figura 3 ilustra o primeiro versorium construído.



Figura 3: Versorium de Gilbert.

*“Agora, para entender claramente por meio da experiência como ocorre tal atração, e quais podem ser as substâncias que atraem outros corpos (...), faça você mesmo uma agulha girante (eletroscópio - versorium) de qualquer tipo de metal, de três ou quatro dedos de comprimento, bem leve e equilibrada numa ponta fina da mesma maneira que uma bússola. Traga próximo a uma de suas extremidades um pedaço de âmbar ou pedra preciosa, levemente atritada, polida e brilhante: e o instrumento irá girar imediatamente.”*⁹

Para realizar os experimentos com o versorium, Gilbert trazia a substância atritada próxima ao versorium. Se ocorresse um giro da agulha a substância era chamada de elétrica, caso contrário, era chamada de não-elétrica. A agulha do versorium era feita inicialmente de um metal claro,

⁸Extraído da obra de Gilbert, “*De Magnete*”, pág. 80.

⁹Extraído da obra de Gilbert, “*De Magnete*”, pág. 79.

não magnetizado, equilibrado num pino. Porém existiam outras versões do versorium nas quais Gilbert substituiu a agulha metálica por palha [Medeiros, 2002]. Ele investigou várias substâncias, conseguindo formar uma lista das que eram elétricas e não-elétricas. Abaixo temos a relação de algumas delas:

| | | |
|----------------------|---|---|
| Corpos não-elétricos | { | esmeralda |
| | | ágata |
| | | corneliana |
| | | pérola |
| | | jaspe |
| | | alabastro |
| | | coral |
| | | mármore |
| | | marfim |
| | | madrepérola |
| | | madeiras duras (ébano, cedro, junipero, cipreste) |
| | | metais (prata, ouro, cobre e ferro) |
| | | pedra-ímã |
| Corpos elétricos | { | âmbar |
| | | azeviche |
| | | diamante |
| | | safira |
| | | carbúnculo |
| | | quartzo irisado |
| | | opala |
| | | ametista |
| | | berilo |
| | | cristal de rocha |
| | | enxofre |
| | | vidro claro e brilhante |
| | | lacre |
| | | resina dura |
| mica | | |
| pedra-ume | | |

Alguns desses materiais chamados por Gilbert de não-elétricos são conhecido hoje em dia como condutores (se comportam como condutores quando submetidos a altas voltagens). O que acontecia era que ao serem atritados, a carga não ficava neles, sendo descarregados pelo contato com a mão. Já alguns dos corpos denominados por Gilbert como sendo elétricos são chamados hoje em dia de isolantes. Eles não perdiam a carga adquirida no atrito. Com a descoberta e com o conceito de materiais elétricos, a eletricidade deixa de ser vista apenas como uma propriedade de um único corpo, o âmbar, passando a ser considerada como uma propriedade de vários corpos na natureza. A partir de então os fenômenos elétricos e magnéticos passaram a ser melhor estudados e novos instrumentos foram feitos para esse propósito.

“Não somente o âmbar e o azeviche, como eles supõem, atraem corpúsculos (substâncias) leves.

*O mesmo é feito por diamante, safira, carbúnculo, pedra da íris, opala, ametista, vincentina, pedra preciosa inglesa, berilo, cristal de rocha.”*¹⁰

3 Parte Experimental

A seguir será descrito como os experimentos foram realizados, com uma explicação para os fenômenos envolvidos. Os experimentos estão divididos em duas partes, sendo a primeira a construção de versoriums de diversos materiais. Eles serão utilizados para a observação de vários fenômenos elétricos. A segunda parte consiste de uma série de experimentos com fita adesiva, tipo durex, a fim de mostrar outros fenômenos eletrostáticos.

3.1 Materiais Utilizados

A seguir está apresentada a lista com os materiais necessários para cada uma das montagens:

| | | | |
|------------------------|---|-----------|--|
| Experimentos com durex | <ul style="list-style-type: none"> { Fita adesiva, tipo durex { Caneta { Pente { Papel comum (folha sulfite) { Fio de seda | Versorium | <ul style="list-style-type: none"> { Colchete de aço tipo bailarina { Alfinete { Canudinho de refrigerante { Rolha de cortiça { Agulha { Prego { Martelo { Ímã { Lata de refrigerante { Massa de modelar { Plástico { Flanela { Fio de cobre { Níquel { Palha |
|------------------------|---|-----------|--|

A figura 4 a seguir mostra fotografias dos materiais necessários para cada uma das montagens.

3.2 Experimentos com o Versorium

Como já citado anteriormente, o versorium foi o primeiro instrumento construído com o objetivo de verificar os fenômenos de eletrostática. Foram montados versoriums de aço (colchete tipo bailarina), alumínio, plástico, palha, níquel e cobre. Gilbert inicialmente queria distinguir interação elétrica de magnética, então a idéia foi mostrar como esses diferentes materiais reagem na presença do ímã e de um objeto carregado eletricamente.

Para a montagem do versorium, basta cortar uma rolha de cortiça (mais ou menos pela metade), atravessá-la com uma agulha ou um prego e apoiá-la sobre uma base feita com massa de modelar (isso evita que a rolha tombe durante o experimento). Sobre a ponta dessa agulha ou prego equilibra-se

¹⁰Extraído da obra de Gilbert, “*De Magnete*”, pág. 77.

rolha de cortiça. Para evitar que o versorium tombe é necessário que seu centro de gravidade fique abaixo da ponta do alfinete. Para obter isto basta inclinar para baixo os dois braços do versorium. Caso necessário, pode-se também subir o alfinete preso ao versorium, deixando-o mais curto. A figura 7 ilustra esse modelo.

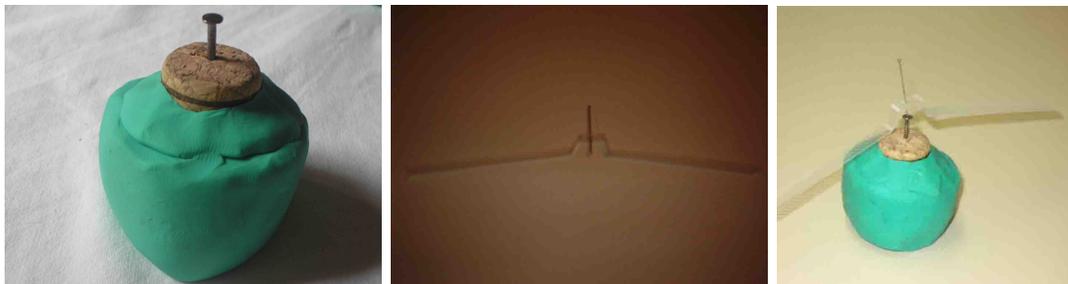


Figura 7: Na primeira foto temos a base para o versorium de plástico com um prego preso à rolha; na segunda, o versorium de plástico com o alfinete preso nele; e na última foto esse versorium montado com o alfinete equilibrando-se sobre a cabeça do prego.

Na figura 8 temos algumas fotos dos versoriuns que foram montados e trabalhado no experimento.

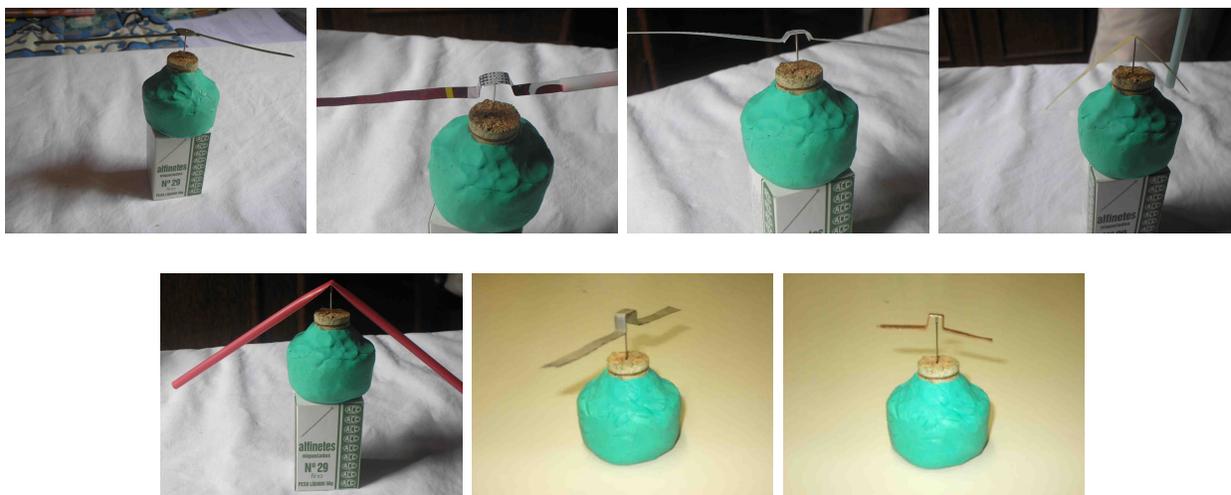


Figura 8: Seqüência de versoriuns: aço (colchete tipo bailarina), alumínio (lata de refrigerante), plástico, palha, canudinho de refrigerante, níquel e cobre.

Na discussão será mostrado quais experimentos do versorium foram realizados por Gilbert, e quais foram acrescentados. Os versoriuns podem ter várias aplicações, além de apenas dizer se um corpo se encontra carregado eletricamente.

3.2.1 Distinção entre Interação Elétrica e Magnética

Um dos primeiros estudos de Gilbert foi mostrar a diferença existente entre a interação elétrica e a magnética. Para distinguir efeitos elétricos de magnéticos usamos versoriuns de aço (colchete tipo bailarina), alumínio (lata de refrigerante), plástico, palha e cobre. Com o versorium montado aproximava-se de cada um deles um ímã. Se ocorrer giro no versorium, temos efeito magnético, caso contrário, não. Dentre os materiais usados apenas o colchete se movimenta com a aproximação de

um ímã, pois é feito de aço (contém ferro). Materiais de ferro, assim como de níquel e de cobalto são ferromagnéticos, ou sejam, respondem a um campo magnético. Após ter sido feito o experimento com esses versoriuns, também construímos um versorium de níquel, para mostrar que esse material apresenta interação magnética. A fotografia na figura 9 ilustra os versoriuns de aço (colchete tipo bailarina) e o de níquel sendo atraídos pelo ímã.

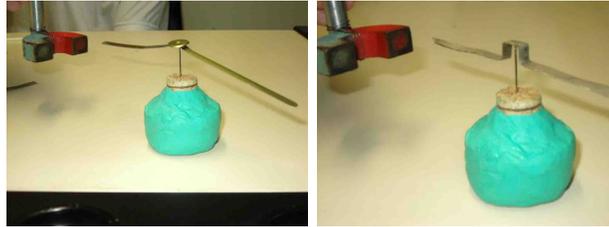


Figura 9: Versoriuns de aço e níquel sendo atraído por um ímã.

Para perceber a interação elétrica, atrita-se um canudinho de plástico na flanela para que o mesmo fique eletrizado. Esse é um tipo de eletrização por atrito, ou seja, são trocados elétrons entre os dois corpos, um cede e o outro recebe, conservando sempre a carga total. O que recebe fica carregado *negativamente* e o outro *positivamente*. Ao aproximarmos o canudinho carregado próximo a qualquer um dos versoriuns, o versorium é atraído. Ou seja, o versorium gira em direção ao canudinho atritado. A atração entre um corpo carregado (o canudinho atritado) e outro neutro (o versorium), se deve à polarização elétrica que ocorre no corpo neutro devido à presença do corpo carregado. Vamos supor que o corpo atritado fique carregado negativamente. Ao aproximá-lo do versorium este se polariza eletricamente. A extremidade do versorium mais próxima do canudinho atritado fica carregada positivamente, enquanto que a outra extremidade do versorium fica carregada negativamente (para simplificar estamos supondo nesta análise que as cargas não escapam pela agulha condutora). As cargas de sinal oposto ao corpo carregado estão mais próximas do canudinho carregado do que as cargas de sinal igual ao objeto carregado. Logo, como a força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância, quanto menor a distância maior a força. Concluindo, a força de atração nesse caso (entre o canudinho carregado e a extremidade do versorium carregada com carga oposta ao canudinho) será maior do que a repulsão (entre o canudinho carregado e a extremidade do versorium carregada com carga de mesmo sinal que a carga do canudinho atritado). Isto explica o motivo de ocorrer atração entre um corpo carregado e outro inicialmente neutro. As fotos na figura 10 ilustram um ímã e um canudo atritado próximo a alguns versoriuns.

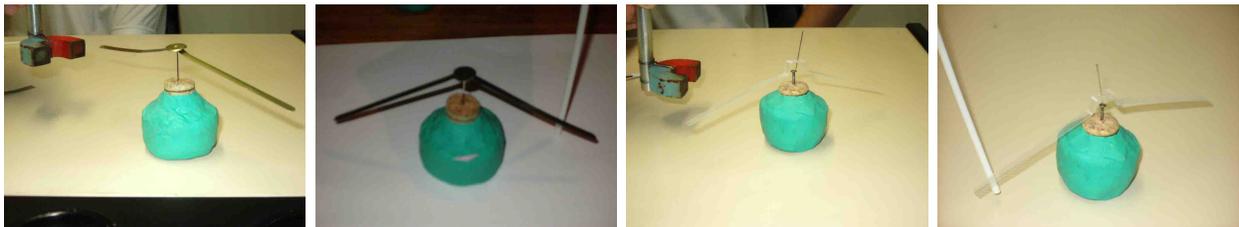


Figura 10: A primeira foto ilustra um versorium de aço sendo atraído por um ímã. Na segunda foto esse mesmo versorium é atraído agora por um canudinho atritado. Na terceira foto temos o versorium de plástico próximo ao ímã, sendo que nesse caso não observamos fenômeno algum. Na última foto temos o canudinho de plástico sendo atraído pelo canudinho atritado.

