

STEPHEN GRAY E A DESCOBERTA DOS CONDUTORES E ISOLANTES

TRADUÇÃO COMENTADA
DE SEUS ARTIGOS
SOBRE ELETRICIDADE E
REPRODUÇÃO DE SEUS
PRINCIPAIS EXPERIMENTOS

**SERGIO LUIZ BRAGATTO BOSS
ANDRÉ KOCH TORRES ASSIS
JOÃO JOSÉ CALUZI**

STEPHEN GRAY
E A DESCOBERTA DOS
CONDUTORES E ISOLANTES

Conselho Editorial Acadêmico

Responsável pela publicação desta obra

Prof. Dr. Washington Luiz Pacheco de Carvalho

Prof. Dr. João José Caluzi

Prof^a. Dr^a. Ana Maria de Andrade Caldeira

Prof. Dr. Antonio Vicente Marafioti Garnica

Prof^a. Dr^a. Luciana Maria Lunardi Campos

Prof. Dr. Roberto Nardi

Prof. Dr. Nelson Antonio Pirola

Prof. Dr. Osmar Cavassan

Doutoranda Maria de Fátima Neves Sandrin

Doutaranda Renata Cristina Cabrera

SERGIO LUIZ BRAGATTO BOSS
ANDRÉ KOCH TORRES ASSIS
JOÃO JOSÉ CALUZI

STEPHEN GRAY
E A DESCOBERTA DOS
CONDUTORES E ISOLANTES:
TRADUÇÃO COMENTADA DE SEUS
ARTIGOS SOBRE ELETRICIDADE
E REPRODUÇÃO DE SEUS
PRINCIPAIS EXPERIMENTOS

CULTURA
ACADÊMICA 
Editora

© 2012 Editora Unesp

Cultura Acadêmica

Praça da Sé, 108

01001-900 – São Paulo – SP

Tel.: (0xx11) 3242-7171

Fax: (0xx11) 3242-7172

www.editoraunesp.com.br

feu@editora.unesp.br

CIP– Brasil. Catalogação na fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

B757s

Boss, Sérgio Luiz Bragatto

Stephen Gray e a descoberta dos condutores e isolantes : tradução comentada de seus artigos sobre eletricidade e reprodução de seus principais experimentos / Sérgio Luiz Bragatto Boss, André Koch Torres de Assis, João José Caluzi. – São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.
464 p.

Inclui bibliografia e índice
ISBN 978-85-7983-374-8

1. Gray, Stephen. 2. Físicos - Inglaterra - Biografia. 3. Condutores elétricos. 4. Indução eletromagnética. 5. Eletricidade. I. Assis, André Koch Torres de. II. Caluzi, João José. III. Título.

12-9173.

CDD: 925.3
CDU: 929:53
041593

Este livro é publicado pelo Programa de Publicações Digitais da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"(Unesp)



Asociación de Editoriales Universitarias
de América Latina y el Caribe



Associação Brasileira de
Editoras Universitárias

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Em particular, agradecem o apoio recebido da Faculdade de Ciências da Unesp-Bauru, do Centro de Formação de Professores da UFRB e do Instituto de Física da Unicamp.

SUMÁRIO

Apresentação	11
Introdução	13
Parte I – Vida e obra de Stephen Gray	15
1 Biografia de Gray	17
2 Linha do tempo	41
Parte II – Contexto da época e informações gerais	47
3 História sucinta da eletricidade na época de Gray	49
4 Informações introdutórias sobre eletricidade e sobre os experimentos de Gray	63
Parte III – Traduções dos artigos de Gray sobre eletricidade	101
5 Artigo 1 – Carta de Stephen Gray para Hans Sloane, de 3 de janeiro de 1707 ⁸	103

- 6 Artigo 2 – Uma descrição de alguns experimentos elétricos novos 119
- 7 Artigo 3 – Uma carta para Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. contendo vários experimentos a respeito da eletricidade 127
- 8 Artigo 4 – Uma carta a respeito da eletricidade da água, do Sr. Stephen Gray para Cromwell Mortimer, M. D. secr. R. S. 171
- 9 Artigo 5 – Uma carta do Sr. Stephen Gray para o Dr. Cromwell Mortimer, Secr. R. S. contendo descrições adicionais de seus experimentos a respeito da eletricidade 179
- 10 Artigo 6 – Duas cartas do Sr. Stephen Gray F. R. S. para C. Mortimer, M. D. Secr. R. S. contendo descrições adicionais de seus experimentos a respeito da eletricidade 189
- 11 Artigo 7 – Experimentos e observações sobre a luz que é produzida pela comunicação da atração elétrica para corpos animados ou inanimados, com alguns dos seus mais surpreendentes efeitos; comunicado em uma carta do Sr. Stephen Gray, F. R. S. para Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. 221
- 12 Artigo 8 – Uma carta de Stephen Gray, F. R. S. para Dr. Mortimer, Secr. R. S. contendo alguns experimentos relacionados à eletricidade 239
- 13 Artigo 9 – Sr. Stephen Gray, F. R. S. sua última carta para Granville Wheler, Esq.; F. R. S. a respeito das revoluções que pequenos corpos

pendulares, pela eletricidade, fazem em torno de grandes corpos de oeste para leste como fazem os planetas ao redor do Sol 249