3.2.2 Verificação se um Corpo Está Carregado ou Não

Para a verificação se um objeto encontra-se carregado, é necessário ter um versorium construído. Como estamos interessados em verificar se quem está carregado é o objeto e não o versorium, utilizaremos um versorium de aço ou alumínio, pois apenas tocando o dedo nele já garantimos que o mesmo fique descarregado, ou seja, sem excesso de cargas. Aproximamos então o objeto (que pode estar carregado ou não) do versorium. Ocorrendo o giro do versorium, isso significa que o corpo está carregado eletricamente. Por exemplo, se aproximarmos um canudinho sem ser atritado de um versorium, este não gira. Se aproximarmos um canudinho atritado de um versorium, este gira alinhando-se com o canudinho. Como já foi discutido anteriormente, o processo de eletrização aqui é o atrito e a justificativa do motivo pelo qual o versorium gira também é a mesma do item anterior. Isto é, temos um objeto carregado atraindo um corpo neutro (versorium). Na figura 11 abaixo temos algumas fotografias do experimento.



Figura 11: Canudinho atritado sendo aproximado de alguns dos versoriuns (plástico, palha e alumínio, nesta ordem).

3.2.3 Caráter Vetorial da Força Elétrica

Sabe-se que força é uma grandeza vetorial. Ou seja, uma completa informação sobre a força necessita mencionar o seu módulo, direção e sentido. A interação elétrica ocorre devido a existência de uma força entre os corpos. Assim sendo, é necessário explicar em qual direção ela irá apontar. Para verificar esse fato utiliza-se de um experimento com um versorium de alumínio (poderia ser qualquer outro). Atrita-se um canudinho de refrigerante em uma flanela e o espetamos em uma base feita de massa de modelar, para que o canudinho atritado fique na vertical. Aproxima-se esse canudo do versorium e se observa o que acontece. O versorium alinha-se com o canudinho (ou seja, a linha reta ao longo da direção do versorium aponta para o canudinho atritado). Em seguida atrita-se outro canudinho e repete-se o mesmo procedimento, porém deixando os dois canudinhos atritados próximos ao versorium, sempre observando sua movimentação. Esse procedimento pode ser feito com vários canudinhos. A figura 12 mostra uma montagem com um canudinho atritado e a figura 13, com dois canudinhos atritados.

Como a força elétrica é uma grandeza vetorial, ela aponta na direção das cargas que estão interagindo. Ou seja, se temos apenas um canudinho atritado, o versorium irá apontar na direção do canudinho atritado, como pode ser visto na figura 12. Quando temos dois canudinhos atritados, a resultante da força estará entre os dois canudinhos, numa posição intermediária, vide figura 13. Com vários canudinhos, a direção apontada pelo versorium estará dizendo para onde a resultante das forças está dirigida. Nas figuras 14 e 15 temos algumas fotos ilustrando esse experimento.

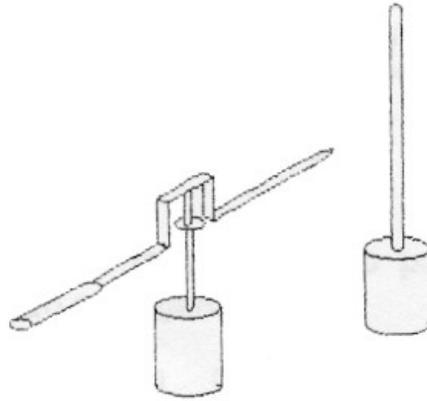


Figura 12: Caráter vetorial da força elétrica. O versorium alinha-se com o canudinho atritado.

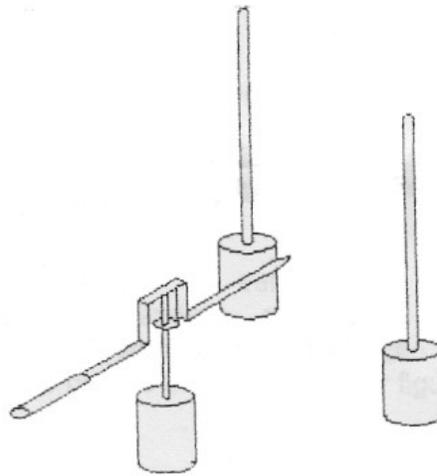


Figura 13: Força elétrica devido a dois canudinhos atritados interagindo com o versorium.

3.2.4 Mapeamento do Campo Elétrico

Também pode-se usar o versorium para fazer um mapeamento do campo elétrico. Pretendemos aqui mapear o campo elétrico devido a um canudinho carregado (simetria cilíndrica) e também o de uma placa plana carregada.

Para mapear o campo devido ao canudinho carregado, atritamos um canudinho na flanela e o espetamos numa base de massa de modelar para apoiá-lo. Então aproximamos o canudinho do versorium e o movimentamos em torno do versorium, observando como o versorium se movia.

Para mapear o campo de uma placa, utilizamos uma placa de alumínio que foi fixada em um canudinho descarregado e esse canudinho foi espetado numa base. Então eletrizamos a placa por indução. Para isso, atritamos um outro canudinho de refrigerante e o aproximamos de um lado da placa sem encostar nela. Com o canudinho próximo deste lado da placa, apenas tocamos com o dedo no outro lado da placa e afastamos o dedo, deixando sempre o canudinho atritado perto da placa. Só depois de tocar o outro lado da placa e de afastar o dedo é que afastamos o canudinho atritado. Desse modo conseguimos uma placa carregada por indução. Para saber o sinal da carga que está na placa, basta seguir o seguinte raciocínio: um canudinho atritado com flanela adquire carga negativa ¹¹. Ao

¹¹A explicação para o sinal da carga do canudinho está dada na parte dos experimentos com durex, juntamente com

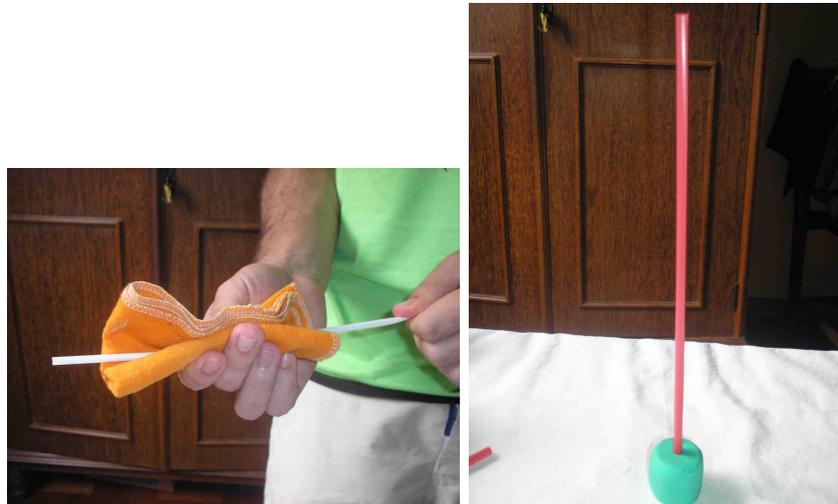


Figura 14: Foto ilustrando um canudinho sendo atritado, e depois a sua montagem em uma base.



Figura 15: Versorium de alumínio apontando na direção da força elétrica. Na primeira foto temos apenas um canudinho atritado, na segunda dois canudinho atritados e na terceira, três canudinhos atritados. Veja que quando temos dois canudinhos atritados, a resultante da força está numa direção entre os mesmos. Quando temos muitos canudinhos atritados como na última foto, a direção final do versorium indica a direção da força resultante.

aproximarmos esse canudinho carregado de um dos lados da placa de alumínio, que é condutora, as cargas irão se separar, sendo que a extremidade próxima ao canudinho fica positiva e a outra, onde encostaremos o dedo, fica negativa. Observe que nesse caso os elétrons tendem a se movimentar para a extremidade oposta ao canudinho (as cargas negativas do canudinho repelem os elétrons de um dos lados da placa). Ao tocar com o dedo na placa, os elétrons irão fluir para nosso dedo, fazendo diminuir o número de elétrons na placa, deixando-a carregada positivamente.

No caso do canudinho carregado as linhas do campo apontam radialmente. Para observar isso basta girar um canudinho carregado vagarosamente em torno do versorium (ou vice versa) e observar que o mesmo sempre aponta na direção do canudo atritado. Ou seja, as linhas do campo são radiais. Veja a figura 16.

A primeira foto da figura 15 serve também para ilustrar a direção do versorium em relação à linha de campo do canudinho.

No caso da placa, as linhas de campo são normais à superfície, sendo paralelas entre si. Fazendo esse experimento vemos que o versorium fica apontado em uma direção normal a superfície da placa.

a referência bibliográfica.

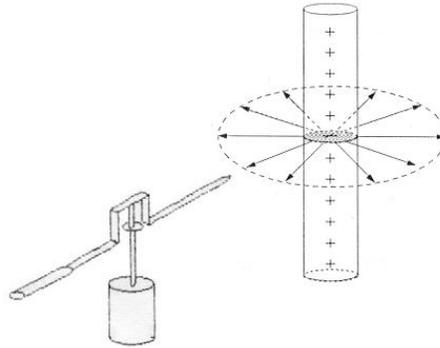


Figura 16: Campo elétrico de uma simetria cilíndrica.

A foto a seguir na figura 17 ilustra o resultado obtido, que concorda com o que esperávamos.

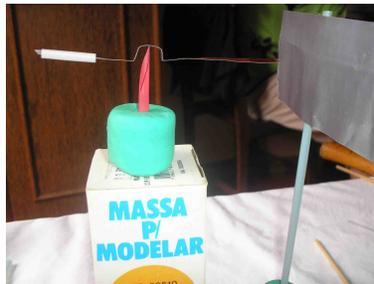


Figura 17: Campo elétrico de uma placa de canudinho de refrigerante.

3.2.5 Interação Entre Versoriuns

Nesta parte estamos interessados em saber como os versoriuns se comportam quando eles estão eletrizados. Queremos aqui ver os fenômenos de atração e repulsão. Iremos utilizar um versorium de alumínio montado sobre um canudinho chanfrado, e também um versorium de canudinho de refrigerante. Colocamos então o versorium de alumínio próximo a um outro versorium de canudinho de refrigerante, onde esse canudinho foi antes atritado em pedaço de flanela estando, portanto, carregado eletricamente. Visto que temos um versorium carregado (canudinho) e outro neutro (alumínio), os dois se movimentam de forma que os dois apontam um para o outro. Nesse caso houve um atração entre eles. A explicação aqui é a mesma dada na primeira seção, temos um corpo carregado atraindo um corpo neutro. Nesse caso, a resultante das forças é aquela que os atrai.

Em seguida utilizamos dois versoriuns de canudinho, sendo que os dois canudinhos foram atritados antes (atritamos apenas um dos braços de cada versorium). Ou seja, os dois possuem a mesma carga. Em seguida aproximamos os dois, observando como eles se movimentam. Percebemos que o lado atritado de um dos versorins tende a repelir o lado atritado do outro versorium. Sabemos que os dois versoriuns têm cargas iguais e que cargas iguais se repelem. Isso faz com que essa interação seja uma repulsão entre os versoriuns.

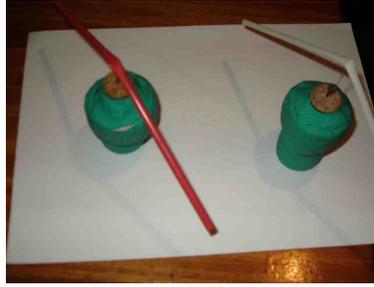


Figura 18: Interação entre os versoriuns de plástico.

3.3 Experimentos com Fita Adesiva

São vários os fenômenos eletrostáticos que podem ser observados com fita adesiva, tipo *durex*. Exemplos: eletrização por contato; interação entre fitas carregadas e da fita com outros objetos; verificação da natureza dessa força e como ela varia com a distância entre as fitas e com a quantidade de carga; construção de um dipolo elétrico; processo de descarga e se a fita é um condutor ou um isolante.

A seguir serão descritos os procedimentos que devem ser seguidos para a realização dos experimentos com uma explicação dos fenômenos envolvidos.

3.3.1 Preparação das Fitas

Neste experimento é necessário preparar dois tipos de fitas *durex*, que como veremos a seguir, são diferentes entre si. As fitas receberão os seguintes nomes: fita **S** e fita **I**, que correspondem a **Superior** e **Inferior**, respectivamente.

Para preparar a fita **S**, primeiramente cola-se um pedaço de *durex* com aproximadamente 20 cm sobre uma superfície lisa, como o tampo de uma mesa (essa fita é chamada de base). Ela deve ser alisada, passando o dedo sobre a mesma. Em seguida cola-se um outro pedaço (de mesmo tamanho) sobre o primeiro, sobrepondo completamente a base. Recomenda-se dobrar as duas pontas do *durex* para facilitar a retirada e o manuseio das fitas. Escreve-se com uma caneta hidrográfica sobre a parte dobrada a letra **S**, para indicar que esta é a fita superior. Esfrega-se o dedo sobre a fita superior e com um movimento rápido retira-se apenas a fita de cima. Caso a fita fique um pouco enrolada, segure-a pelas dobras feitas e, muito levemente, tente esticá-la de modo a ficar o mais reto possível. Cole-a verticalmente na ponta de uma mesa, de modo que a fita fique livre para que se possa aproximar dela outros objetos. Aproximando um corpo neutro (por exemplo, nossa mão) percebe-se que a fita movimenta em direção ao objeto. Vê-se aqui uma atração elétrica, sendo que o corpo eletrizado é a fita *durex*, pois o outro objeto, que foi aproximado, estava neutro. A figura abaixo ilustra a montagem das fitas **S**.

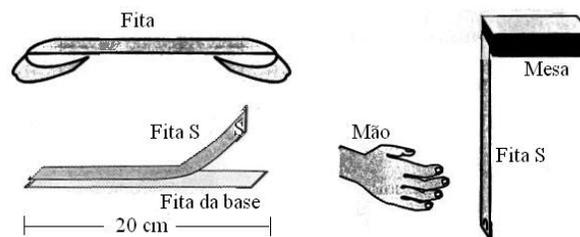


Figura 19: Esquema representando as etapas de preparação da fita S.

Uma observação importante é que nem sempre esta experiência funciona. Se o dia estiver muito úmido os efeitos não são tão visíveis. Além disso, também ocorrem variações dependendo da marca da fita adesiva. Nas experiências que fizemos funcionaram muito bem fitas adesivas da *Scotch* e da *Aro*. Algumas fitas adesivas sem marca não funcionaram ou apresentaram apenas efeitos pequenos. É bom testar esta primeira experiência (atração da fita **S** pela mão) com marcas diferentes, até encontrar as marcas que apresentam bons resultados.

Agora será descrito o procedimento para a preparação da fita **I**. Já tendo a fita de base (aquela que está diretamente sobre a superfície superior da mesa) cola-se uma outra fita também de 20 cm sobre a base, lembrando de dobrar as pontas. Escreve com uma caneta hidrográfica sobre a parte dobrada a letra **I** para indicar que esta é a fita inferior. Esfrega-se o dedo sobre a mesma e depois cola-se uma terceira fita sobre a fita **I**. Na parte dobrada desta terceira fita escreve-se a letra **S**, para indicar fita superior, esfregando o dedo sobre esta última. Feito isso, deve-se retirar de maneira conjunta as fitas **I** e **S**. Com um movimento lento retira-se a fita **I**, trazendo juntamente a fita **S**. Ou seja, são retiradas as duas de cima, ficando na mesa apenas a fita base. Antes de prosseguir deve ser verificado que este conjunto de duas fitas, **I** e **S**, não é atraído pela nossa mão. Isto é, prende-se a parte superior do par sobre a lateral de uma mesa, deixando o par na vertical, livre para se deslocar lateralmente. Aproxima-se a mão do par e o par não deve ser atraído nem repelido pela mão. Este passo é importante. Com as duas fitas juntas e retiradas da mesa, deve-se separar as duas puxando-as rapidamente. Novamente aproxima-se um corpo neutro (a mão, por exemplo) separadamente de cada uma das fitas (com as duas partes superiores estando afastadas e presas à lateral de uma mesa, com as duas fitas na vertical livres para se deslocar lateralmente). Deve ser observado se as fitas movimentam-se em direção à mão. Se isso ocorrer, elas estão prontas. Isto é, as duas fitas, **I** e **S**, ficaram carregadas eletricamente. Estamos então prontos para prosseguir com as experiências.

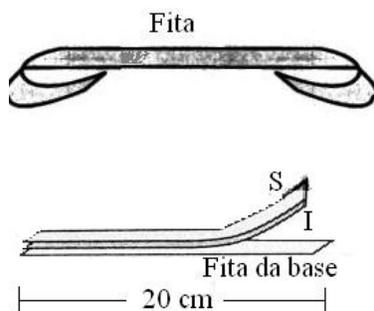


Figura 20: Esquema representando as etapas de preparação das fitas S e I.

A preparação dessas fitas faz com que as mesmas fiquem carregadas eletricamente. A princípio não se sabe qual o sinal de suas cargas. Porém os próximos procedimentos permitirão dizer se as fitas **S** e **I** possuem cargas iguais ou opostas. Acrescentando-se uma outra informação pode ser determinado também qual o sinal de cada uma. Abaixo temos algumas fotos das montagens.

3.3.2 Interação entre as Fitas

Para observar os efeitos de interação entre as fitas é necessário ter prontas pelo menos três fitas. Prepara-se primeiramente um conjunto de duas fitas, como citado anteriormente (fitas **S** e **I**), colocando-as na lateral de uma mesa de modo que elas fiquem verticalmente livres. Depois prepara uma outra fita **S**. Aproxima-se essa última das duas que estão penduradas na borda da mesa



Figura 21: Fotos tiradas durante as montagens experimentais. Na primeira temos a montagem da base, que é a primeira fita que se coloca sobre a mesa. Na segunda, a preparação da fita S, ou seja, está sendo colocada uma fita sobre a base. Na última temos a fita sendo atraída pela mão.

observando o que acontece. Pode também, ao invés de pendurar as fitas na mesa, segurá-las na mão pelas pontas dobradas.

Fazendo isso, observamos que quando aproximamos uma fita **S** de outra fita **S** elas se afastam. Nesse caso percebe-se que ocorre uma repulsão entre elas, possibilitando inferir que possuem cargas de mesmo sinal. Já quando aproximamos as fitas **S** e **I** elas se atraem. Portanto, possuem cargas opostas. Essa interação é bastante visível, as fitas movem-se de modo bastante perceptível, confirmando que algum fenômeno está ocorrendo.

Com essa parte do experimento é possível apenas dizer que fitas **S** têm mesmo sinal de carga, e que as fitas **S** e **I** possuem cargas opostas. Ainda não conseguimos determinar o sinal da carga de cada uma. A seguir será descrito como é possível fazer isso.

Durante este experimento deve-se observar também o efeito da distância entre as fitas. É mais fácil e prático para isso trabalhar com duas fitas iguais, ou seja, duas **I** ou duas **S**. Aproxima-se e afasta-se as fitas observando o ângulo de deflexão entre elas. Ao fazer esse procedimento, será visto que quanto menor é a distância entre as fitas, maior é o ângulo, ou seja, mais afastadas elas ficam, mostrando que essa força que está repelindo as fitas aumenta com a diminuição da distância de separação entre elas. Caso o experimento fosse feito com uma fita **S** e outra **I**, teríamos atração entre elas, mas ainda assim perceberíamos que essa força que as atrai aumenta com a diminuição da distância. Não é muito aconselhável trabalhar com fitas diferentes, pois ao aproximar uma da outra elas podem se tocar prejudicando assim a observação. Abaixo temos na figura 22 as fotos da interação entre as fitas.



Figura 22: Na primeira temos a interação de duas fitas iguais; na segunda, interação de duas fitas diferentes: uma **S** e outra **I**.

3.3.3 Interação das Fitas com Outros Corpos

Para observar a interação das fitas com outros objetos, devemos ter, já preparadas, duas fitas (uma **S** e outra **I**). Com essas fitas prontas, as mesmas são fixadas verticalmente na ponta de uma mesa, ficando livres para aproximar delas um outro objeto. Então pegamos um canudinho de refrigerante, primeiro sem atritá-lo, e o aproximamos das fitas (uma de cada vez), observando o que acontece. Em seguida, esse mesmo canudinho deve ser atritado com uma flanela, e novamente o aproximamos das fitas. Fazendo isso é possível perceber dois fenômenos interessantes. No primeiro teste, o canudinho encontra-se descarregado (neutro), e nesse caso observamos que ocorre atração. A atração ocorre tanto no caso em que aproximamos o canudinho descarregado da fita **S**, quanto no caso em que aproximamos o canudinho descarregado da fita **I**. Ao atritar o canudinho ele fica carregado. Como visto na seção anterior, as fitas **S** e **I** possuem cargas diferentes, sendo uma positiva e a outra negativa. O canudinho tem necessariamente uma dessas cargas, fazendo com que seja atraído por uma das fitas e repelido pela outra.

Até esse instante não sabemos o sinal da carga de cada uma das fitas, sabemos apenas que possuem algum tipo de carga. A partir do momento que conhecemos exatamente o sinal da carga de um determinado objeto, é possível então determinar o sinal da carga adquirida por cada uma das fitas. Em [Chabay e Sherwood, 2002] temos:

*“Do mesmo modo, se você friccionar um objeto plástico limpo tal como uma caneta através de seu cabelo (ou com pele de animal, lã, ou mesmo algodão), o plástico acabará tendo carga negativa e então repelirá elétrons.”*¹²

A proposta então para determinar a carga das fitas consiste em atritar um canudinho, um pente e uma caneta em um pedaço de flanela. Todos esses são objetos de plástico. De acordo com a citação acima, temos que esses objetos atritados ficarão com carga negativa. Ao aproximar esses objetos das fitas, observamos o comportamento de cada uma. Esses objetos irão repelir uma das fitas e atrair a outra. Fazendo o experimento é possível perceber que a fita **S** é atraída pelos objetos plásticos, sendo portanto **positiva**, enquanto que a fita **I** é repelida, logo tem carga negativa, igual a dos objetos.

Após determinar o sinal da carga de cada uma das fitas, essas experiências servem para dizer se um objeto encontra-se neutro ou carregado. Se o corpo não tiver uma carga elétrica resultante, será atraído pelas duas fitas carregadas, tanto pela **I** quanto pela **S**. Se o corpo tiver uma carga líquida, será atraído por uma das fitas e repelido pela outra. Caso o corpo esteja carregado, pode-se avaliar qual o sinal da carga, bastando para isso aproximá-lo das fitas, pois agora já sabemos o sinal das cargas de **I** e de **S**.

3.3.4 Fita Adesiva: Condutora ou Isolante?

Uma vez que preparamos corretamente as fitas, elas possuem cargas. Mas será que as cargas sempre ficarão nas fitas, mesmo manuseando-as tanto? A fita durex apresenta dois lados, sendo um liso (sem cola) e o outro com cola. O que acontece se tocarmos o dedo em um dos lados? Ou então, o que acontecerá se esfregarmos o dedo em um movimento de vai e volta sobre a fita? A seguir será dada uma descrição sobre os fenômenos observados e uma possível explicação para eles.

O primeiro teste a ser feito aqui é tocar com o dedo no lado liso da fita e observar o que acontece. Fazendo isso percebemos que nenhum efeito ocorre e a fita continua sendo atraída por nossa mão do

¹²Extraído de [Chabay e Sherwood, 2002], Matter and Interactions, pág. 465.



Figura 23: Caneta atritada sendo aproximada de uma fita I. De acordo com Shabay e Sherwood, uma caneta atritada no cabelo ou no algodão fica carregada negativamente. Como esta fita está sendo repelida pela caneta atritada, descobrimos que a fita I fica carregada negativamente.

mesmo jeito que antes. Desse modo não conseguimos tornar neutra a fita. A seguir encostamos o dedo no lado com cola e também não percebemos nenhuma mudança.

O próximo passo a ser feito agora é, ao invés de tocar, esfregar o dedo em movimento de vai e volta na fita e observar. Fazemos isso primeiramente no lado liso. Em seguida, aproximamos a nossa mão da fita, observando que a intensidade com a qual a fita é atraída em direção à nossa mão diminui em relação ao caso em que não esfregamos a fita. Quanto mais esfregamos a fita, menos atraída pela mão ela vai ficando, até um momento em que nossa mão não mais a atrai. Chegamos numa situação onde a fita parece estar neutralizada. Em [Chabay e Sherwood, 2002, pág. 462] vemos uma referência a esse procedimento. Nessa experiência vemos que para fazer a fita não interagir, basta esfregar nosso dedo em movimento de vai e volta no lado liso, várias vezes. Porém, o próprio texto diz que isso é um pouco estranho, porque se a fita está carregada, as cargas presumivelmente estão no lado de cola. Entretanto, esfregando o dedo no lado liso aparentemente a neutralizamos.

Também em [Chabay e Sherwood, 2002] temos que:

“Usamos rotineiramente o que pode ser parecido um método muito estranho para descarregar a fita que é friccioná-la pelo lado liso, mesmo quando era o lado com cola que ficou carregado. Vamos tentar esclarecer esse quebra-cabeça. Você pode descarregar facilmente uma folha metálica carregada tocando-a brevemente em qualquer parte, pois ela é um condutor. É mais difícil descarregar uma fita carregada. Como a fita é um isolante, você tem que esfregar seus dedos sobre toda a superfície para neutralizar totalmente as cargas. Friccionando o lado de cola da fita, ela tende a carregar, o que competiria com sua tentativa de descarregá-la. Isto explica porque friccionamos apenas o lado liso.”¹³

Agora de posse de uma fita carregada esfregue apenas a sua metade superior com os dedos no lado liso. Faça isso até notar que a fita está neutralizada na parte superior. Então leve a mão próximo a parte inferior da fita e depois próximo a parte superior. Será observado que a mão não atrai mais a metade superior da fita, mas ainda atrai a parte inferior. Isso indica que quando esfregamos o dedo na fita, somente a parte que foi friccionada se neutralizou. E indica também que as cargas na fita não se movimentaram, indicando claramente que a parte lisa da fita é um **isolante**.

¹³Extraído de [Chabay e Sherwood, 2002], Matter and Interactions, pág. 480-481.

3.3.5 Construção de um Dipolo Elétrico

Agora será mostrado como construir um dipolo elétrico usando as fitas de durex carregadas. Queremos aqui mostrar o que acontece com o dipolo quando aproximamos um objeto carregado.

Para a preparação do dipolo precisamos inicialmente de duas fitas (uma **S** e outra **I**), ou seja, fitas com cargas opostas. Também será necessário um pedaço de fio de seda, que é um excelente isolante. Pegamos então uma das fitas e colamos nela o fio de seda, de forma que o mesmo fique bem na borda da fita e que sobre um pedaço fora da fita. Em seguida colamos a outra fita, sobrepondo apenas onde o fio de seda está, ou seja, as fitas devem ficar coladas apenas pela borda. Pendure a montagem pelo fio e chegue próximo dele objetos carregados. A figura 24 ilustra como deve ser feita a construção do dipolo.

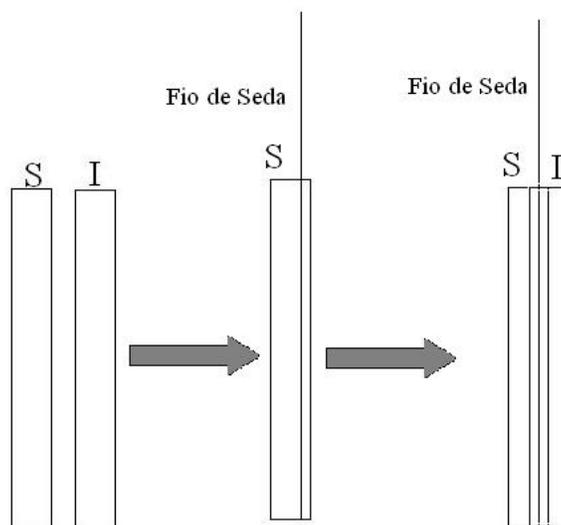


Figura 24: Esquema por etapa da montagem do dipolo usando as fitas S e I.

Percebe-se claramente que construímos um objeto muito sensível, pois o mesmo irá movimentar-se quando aproximamos, por exemplo, um canudinho que foi atritado com a flanela. Como o dipolo tem duas fitas carregadas com cargas contrárias, o mesmo voltará, para o canudinho, o seu lado carregado com carga oposta ao canudinho.

3.3.6 Interação das Fitas Através de um Pedaço de Papel

Inicialmente devemos preparar duas fitas **S**. Depois penduramos uma das fitas na borda da mesa e uma pessoa segura a outra fita pelas extremidades dobradas próximo a fita que está pendurada. Como as fitas possuem cargas iguais já sabemos que elas se repelirão. Alguém pega uma folha sulfite e a coloca entre as fitas bem lentamente, com um movimento vertical de baixo para cima. À medida que a folha vai ficando entre as fitas, a distância de separação entre as mesmas diminui. Este é o fenômeno que observamos. Mas por que as fitas se aproximam uma das outras na presença do papel?

Sem o papel, a única interação que existe é a repulsão entre as fitas. Quando colocamos o papel (que está neutro) o papel irá atrair as duas fitas em sua direção. Em cada uma das fitas existirá uma força de atração e outra de repulsão. Veja o desenho 26.

Neste esquema vemos que as forças têm a mesma direção, mas sentidos contrários, ou seja, a resultante será a diferença entre essas duas forças. Quando o papel está ausente, a única força



Figura 25: Foto de um canudinho sendo aproximado de um dipolo construído. O dipolo está alinhado na direção do canudinho.

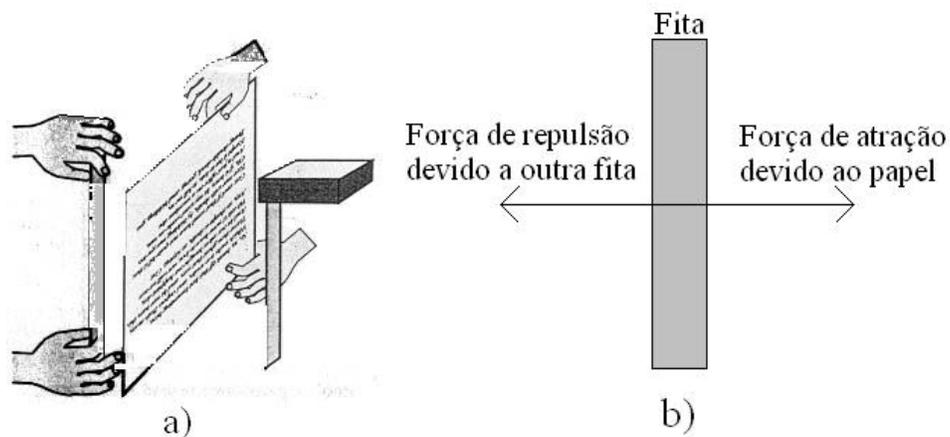


Figura 26: (a) Desenho esquemático de como deve ficar a montagem experimental. (b) Esquema das forças que estão atuando sobre a fita do lado esquerdo.

presente é a de repulsão, fazendo com que as fitas tenham a maior separação possível. Ao introduzir a folha surgirá a força de atração, que puxa as fitas no sentido do papel, diminuindo assim a distância que existia entre as fitas.

A posição das fitas depende da posição que o papel se encontra em relação a cada uma das fitas, pois sabemos que a força elétrica aumenta com a diminuição da distância entre as fitas. Para observar como isso influi, podemos movimentar o papel para frente e para trás. Veremos assim que as fitas movimentam-se também, variando, portanto, a distância entre elas.

4 Discussão

Como já mencionado várias vezes no texto, os fenômenos de eletrostática já eram conhecidos a bastante tempo (desde aproximadamente 600 a. C. pelos gregos). Porém, foi com Gilbert, em 1600, que seu estudo começou de fato a ser feito e os fenômenos explicados. O versorium foi o primeiro instrumento construído com a finalidade de detectar a interação elétrica. Nesse projeto mostramos vários experimentos que podem ser feitos com o versorium. Atualmente seu uso não se restringe apenas àqueles experimentos que Gilbert fazia. Pelo contrário, existem muitos outros fenômenos que podem ser observados com esse simples instrumento. Dentre os experimentos realizados com o versorium é interessante salientar quais foram desenvolvidos por Gilbert e quais foram implementados aqui. Uma das primeiras preocupações de Gilbert era distinguir a interação elétrica da magnética. Para isso Gilbert construiu seu versorium de um material não ferromagnético, ou seja, não era atraído por um ímã. Porém Gilbert percebeu que quando atritava certos materiais e os aproximava do versorium ocorria um giro no mesmo, indicando que havia alguma interação que não era devido a pedra-ímã. Porém existiam outros materiais que mesmo sendo atritados não causavam giro no versorium. Gilbert denominou esses últimos materiais de **não-elétricos**, enquanto que os primeiros foram chamados de **elétricos**. Com isso, foi possível notar que não era apenas o âmbar que possuía propriedades elétricas. A eletricidade deixou ser vista como propriedade de um corpo apenas. Os experimentos que foram implementados aqui foram: caráter vetorial da força elétrica, mapeamento do campo elétrico e interação entre os versoriuns. Esses últimos fenômenos não foram estudados por Gilbert.

Na segunda parte do projeto foram trabalhados os experimentos com fita adesiva, tipo durex. Tratamos de uma série de experimentos citados em [Chabay e Sherwood, 2002]. Durante a realização dos experimentos com durex, foi possível ver como os fenômenos eletrostáticos estão presentes em vários materiais que manuseamos no dia-a-dia e muitas vezes não sabemos que sua origem é explicada pela eletrostática. Nos experimentos com durex temos evidências claras que a força responsável pelos efeitos é de origem elétrica. Primeiro porque existem dois tipos de fitas com comportamentos diferentes quando aproximamos delas um objeto carregado, cuja carga sabemos o sinal, indicando que as fitas têm cargas opostas. Outra indicação é que a força decresce com o aumento da distância, assim como a força elétrica. Essa força depende também da quantidade de carga, e isso é observado quando passamos o dedo nas fitas tentando descarregá-la. Esse processo é gradativo. Isto é, quanto mais vezes passamos o dedo pela fita carregada, menos ativa ela fica (é cada vez menos atraída por um corpo neutro condutor, etc.). Vemos então que cada vez temos menos cargas na fita, sendo que a força percebida pela fita diminui cada vez mais até deixar de ser percebida (as fitas perderam toda sua carga). A explicação para a atração e repulsão entre as fitas, ou das fitas com outro objeto é a mesma dada para explicar por que o versorium atrai ou repele um objeto. Só precisamos lembrar que quando temos cargas opostas ocorre atração; e cargas iguais, repulsão. Além disso, é preciso levar em conta que a força elétrica aumenta com a diminuição da distância entre os corpos carregados.

5 Conclusão

Tinha-se como objetivo neste projeto mostrar vários experimentos de eletrostática que são de fácil manuseio e baixo custo. Experimentos desse tipo são importantes no sentido em que não tomam muito tempo de um professor em sala de aula (problema para escolas com reduzido número de aulas de física) e servem como uma introdução e/ou motivação para os alunos no curso de eletrostática. A eletricidade é um fenômeno que sempre despertou curiosidade nas pessoas, e em cada época existia alguma explicação ou ao menos uma tentativa de explicá-la. Pretendia-se também nesse texto mostrar historicamente como o estudo da eletrostática evoluiu, e como a construção de um simples instrumento - o versorium - permitiu a partir de então um estudo mais sistemático da eletrostática. Tendo em vista isso, a execução do projeto mostrou-se satisfatória, pois todos os experimentos propostos foram testados mostrando resultados satisfatórios, conforme o esperado.

6 Comentários do Coordenador

Abaixo segue os comentários feitos pelo coordenador da disciplina durante o curso.

Comentário feito em 08/09/2005 sobre o projeto:

“Projeto aprovado. Tente parametrizar os problemas eventuais com umidade e se possível criar um ambiente isolado de umidade para dias úmidos. Bom trabalho!”

Comentário feito em 17/10/2005 sobre o relatório parcial:

“RP aprovado. Apenas as referências resultam demasiadamente vagas. Descreva o que foi obtido delas, e no “feiradeciencias.com.br” especifique. Abrindo com o botão direito sucessivamente terá o caminho a qualquer texto nela, e não esqueça de copiar o conteúdo, que é variável por construção. Bem, provavelmente tenha feito isso no arquivo anexo, o referencias.zip, mas não o abriu porque, a menos de justificativa técnica, devia estar todo incluído no relatório.”

Referências

- [1] [Chabay e Sherwood, 2002] CHABAY, R e SHERWOOD, B. *Matter & Interactions, Volume 2: Electric and Magnetic Interactions*. John Wiley & sons, Inc. New York, 2002; págs. 460-483.
- [2] [Ferreira, 2005(a)] FERREIRA, N. *Projeto Ripe - Rede de Instrumentação para Ensino*. Experimentoteca/Ludoteca, Instituto de Física - USP. Detalhes em (acessado em setembro de 2005): <http://www.ludoteca.if.usp.br/>
- [3] [Ferreira, 2005(b)] FERREIRA, N. *Magnetismo e Eletricidade*. *Ciência Hoje na Escola*, vol. 12, págs. 14-17 (2005).
- [4] [Ferreira, 2005(c)] FERREIRA, N. *O Versorium*. *Ciência Hoje na Escola*, vol. 12, págs. 18-20 (2005).
- [5] [Gilbert, 1958] GILBERT, W. *De Magnete*. Traduzido do latim para o inglês por P. Fleury Mottelay. (Dover, New York, 1958).
- [6] [Magalhães, 2000] MAGALHÃES, A. P. *De Magnete - Imagens do Magnetismo no Século XVII*. In Anais do VII Semana Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. J. L. Goldfarb e M. H. M. Ferraz (organizadores). Imprensa Oficial SP, Edusp, Editora da Unesp, SP, 2000. Págs. 443-450.
- [7] [Medeiros, 2002] MEDEIROS, A. *As Origens Históricas do Eletroscópio*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 24, págs. 353-361 (2002).
- [8] [Nussenzveig, 2001] NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica, vol. 3 - Eletromagnetismo*. Editora Edgard Blücher LTDA, 2ª reimpressão, São Paulo, 2001, pág. 1.

Sites com informações sobre o versorium e com experiências de eletrostática:

- [9] [Biografia de Gilbert] <http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/gilbert.html> (Acessado em 24/09/2005.)
- [10] [Gilbert e os ímãs] <http://www.scite.pro.br/emrede/eletricidade/magnetismo/gilbertimas.html> (Acessado em 23/09/2005.)
- [11] [Gilbert e o magnetismo terrestre] <http://www.scite.pro.br/emrede/eletricidade/magnetismo/gilbertterra.html> (Acessado em 23/09/2005.)
- [12] [Sticky electrostatics] <http://www.amasci.com/emotor/sticky.html> (Acessado em 10/11/2005.)

Anexo - Páginas consultadas na Internet

William Gilbert

b. May 25, 1544, Colchester, England
d. November 30, 1603, Londra, England



An English scientist and physician to Queen Elizabeth. Gilbert, also known as William of Colchester, performed important early studies of electricity and magnetism. He was the founder of the modern sciences of electricity and magnetism. In his famous book "*De Magnete*" (1600), he was the first to describe the earth's magnetic field and to assume the relationship between electricity and magnetism. He introduced the term electricity. Gilbert was among the first to divide substances into electrics (spar, glass, amber) and nonelectrics.

William Gilbert was born in 1544 in Colchester, England, into a middle class family of some wealth. Until this century, Gilbert's birth was universally placed in 1540. 1544 has now been established on good evidence. His father, Jerome Gilbert, was the recorder of Colchester. One source listed him as a merchant. Clearly his own forebears were merchants and made a fortune at it. None of the good sources says a word about Jerome Gilbert being a merchant, evidently prosperous.



William Gilbert entered St. John's College, Cambridge, in 1558 and obtained an B.A. in 1561, an M.A. in 1564, and finally an M.D. in 1569. At Cambridge he became a Junior Fellow of St. Johns in 1561. He was the mathematics examiner in the college, 1565-6 and bursar, 1569-70. Upon receiving this last degree, in 1569, he became a Senior Fellow of the college, where he held several offices.

Gilbert in his study room

Gilbert is showing his scientific experiments to the Queen Elizabeth I

Gilbert set up a medical practice in London in the 1570s and in 1573 became a member of the Royal College of Physicians (the body that regulated the practice of medicine in London and vicinity). Gilbert, by the mid-1570s, was a prominent physician in London, consulted among others by the aristocracy. In 1600 he became president of the Royal College of Physicians and was appointed as a personal physician to Queen Elizabeth I. He received a pension of 100 pounds (which is hard to distinguish from a salary) from the Queen. He kept the position until Elizabeth died. Apparently his duties as a personal physician to Queen Elizabeth I of England allowed him time to study several scientific questions. He was a scientist, or natural philosopher, to use the historical term, in his spare time. He is known to have inherited property from his father, and it is possible that he inherited Wingfield House, his residence in London, from his step-mother (a Wingfield), sometime before 1583. He never married.

Gilbert spent 17 years experimenting with magnetism and, to a lesser extent, electricity. For his work on magnets, Gilbert became known as the "**Father of Magnetism.**" He discovered various methods for producing and strengthening magnets. For example, he found that when a steel rod was stroked by a natural magnet the rod itself became a magnet, and that an iron bar aligned in the magnetic field of the earth for a long period of time gradually developed magnetic properties of its own. In addition, he observed that the magnetism of a piece of material was destroyed when the material was sufficiently heated.



He assembled the results of his experiments and all of the available knowledge on magnetism in the treatise "*De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure*" ("On the Magnet, Magnetic Bodies, and the Great Magnet of the Earth"), published in 1600. He introduced the term electric for the force between two objects charged by friction and showed that frictional electricity occurs in many common materials. He also noted one of the primary distinctions between magnetism and electricity: the force between magnetic objects tends to align the objects relative to each other and is affected only slightly by most intervening objects, while the force between electrified objects is primarily a force of attraction or repulsion between the objects and is grossly affected by intervening matter. Gilbert attributed the electrification of a body by friction to the removal of a fluid, or "humour," which then left an "effluvium," or atmosphere, around the body. The language is quaint, but, if the "humour" is renamed "charge" and the "effluvium" renamed "electric field," Gilbert's notions closely approach modern ideas.

The book starts with a resolve to strip away all myth from the subject and reason from observation: *"In follies and fables do philosophers of the vulgar sort take delight; and with such like do they cram readers a-hungred for things obtruse, and every ignorant gaper for nonsense. But when the nature of the lodestone shall have been by our labours and experiments tested, then will the hidden*



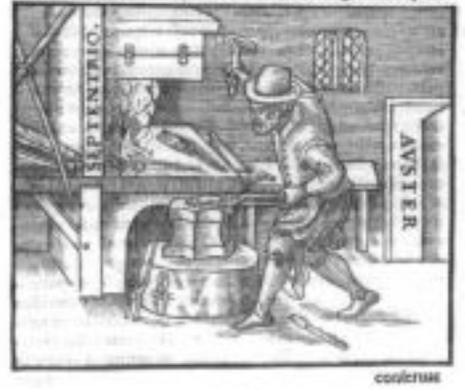
Cover page of the original Latin edition of De Magnete, London, 1600

and recondite but real causes of this great effect be brought forward, proven, demonstrated... and the foundations of a grand magnetic science being laid will appear anew, so that high intellect may no more be deluded by vain opinions". Gilbert was a believer in an animistic philosophy, and despite its modernity, the six books of De Magnete are cast in animistic and anthropomorphic terms.

Quomodo verticitas existit in ferro quous excocito magneti non excito.



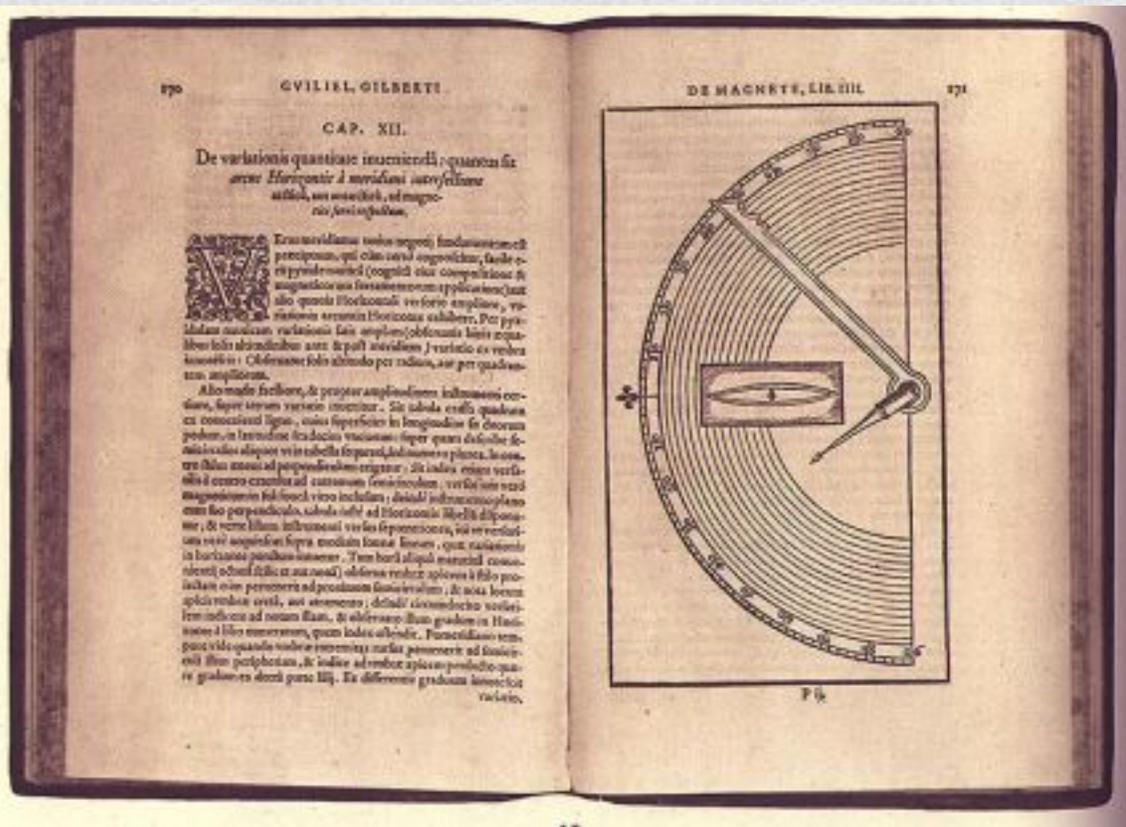
Admiranda naturae & ingenitae causa, & acquisita per lapideam potentiam declinationis. Nunc vero & in excocito ferro lapide non excocito, magneti non excocito, virtutem causae rursus esse. Admirabile nobis magneti & ferri potentia & admiranda subtiliora. Demonstratur etiam ferri, ferri lapide non excocito in ferrositate ferri & mendum, sed & habere verticitatem, ut illi proprias & singulares polares declinationes, quatuordecim magneti, aut ferri magneti attritus. Illud quidem nobis mirum & incredibile prorsus videbatur. Ferri metallici ex terra in ferrositate excocitatur, etiam ex formace, & in magna massam induritur, nulla illa deinde in magneti officina, & in bacula ferrea excocitatur, ex quibus libi rursus parva componuntur instrumenta, & ferrositate accenditur. Ita vane elaboratur & in plurimas subtilitates eadem massa transformatur. Quid est igitur illud quod



Gilbert's De Magnete book, Latin edition, London, 1600 p. 139



Gilbert dedicated the book to those who look for knowledge "not only in books but in things themselves." Note that Gilbert, a prominent and probably wealthy



physician, did not dedicate *De Magnete* to anyone. On the contrary, it is dedicated to Gilbert by Edward Wright, who wrote the dedicatory epistle.



Gilbert's *De Magnete* quickly became the standard work throughout Europe on electrical and magnetic phenomena. Europeans were making long voyages across oceans, and the magnetic compass was one of the few instruments that could save them from being hopelessly (and usually fatally) lost. But little was known about the lodestone (magnetic iron ore) or magnetized iron. Gilbert tested many folk tales. Does garlic destroy the magnetic effect of the compass needle? More importantly, he made the first clear distinction between magnetic and the amber effect (static electricity, as we call it). *De Magnete* is a comprehensive review of what was known about the nature of magnetism, and Gilbert added much knowledge through his own experiments. He likened the polarity of the magnet to the polarity of the Earth and built an entire magnetic philosophy on this analogy. In Gilbert's animistic explanation, magnetism was the soul of the Earth and a perfectly spherical lodestone, when aligned with the Earth's poles, would spin on its axis, just as the Earth spins on its axis in 24 hours. (In traditional cosmology the Earth was fixed and it was the

From title page of the original Latin edition of *De Magnete*, London, 1600

sphere of the fixed stars, carrying the other heavens with it, that rotated in 24 hours.) Gilbert did not, however, express an opinion as to whether this rotating Earth was at the center of the universe or in orbit around the Sun.

One of Gilbert's major discoveries was that the earth is a huge magnet, a connection that Peregrinus failed to make. He proved that a compass needle swings north because of the magnetism of the earth itself and not - as some believed - because of a star in the Big Dipper or a mysterious range of iron-capped mountains in the North. Using a spherical magnet and magnetic needle that was free to rotate in a vertical plane that included the magnetic poles of the sphere, he found that the needle dipped below the horizontal (the tangent plane to the sphere) at different angles, depending on its position on the sphere. Gilbert realized that lines joining points of constant magnetic declination (the angle between the magnetic needle and the horizontal) were also lines of constant latitude on a sphere. Impressed with his discovery, he suggested an application to navigation. Although navigators used compasses at sea, they knew that variations in the earth's magnetism often caused a compass to be unreliable. Gilbert thought circles indicating constant magnetic dip on the earth might be more reliable. However, navigators soon found that the dip along latitude lines varied considerably, and so the idea was abandoned. The growing interest in compass navigation may have influenced Gilbert somewhat because he wrote *De Magnete* at the time the English were preparing to meet the Spanish Armada. He specifically proposed the use of magnetic declination and dip to determine longitude and latitude. Thomas Blundeville describes the two instruments of Gilbert's invention intended for these purposes.

To understand better the Gilbert's book impact, we should remember that Gilbert lived roughly the same period as Johannes Kepler. In 1600, when *De Magnete* was published, Giordano Bruno was burned at the stake in Rome because he believed in the Copernican theory. It was also the year in which Johannes Kepler set out to join Tycho Brahe in Prague. Since the Copernican cosmology needed a new physics to undergird it, Copernicans such as Johannes Kepler and Galileo were very interested in Gilbert's magnetic researches. Galileo declared that he received a copy from a philosopher who feared that if he kept it on his bookshelf it would contaminate the other books with its new ideas. Many of the letters that Galileo exchanged with Fra' Paolo Sarpi and with G. F. Sagredo reveal the great interest that the scientific community had for the book of William Gilbert at the beginning of the seventeenth century. Galileo frequently underlined the striking combination of genuinely novel experimental results with credulousness in the writings of Gilbert. Because of his book, Gilbert has been called "the Galileo of magnetism". Galileo said *De Magnete* made Gilbert "great to a degree that is enviable." In Gilbert's work we find the beginnings of seventeenth century experimental observations into connected phenomena, and he provided a starting point for scientists of the next century. Galileo, the master experimentalist of his age, held Gilbert's work in great esteem and the seventeenth century poet laureate John Dryden eulogized him with the lines:

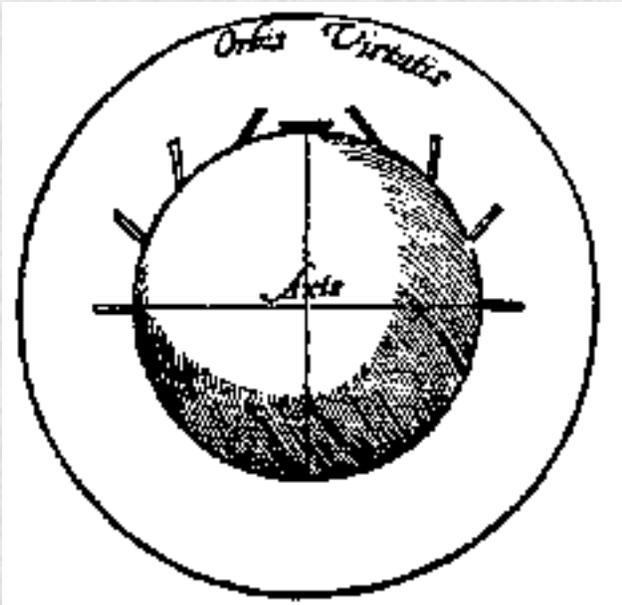
*"Gilbert shall live till the lodestones cease to draw
Or British fleets boundless oceans awe"*.

Gilbert extended his magnetic theories to include the cosmos. His theory that the earth exerted a

magnetic influence throughout the solar system was a precursor to the modern conception of gravity as an attracting force between masses. He explained the diurnal rotation of the earth, postulated that the fixed stars were not all equidistant from the earth, and envisioned seas on the moon. He described the attraction of the moon to the earth and the tides as being magnetic in origin. Kepler tried to use magnetism to explain the force that swept the planets about the sun but he required so many ad hoc postulates that others found this theory unacceptable. Gilbert made other interesting speculations, many of which would be confirmed decades later. For example, he considered comets to be wandering bodies without magnetic polarity that could be either within or outside the orbit of the moon. And he imagined a collection of stars in the Milky Way so numerous and so distant as to appear as a mist or cloud - years before the telescope would be invented and the Copernican system confirmed. He had also reached a correct view of the atmosphere as extending only a few miles from the surface of the earth, with nothing but empty space beyond. Although Gilbert discussed the motion of the earth according to Copernicus's model, he neither confirmed nor denied the theory, perhaps fearing the same fiery fate as Giordano Bruno.

William Gilbert set out to debunk magical notions of magnetism, yet in building an intellectual bridge between natural philosophy and emerging sciences, he did not completely abandon reference to the occult. For example, he believed that an invisible "orb of virtue" surrounds a magnet and extends in all directions around it. Other magnets and pieces of iron react to this orb of virtue and move or rotate in response. Magnets within the orb are attracted whereas those outside are unaffected. The source of the orb remained a mystery. Although his language was that of the natural philosophy of the time, some of his ideas were ahead of his time. His orbs of virtue were a fledgling notion of the idea of fields that would revolutionize physics more than two centuries later.

"Terrella" - magnetic model of the Earth suggested by Gilbert



Sketch of Terrella
from William Gilbert's 'De Magnete', 1600

'Terrella' is Latin for 'little Earth', the name given by Dr William Gilbert to a magnetized sphere with which he demonstrated to Queen Elizabeth I his theory of the Earth's magnetism.

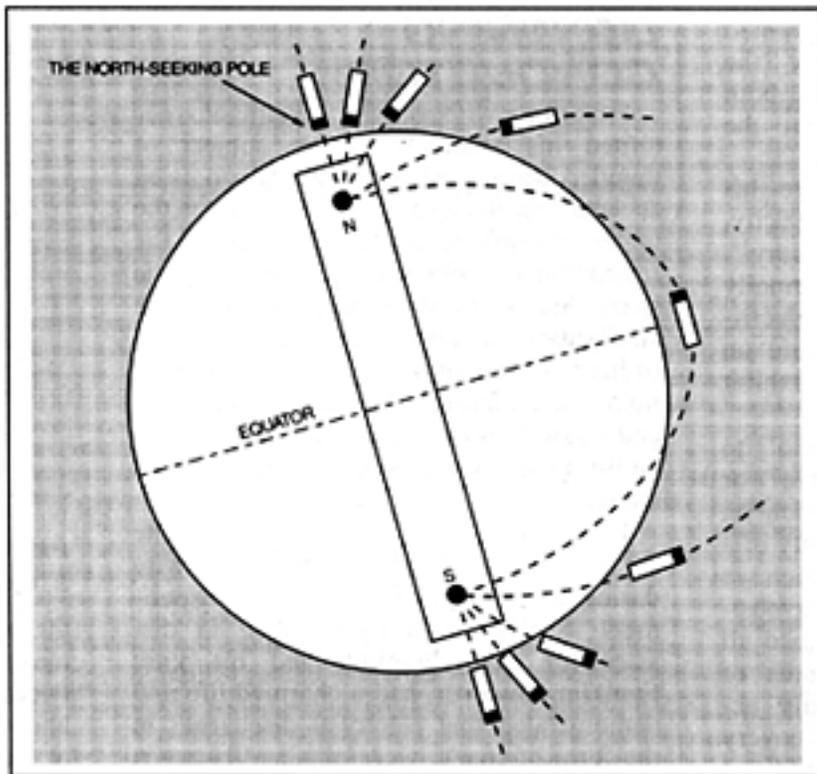


Fig. 2. How the earth's magnetic field is like that of a bar magnet and accounts for the magnetic dip.

Scheme of compass movement around Terrele
from Practical Wireless, May 1997

By moving a small compass around the terrella and showing that it always pointed north-south, Gilbert argued that the same thing, on a vastly larger scale, was happening on Earth, and was the only reason why a compass pointed north-south.

Galileo's efforts to make a truly



Following Gilbert's example, other experimenters produced their own Terrelas; this one was made by G. Adams in about 1765.

powerful armed lodestone for his patrons probably date from his reading of Gilbert's book. Later scientists such as Birkeland used the name "terrella" for magnetized spheres used inside vacuum chambers, together with electron beams, to study the motion of fast charged particles near the Earth. A sophisticated terrella experiment in a vacuum chamber is currently operated at the University of California at Riverside.

Although he is chiefly noted for his work in magnetism, Gilbert made many important contributions to the science of electricity, ranging from the invention of the electroscope to the study of conductors and insulators. To him we owe the term "electricity."

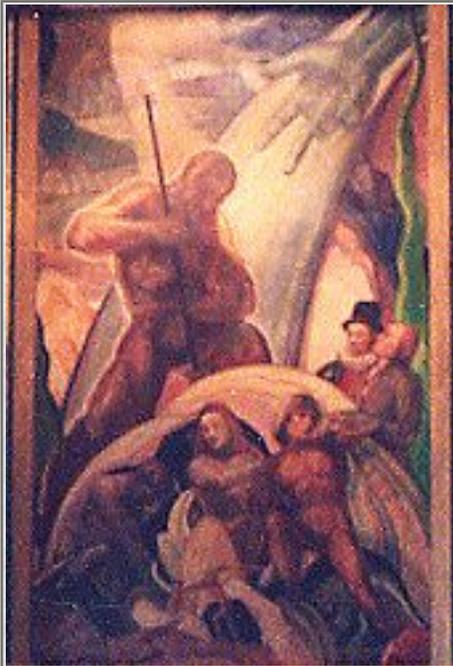
When Queen Elizabeth I died in 1603, her only personal legacy was a grant to Gilbert to pursue his hobby, physics. After the death of Elizabeth he became King James I's physician, but a few months later he was a victim of the plague. To the College of Physicians he left his books, globes, instruments and minerals, but they were destroyed in the great fire of London.

William Gilbert died on 30 November 1603 and was buried in Holy Trinity, an Anglican church, in Colchester where a monument was erected to his memory. The inscription on Gilbert's tomb is modest. It reads: "*He composed a book, concerning the magnet, celebrated among foreigners and among those engaged in nautical affairs.*"



(There is also information that he was buried in Saint John's College, Cambridge, England. The plate at left was pictured there).

Several of Gilbert's unpublished and unfinished works were published in 1651 by his younger half brother under the title "*De Mundo Nostro Sublunari Philosophia Nova*" ("New Philosophy about our Sublunary World"). This work had little impact.



William Gilbert is remembered and his portrait even appeared in some art many years after his death: The Apotheosis of Power. Painted by Hugo Ballin, 1930. The figures on the right are Benjamin Franklin and Dr. William Gilbert.

The [gilbert](#) (Gi) is the CGS unit of magnetomotive force, equal to $10/4\pi = 0.795\ 775$ ampere-turns, is named for him.

 *This text has been compiled from the biographies of Gilbert available in the Internet:*
([1](#), [2](#), [3](#), [4](#), [5](#), [6](#), [7](#), [8](#), [9](#), [10](#), [11](#), [12](#), [13](#), [14](#), [15](#), [16](#), [17](#), [18](#), [19](#), [20](#))

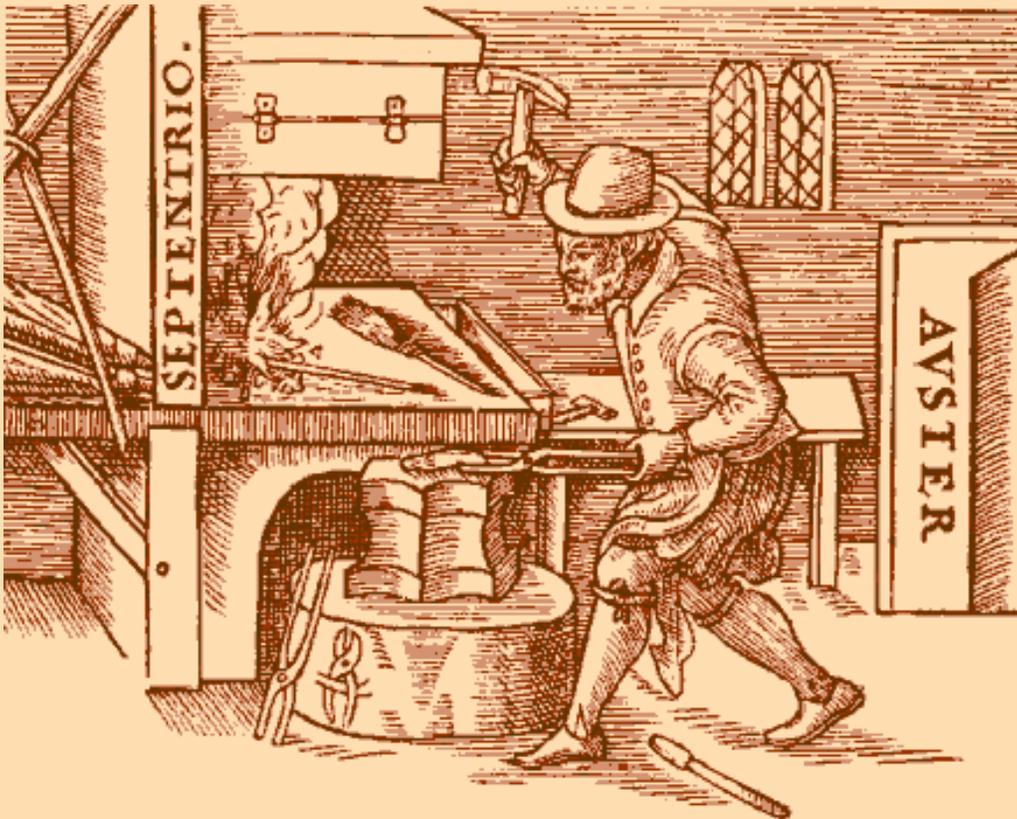
HOME

(updated & corrected on February 7, 2003)

Gilbert e o magnetismo terrestre

William Gilbert foi quem propôs que a origem da orientação das bússolas com o norte tinha sua origem no fato de que a própria Terra se comporta como um ímã. Essa idéia é muito estimulante, mas para Gilbert isso não era suficiente: ele fez suas afirmações com base em fatos experimentais, que apresentaremos a seguir. É importante saber que embora se possa até questionar a validade dos argumentos de Gilbert, sua preocupação de embasar a teoria em fatos significa um grande passo na formação de uma verdadeira metodologia da científica. A obra de Gilbert influenciou significativamente Galileu, que aproveitou a metodologia do trabalho e acrescentou, além da experimentação controlada, uma segunda ferramenta crucial para a física: as medidas matemáticas.

Duas experiências serviram como base para a afirmação de que a Terra se comporta como um ímã. A primeira delas é a magnetização espontânea, já conhecida pelos chineses muitos séculos antes. Esse é um fenômeno que acontece, por exemplo, com estruturas metálicas de construções que estejam orientadas na direção norte-sul. Gilbert descreveu a magnetização provocada após o aquecimento e posterior resfriamento de uma barra de ferro orientada na direção norte-sul. Pancadas na barra de ferro também produzem o efeito. A gravura abaixo, de seu livro *De Magnete*, ilustra exatamente isso (Septentrio significa Norte e Auster significa Sul).



Magnetização espontânea após aquecimento e resfriamento.

Para Gilbert, isso era um indício de que a Terra se comporta como um ímã. Por quê? Simplesmente porque um ímã comum provoca exatamente os mesmos efeitos em uma barra de ferro. O que poderia estar magnetizando esse ferro em resfriamento, sempre que orientado na direção norte-sul?

Atividade: Magnetizando e desmagnetizando.

Arrume:

Alfinetes, vela, fósforo, prendedor de roupas (de madeira) e um ímã que não seja muito fraco.

Magnetização:

- Segure o ímã e coloque um alfinete em um dos pólos..
- Tente colocar um segundo alfinete na ponta do primeiro.
- Veja quantos alfinetes você consegue colocar em seqüência.
- Segure o primeiro alfinete e vá afastando-o do ímã vagorosamente.



Magnetização “permanente”:

- Esfregue bem um dos pólos do ímã ao longo de um alfinete.
- Repita a operação com um segundo alfinete.
- Tente pendurar um alfinete na ponta do outro.



Desmagnetização:

- Acenda a vela. Prenda-a bem para não cair.
- Segure um alfinete magnetizado pelo prendedor de roupas de madeira.
- Coloque outro alfinete na extremidade do primeiro. Eles devem ficar grudados.
- Introduza os alfinetes na chama da vela. **Cuidado: os alfinetes ficarão muito quentes!**

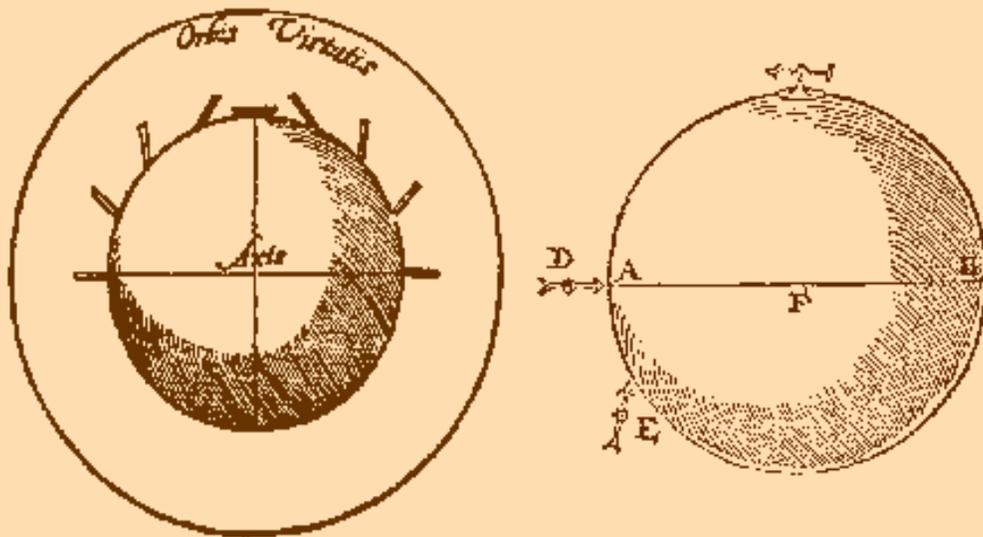


Outro fato que Gilbert analisou foi a questão da inclinação da agulha bússola em relação à horizontal. Esse ângulo é chamado de *inclinação magnética*. Para ver na prática o que isso significa, você precisa ter uma bússola em mãos. Observe qual extremidade da agulha aponta para o norte. Você deverá virar o estojo da bússola de 90 graus de forma que a agulha continue apontando para o norte e o mostrador fique na vertical. Você verá que a agulha não fica na horizontal. A foto abaixo mostra uma antiga bússola francesa, datada de 1840, especialmente construída para determinar a inclinação magnética



Bússola de inclinação magnética

Fazendo essa experiência na região sudeste do Brasil, deve-se obter um valor em torno de 20 graus. A bússola da foto parece indicar algo próximo de 45 graus. Pois bem. Gilbert encontrou uma explicação genial para este fenômeno. Para isso, ele construiu um ímã em forma de esfera, que denominou *terrella* (pequena Terra) e verificou em que direção uma agulha apontaria quando estivesse próxima à superfície.



Imagens da *terrella* de Gilbert, com as agulhas magnéticas.
Note que o equador terrestre está posicionado na vertical.

O comportamento da agulha magnética ao redor da *terrella* tem uma semelhança muito grande com o que ocorre com a inclinação magnética na Terra: nos equador, a inclinação é zero, ou seja, a agulha fica paralela ao horizonte. Nos pólos a inclinação é 90 graus: a agulha aponta para o chão. No hemisfério norte, a extremidade da bússola que aponta para o norte aponta também para baixo. E quanto mais ao norte se estiver, mais próximo de 90 graus é esse ângulo de inclinação. O oposto ocorre no hemisfério sul. Tudo isso podia ser perfeitamente verificado na *terrella*.

Atividade: Construindo e usando a sua própria *terrella*.

Arrume:

Bola de isopor de 10 cm de diâmetro, ímã, estilete, bússola, cola ou fita adesiva.

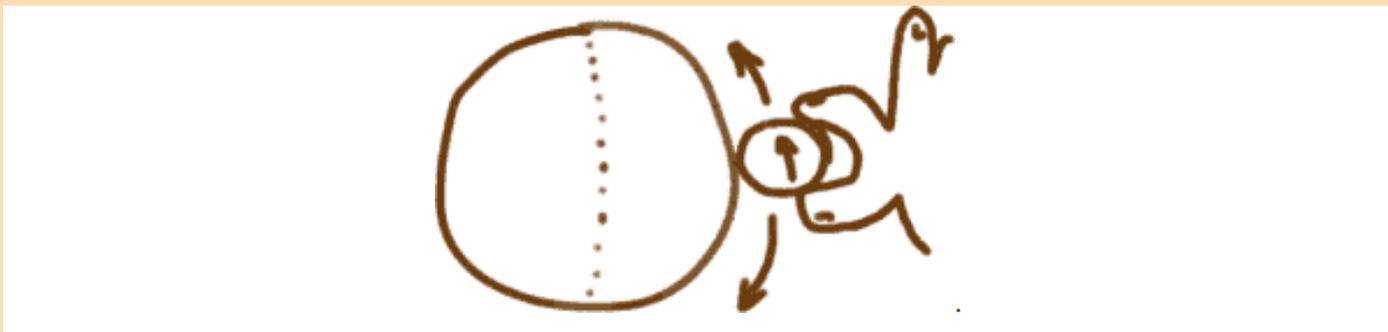
Construindo:

- Corte a bola de isopor ao meio.
- Faça uma cavidade no centro das suas metades para abrigar o ímã.
- Cole ou prenda com fita adesiva as duas metades da bola.



Fazendo os testes:

- Movimente a bússola lateralmente, rente à superfície da esfera.
- Anote as posições assumidas pela agulha da bússola.



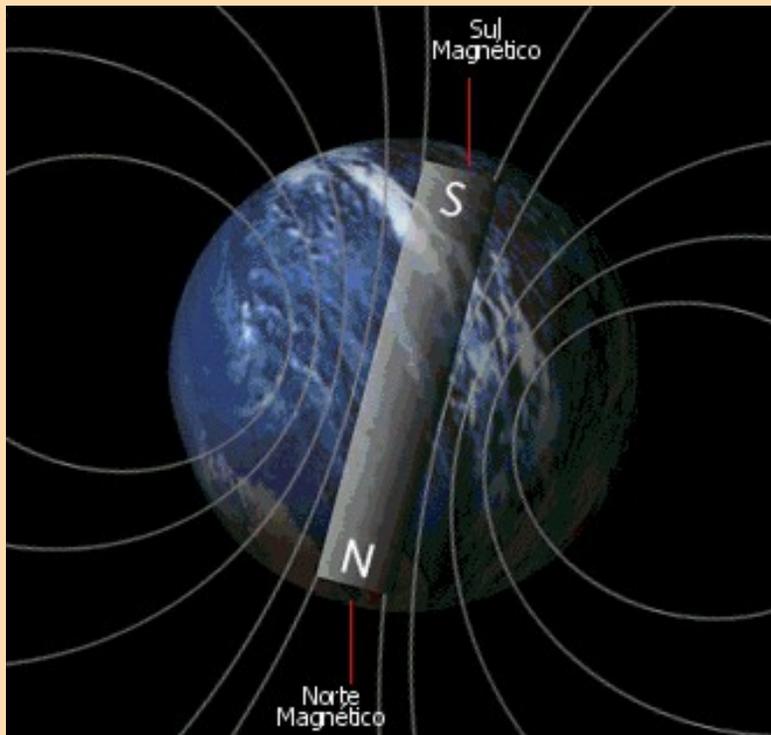
Para Gilbert, esse fato, somado ao fenômeno da magnetização espontânea constituía evidência muito forte de que a Terra em si era um grande ímã.

Pólos magnéticos *versus* pólos geográficos.

Talvez você já tenha ouvido falar que os pólos magnéticos da Terra são invertidos em relação aos geográficos, ou alguma frase estranha do tipo. Que confusão é essa? A história na verdade é simples e não passa de um pequeno problema na escolha de nomes. Veja bem: antes de Gilbert ninguém tinha idéia de que a orientação da bússola ocorria por que a Terra age como um ímã. Uma ponta indicava o norte e pronto.

Alguém achou que seria uma boa idéia dar um nome para distinguir os dois pólos do ímã, um que apontava para o norte e outro que apontava para o sul. Se ele fosse um francês, como [Peter Peregrinus](#) (que inventou essa história dos pólos) poderia ter chamado o primeiro de "dinamarquês" e o outro de "africano", já que um apontava para a Dinamarca e o outro para a África, ou algo assim. Obviamente mais simples foi chamar de pólo norte a ponta que indica o norte e pólo sul aquela que aponta para o sul. Assim esses nomes ficaram.

Acontece, que se a Terra é um grande ímã, e pólos *diferentes* se atraem, tudo fica estranho: o pólo norte do ímã deve ser atraído pelo pólo sul do ímã-terra, mas alguém *definiu* que o pólo que aponta para o norte seria chamado de pólo norte. Alguma coisa tem que ser feita! Mudar o nome dos pólos do ímã seria uma alternativa óbvia, mas alguém propôs que mudássemos o nome dos pólos da Terra! O pólo magnético do ímã-terra que fica ao norte foi denominado "pólo sul magnético da Terra" e vice-versa. Assim, os pólos não estão "invertidos": apenas alguém fez uma péssima escolha de nomes e assim ficou.



Para você pensar:

1. Como você explicaria as influências do calor na magnetização?
2. Na sua opinião, Gilbert conseguiu provar que a Terra é um ímã? Por quê?
3. Você diria que o magnetismo da Terra é a causa da gravidade? Por quê?

Para saber mais:

- Sala de Física - O magnetismo da Terra: <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica5/leituras/magnetismoterra.htm>
- Os 400 anos do De Magnete: [Ciência Hoje 167, dezembro de 2000](#). (Em PDF)

scite

Copyright © 1999-2005 Luís Paulo Piassi
www.scite.pro.br
ano 7

Gilbert e os ímãs



William Gilbert

No século XVI, um dos médicos da rainha Elizabeth (não essa que você viu na TV) estava muito interessado nos fenômenos elétricos e magnéticos. Seu nome era William Gilbert (1544-1603). Por que um médico iria se interessar por esses assuntos? Muito simples: desde que foram descobertos (e até hoje) os fenômenos elétricos e magnéticos despertam a curiosidade das pessoas pelos seus efeitos aparentemente mágicos, o que leva muita gente a acreditar que eles devem ter aplicações terapêuticas. Particularmente, ainda hoje há quem acredite em propriedades terapêuticas dos ímãs, mas não existe qualquer indício científico de que essas propriedades existam.

Mas voltemos a Gilbert. Uma de suas referências parece ter sido uma carta de Petrus Peregrinus, datada de 1269, conhecida como *Epistola de Magnete*. Sobre esse personagem, pouco se sabe, além do fato de que provavelmente se chamava Pedro e que deveria ser uma espécie de peregrino. Acredita-se que ele tenha sido uma espécie de engenheiro militar do exército da Sicília. Nesta carta, Pedro descreve as propriedades da magnetita, fala pela primeira vez em pólos magnéticos e mostra conhecer o fato de que um ímã dividido em duas partes conserva os dois pólos. Isso é um fato curioso que você provavelmente já deve ter ouvido falar. Se alguém quebra um ímã ao meio, cada pedaço resultante terá ele mesmo um pólo norte e um pólo sul. Em outras palavras, é impossível separar os pólos de um ímã. E você me pergunta: por quê? E eu lhe respondo: calma, chegaremos lá.

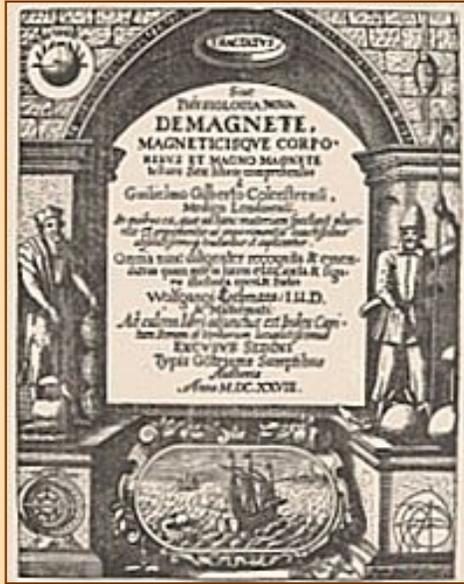
Desafio: Pólos iguais se atraem?

Calma, não fique nervoso. Você deve estar imaginando que eu me enganei no título acima. Ok, você **sabe** que pólos iguais se repelem e pólos diferentes se atraem, porque leu isso em um livro, ou alguém lhe falou. Mas você é capaz de **provar** isso?

Veja bem: nos ímãs não vem escrito qual pólo é norte e qual é sul, a não ser que alguém pinte. Como você sabe que os pólos que estão se atraindo não são iguais? Mesmo em ímãs pintados, que garante que não foram pintados de forma errada?

Há uma maneira de provar isso, pense a respeito.

O grande mérito de Gilbert foi sua atitude cética em relação aos escritos de que dispunha, sobretudo aquelas que vinham da antiguidade greco-romana, como a do romano Lucrécio. Este pensador imaginava que existiam um fluxo de partículas invisíveis saindo do ímã até o ferro e retornando ao ímã, e que, nesse retorno, traziam consigo o ferro. Gilbert não gostava dessas idéias, que segundo ele não eram baseadas na experimentação e sim em meras opiniões. Assim, o que Gilbert fez foi realizar cuidadosas experiências com diversos ímãs e agulhas magnéticas e publicar todos os detalhes em um livro, o "De Magnete".

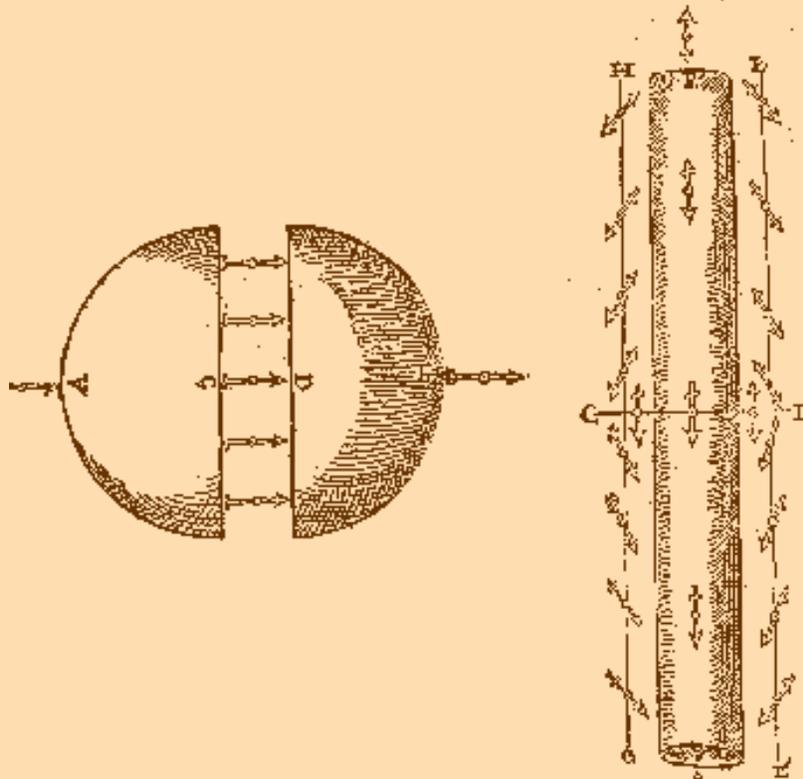


O grande livro de Gilbert

Mas não se apresse em fazer coro a Gilbert, Asterix e Obelix: "são loucos estes romanos ...". As idéias das partículas de Lucrécio, abandonadas desde o século XVI e definitivamente enterradas no século XIX por Faraday e seus amigos vão ressurgir em um contexto totalmente novo, no século XX, pelas mãos do genial Feynman, no que chamamos de eletrodinâmica quântica, mas isso é outra história ... O importante é que Gilbert não se contentou com o plano das idéias: tudo teria que ser baseado na experimentação e, vale dizer, a moderna eletrodinâmica quântica é tão importante porque é baseada na experimentação, ao contrário das idéias de Lucrécio.

E quais foram as experiências de Gilbert?

Uma das coisas que Gilbert fez foi utilizar agulhas magnetizadas para mapear a atração de ímãs de diversos formatos. As ilustrações abaixo, que se encontram em seu livro, mostram alguns resultados por ele obtidos.



Imagens do livro De Magnete, mostrando ímãs e a posição de agulhas magnéticas colocadas em vários pontos

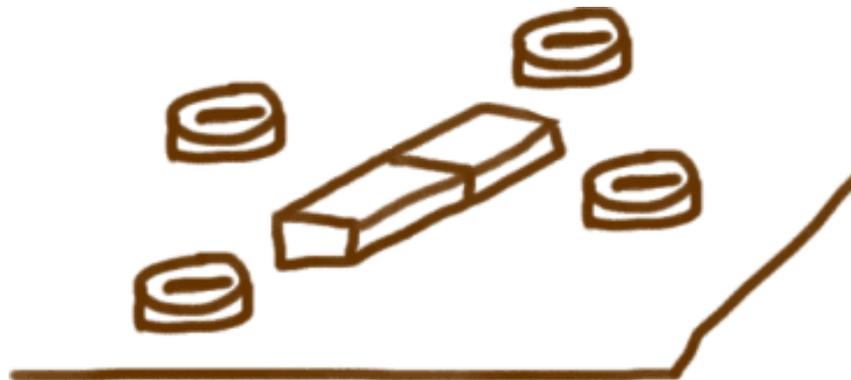
Atividade: Mapeando ímãs com bússolas.

Arrume:

- Uma bússola. Se você não tem uma, construa-a. Veja nosso texto sobre [bússolas](#).
- Um ou mais ímãs de formatos diferentes.
- Uma folha de papel.

Faça:

- Coloque o ímã sobre uma folha de papel.
- Movimente lentamente uma bússola ao redor do ímã e anote a posição que a bússola assume em cada ponto.

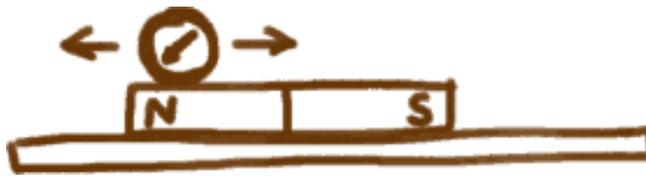


Observe:

- Como é o movimento da agulha da bússola?
- A bússola sempre aponta para o ímã?

Tente também:

- Posicione a bússola lateralmente e passe-a sobre o ímã, do pólo norte até o sul e observe o comportamento da agulha.

**Outra coisa:**

- Pegue um alfinete ou clipe metálico e segure-o pela pontas dos dedos. Movimente-o nas proximidades do ímã, indo de um pólo a outro. Descreva suas observações.



Essas experiências são uma pequena amostra da investigação de Gilbert. Mas há muito mais coisas: o médico da rainha estudou, por exemplo, as formas de se magnetizar o ferro e foi o primeiro a formular a idéia de que a Terra se comportava como um ímã, explicando assim o comportamento das bússolas.

Para você pensar:

1. As experiências propostas definem a idéia de pólo. Como você descreveria este conceito?
2. Pense em como explicar as diversas orientações assumidas pela agulha magnética ao redor do ímã.

Para saber mais:

- Sala de Física - William Gilbert: <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica9/biografias/gilbert.htm>
- Os 400 anos do De Magnete: [Ciência Hoje 167, dezembro de 2000](#). (Em PDF).
- Project Physics. *Projecto Física. Unidade 4*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1985.

scite

Copyright © 1999-2005 Luís Paulo Piassi

www.scite.pro.br

ano 7

STICKY ELECTROSTATICS

(C)1996 [William Beaty](#)

Electrical experiments using plastic tape

There are several things which interfere with our understanding of "[Static](#) Electricity." Most demonstrations incorrectly focus on friction. Also, the nature of matter and the fundamental reasons for charge conservation are usually ignored. And the materials used in demonstrations (silk, fur) are hard to obtain and have a finicky dependence on humidity. The following demonstrations are my attempt to fix these problems.

"STATIC CHARGING" WITHOUT FRICTION

Get a spool of plastic tape. Pull a couple of long strips from the roll, about 20cm each. Hold them up by their ends so they hang downwards, then slowly bring them side by side. Notice that they repel each other? If you try to force the dangling lengths of tape to touch together, they'll swerve and gyrate to frustrate your efforts. You can stick the strips to a door jamb and on a dry day they will keep repelling each other for several minutes. They will also "attack" anyone who passes through the door. Obviously the tape has become electrically charged. But how? After all, no friction was involved. Something odd is going on.

These demonstrations won't work when the relative humidity is high. Try the first one above. If the lengths of tape don't repel each other, then the humidity in the room is probably too high, and none of the other demonstrations will work either. Move yourself into an air-conditioned building, then try again!

Also, 3M SCOTCH Magic(tm) brand tape doesn't work as well as similar tape from other companies. Perhaps 3M puts "anti-static" chemicals in the adhesive?

Next, pass the entire length of each of the hanging strips lightly between two fingers several times, then hold the two strips near each other again. This time they won't repel each other. You've managed to discharge them by fondling them, and the strips are now nearly neutral. (If your fingers are extremely dry, this might not work. Wet your fingers very slightly, but don't get the tape wet.)

Next, fold over a couple of cm of the top of the strips. This gives you a non-sticky tab on each strip. (It makes it easy to get the strips apart again in the next part.) Now carefully stick the two strips together so the sticky side of one strip adheres to the "dry" side of the other. To show that friction plays no part in the following, try to avoid rubbing the tape. You should end up with a double-thick layer of tape which is sticky on one side and has two tabs at one end. Grasp those tabs and rapidly pull the strips apart. Hold them distantly separated, then slowly bring them together. You'll find that this time they attract each other quite strongly. Before they repelled. Now they attract.

REPULSION AS WELL AS ATTRACTION

Next, do the same thing as above, but twice: take four pieces of tape and prepare two *pairs* of tape, each pair having one piece stuck to the back of the other as before. Pull both pairs apart, and either ask a friend for help, or stick a couple of the tapes to the edge of a table so they hang down. As before, you'll find that the lengths of tape which were stuck together now attract each other. But try holding a strip from one pair near each strip of the other pair. You'll find that your single strip will attract one of the other strips, but repel the other. When you peeled each pair apart, one the strips took on opposite charge polarities. The "sticky" strip now repels the other "sticky" strip, but it attracts the "dry" strip. When you have four strips, you can demonstrate that opposite charges attract, but also that alike charges repel.

UN-CANCELLED CHARGES

What's going on here? How did the strips of tape become electrified? There is a simple answer. Contrary to popular belief, "static electricity" is not caused by friction. It's actually caused by contact between dissimilar insulating materials, and is greatly amplified when those materials are forcibly separated. When you stuck the tape strips together, you instantly caused a separation of charges. When you peeled them apart, you pulled the oppositely-charged areas away from each other, causing "un-cancelling"

of charges. Another name for this phenomena is "contact electrification." A less accurate description is "generate static electricity."

In explaining everyday electrostatic phenomena, most authors wrongly emphasize the need to rub materials together to generate separations of charge. They often directly state that the friction **CREATES** the charge separation. This is misleading, since friction really only plays a secondary role in the process. The physics behind "static" electrification usually doesn't involve friction, it involves chemistry.

When the surfaces of two everyday objects are touched together, they always adhere slightly. Chemical bonds form between the atoms which make up the adjacent surfaces, and this causes the adhesion. If the surfaces are not composed of the same sorts of material, then chances are the chemical bonds will be polar, and the bonding electrons will stay with the atoms of one surface more than with the other. The surfaces become oppositely electrified when they touch, because one surface immediately steals electrons from the other as the chemical bonds form. One surface ends up with more negative electrons than positive protons, and then has an overall negative charge. The other surface has fewer electrons than protons, so it has overall positive charge.

"CREATING" CHARGES?

I must take the opportunity here to point out something that bugs me. Books will often state that charges are "created" or "made" during static electrification. This is extremely misleading. Atoms are composed of positive and negative particles (protons and electrons.) The opposite charges are in intimate proximity so the atoms are normally electrically neutral. We cannot avoid the conclusion that **ALL MATTER IS COMPOSED OF CANCELLED ELECTRIC CHARGE**. If we define "electricity" to be that quantity carried by electrons, then we could also say that **ALL MATTER IS MADE OF NEUTRALIZED ELECTRICITY**. Strange, no? But true. Static electrification is a separating, an un-cancelling, of positive and negative particles which were already present in the materials involved. Static electrification is more properly called **CHARGE SEPARATION**. If you grab an atom by its protons and electrons and separate them far apart from each other, you create "static electricity" or charge separation.

Touch two dissimilar surfaces together and the pos/neg charges in their surfaces become separated. When you pull the surfaces apart again, the chemical bonds rupture,

and one surface may end up with more electrons than it started with. The other surface has protons which now lack their nearby cancelling electrons. Oppositely charged particles which had once been adjacent to each other and "cancelled out" within the atoms have now been sorted out and separated by a great distance.

AN ATOM THE SIZE OF YOUR HEAD!

From another viewpoint, peeling the tape causes atoms to become enormously stretched, because the outer electrons of one set of atoms has been pulled far away from their protons. Weird fields of force are still connecting the separated protons and electrons, but these fields had originally existed only down within the microscopic world of the atoms. Stretching out the atoms in this way also "stretches" the tiny atomic force fields. This adds energy to them and causes them to balloon outwards and grow so large that they start to affect us here up in our "macro" world. The invisible attracting/repelling fields which surround electrified objects are the same force-fields normally only found inside of atoms.

So everyday "static electricity" has little to do with rubbing or friction. Instead it involves contact, chemistry, and imbalances in the electrical charges of which matter is made. Electrostatic attraction and repulsion between electrified objects is a feeble residue of the same immense forces which hold solid matter together. Our bodies are held together by "static electricity!" And when a huge crane lifts a steel beam, the immense force within the steel cable is actually an electrostatic force field between the atoms of the cable.

If the surfaces involved in contact electrification are rough or fibrous, then only a tiny part of the surfaces can be touched together at a time. If a balloon is touched against hair, the hair only touches the rubber in tiny spots. The "footprint" of contact area will be a tiny percentage of the total surface. In a situation like this, friction does play a role. If the balloon is DRAGGED across the hair, then the successive areas of contact add up to a much larger percentage. Rubbing a balloon on your head increases the total area of rubber and hair that's being touched, so it also increases the total amount of separated charges. Friction aids the charging effect, but friction does not create it.

ELECTRIFICATION BY "PEELING"

So why do strips of tape become charged? Adhesive tape is not a single material. The

adhesive and the plastic backing are two different insulators. When they are touched together, one surface steals electrons from atoms of the other, and the surfaces become electrified. When they are peeled apart, atoms are torn open and opposite charges are separated. The tape can then attract and repel distant charges.

CONFUSE YOUR VICTIMS

There are other things you can try. Take two lengths of tape, discharge them between fingers so they no longer repel each other, then fold little tabs and stick them *so the adhesive sides stick together*. Adhesive to adhesive. Now peel them apart, then bring them near again. They will neither repel nor attract. No separation of charge occurred because the materials on both sides were the same. DISSIMILAR materials are required in order to create separated charge. (This trick can be used to fool people. If you stick YOUR tape strips back to front, but tell someone else to stick THEIRS front to front, they won't notice the difference. When then peeled apart, your strips will attract, but theirs will not! You can then explain your trickery, and teach them a bit of Electrostatic trivia at the same time.)

CHARGED ATTRACTS UNCHARGED

You may have noticed that your charged tape-strips don't only attract and repel other strips, they also attract everything else! Hold a charged strip near your arm, or the wall, near most any neutral object, etc., and the strip will be attracted. Regardless of whether your tape strip is positive or negative, it will attract a neutral object. A general rule: charged objects always attract uncharged objects. Why? Because the charged object causes the charges inside the uncharged object to separate a bit. If you hold a positively charged strip of tape near the wall, the charge on the tape strip will cause negative charges in the substance of the wall to move a bit toward the tape. At the same time, positive charges in the wall move away from the tape. The tape is then attracted to the negative charges in the wall. This is called "attraction by induction," since the charged tape "induces" a separation of charge to occur in the wall. Induction works better with conductors, since the charges in a conductor are free to move. If you hold your tape strip near a metal object such as a refrigerator door, it will be pulled a bit more strongly than the wall pulls it. Hold the strip near your arm, and the pull is strong. Your body is salty water, you are a conductor.

WHICH ONE IS WHAT?

How can you tell which tape strip is positively charged, and which is negative? Easy: by comparing them against a known polarity. An expensive and dangerous way to do this is to string 9-volt batteries together until the voltage adds up to several thousand volts. The positive end of the chain will attract negatively charged tape and repel the positive. Don't touch the battery chain, the high-current capability makes them lethal! A safer, easier way: When you rub a balloon on hair, the balloon's rubber always becomes negatively charged. To determine the polarity of a tape strip, hold it near a hair-charged balloon. If the strip is negative, the balloon will repel it. If the strip is positive, the balloon will attract it.

CHALK DUST PHOTOCOPIES

Here's a way to demonstrate part of the "Xerographic" process used by photocopiers and laser printers. Obtain a flat piece of clear or dark plastic 1/16" thick or thicker, talcum powder, a rag, and some tape. Peel off a strip of tape, discharge it between fingers, fold a tab at one end, and stick it securely over the surface of the plastic. Put down some newspaper so you don't get talcum powder all over, then sprinkle talcum powder on the rag and rub it in. Now peel the tape off the plastic, then shake the rag to make a cloud of talcum powder dust in the air near the plastic. The charged area on the plastic surface will attract the powder, and a "charge image" will appear. If your plastic was clear, try holding it against a dark background to make the white powder more visible. (This experiment works best when humidity is fairly low.)

If you can find a big piece of acrylic from a hardware store, try laying several pieces of tape on it to form your initials or to form a simple word. (Always fold little tabs at one end of each strip.) When you peel all the strips of tape and make a dust cloud, you should then be rewarded with a clear example of electric-charge writing.

Another demo: get some wide packaging tape, a marker, and a paperclip (as well as talcum powder, etc.) Stick the tape to the plastic, and unbend the paperclip to give you a sharp pointed tool. Use the marker to outline the tape (and where the charged area will be.) Peel the tape from the plastic, then lightly draw a large invisible "X" on the invisible charged area on the plastic. Flap the talcum-cloth, and you'll find that the dust cloud is attracted to the charged area as usual, but the "X" will be visible as a dust-free zone. The sharp point of the paperclip wire acted to discharge the plastic. Actually, a tiny corona discharge or "St. Elmo's Fire" was generated on the sharp wire point. Alike-

charged air spewed out of the corona, and the opposite-charge air settled onto the plastic, cancelling out the surface charge. With skill (and a big piece of plastic,) you should be able to write several words on a long tape-charged area. Hint: paint one side of the plastic black for contrast. Another hint: try charging the plastic by rubbing it with fur or wool cloth, then write big invisible letters with the paperclip end. Clouds of talcum dust should make it visible.

In a copier, the talcum powder is replaced by black "toner" powder. The plastic plate is replaced by a light-sensitive coating on a metal drum, which discharges bits of itself wherever light lands on it. The charging device is a long thin wire with high-voltage corona on it that sweeps over the drum. The flapping cloth is replaced by a fuzzy brush made of iron filings stuck to a long magnet, and covered with black toner powder. And finally, the black powder melts when heated, so a red-hot "fuser" bar passes over the black dusty paper and makes the writing permanent.

-
- NOTE: for other static-electric demonstrations, don't miss PIRA BALLOON DEMOS on Science Club site, <http://scienceclub.org/kidproj1.html> , also try my page on ['Static' electricity](#)
 - "In the peel zone: Tape's electric gooeyness," by I. Peterson, SCIENCE NEWS, Vol 146, p277 Oct. 29, 1994
 - List of books and articles on [Electrostatics](#)
 - Paul Hewitt has included an earlier version the above article in the lab manual of his excellent physics textbook [CONCEPTUAL PHYSICS](#)
 - Hey, Chabay and Sherwood use tape-peeling to introduce electrical physics in their undergraduate physics textbook [ELECTRIC AND MAGNETIC INTERACTIONS](#). Alright!

Want books? Try searching amazon.com:

(try "[science experiment project](#)" too)

Help Support [AMASCI.COM / Science Club Inc.](#), use the above form to order books.
(We make a few \$\$ on any books ordered via these links.)



**LIKE THIS ARTICLE? WHY NOT
[SUPPORT AMASCI.COM](#)**

<http://amasci.com/emotor/sticky.html>

Created and maintained by [Bill Beaty](#). Mail me at: billb@amasci.com.