- 14 Artigo 10 – Um relato de alguns experimentos elétricos planejados para serem comunicados a Royal Society pelo Sr. Stephen Gray, F. R. S. tomado de sua boca por Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. em 14 de fevereiro de 1735⁵/₆, sendo o dia anterior ao da sua morte 251

Parte IV – Reprodução dos principais experimentos de Gray com materiais de baixo custo 259

- 15 Experimentos do Artigo 1 261
- 16 Experimentos do Artigo 2 297
- 17 Experimentos do Artigo 3 309
- 18 Experimentos do Artigo 4 361
- 19 Experimentos do Artigo 5 373
- 20 Experimentos do Artigo 6 393
- 21 Experimentos do Artigo 7 411
- 22 Experimentos do Artigo 8 427
- 23 Experimentos do Artigo 10 433

Parte V – Conclusão 439

Considerações finais 441

Referências 449

APRESENTAÇÃO

Este livro apresenta a vida e a obra de Stephen Gray (1666-1736). Nele, é mostrado o conhecimento sobre eletricidade até a época de Gray, algumas de suas contribuições mais relevantes, além da influência de sua obra sobre os pesquisadores que vieram depois dele. A principal descoberta de Gray foi perceber que existem na natureza dois tipos de substâncias com propriedades elétricas bem diferentes. Hoje essas substâncias são denominadas *condutores* e *isolantes*. Ele descobriu ainda algumas das principais propriedades dessas substâncias. Conseguiu atribuir aos metais e a outros condutores, pela primeira vez na história, a propriedade de atrair corpos leves colocados em suas proximidades – esse fenômeno é chamado atualmente de *indução* ou *polarização elétrica*. Também conseguiu eletrizar condutores isolados por meio de faíscas ou descargas elétricas entre esses condutores e um tubo de vidro eletrizado colocado em suas proximidades. Criou ainda os primeiros eletretos da História, ou seja, substâncias que apresentam uma eletrização de longa duração, mostrando ainda como preservar temporalmente a eletrização dos corpos.

Nesta obra é apresentada a tradução comentada de seus dez artigos sobre eletricidade. Seus experimentos são contextualizados, ilustrados com figuras didáticas e explicados com base nos conheci-

mentos de Física atuais. São apresentados também alguns dos principais instrumentos elétricos, tais como o versório, o eletroscópio, a linha pendular e o pêndulo elétrico. Além disso, são discutidas as diferenças entre os vidros da época de Gray e os vidros atuais. Seus principais experimentos são reproduzidos com materiais de baixo custo. No final da obra discute-se, ainda, de forma sucinta, a relação de alguns aspectos deste livro com a educação científica. O livro termina com uma ampla bibliografia.

INTRODUÇÃO

Este livro¹ apresenta a vida e a obra de Stephen Gray (1666-1736), que foi um dos principais pesquisadores sobre eletricidade do início do século XVIII. Apresenta também, de forma sucinta, o conhecimento sobre eletricidade até sua época, enfatizando as principais descobertas de Gray, assim como o impacto de sua obra no trabalho dos cientistas que o sucederam.

Entre as mais importantes descobertas de Gray está a distinção de *condutores* e *isolantes*, assim como suas principais propriedades. Gray também conseguiu comunicar a eletricidade a distância ao aproximar um tubo de vidro eletrizado por atrito da extremidade de um condutor isolado eletricamente, observando que a outra extremidade do condutor passava a atrair corpos leves colocados em suas proximidades. Dessa forma, ele conseguiu fazer com que metais, pedaços de madeira, água e outros condutores exibissem propriedades elétricas, algo que historicamente não havia sido obtido por outros pesquisadores. Conseguiu também eletrizar condutores isolados ao realizar descargas elétricas entre estes e tubos de vidro

1 Originou-se da tese de doutorado intitulada “Tradução comentada de artigos de Stephen Gray (1666-1736) e reprodução de experimentos históricos com materiais acessíveis: subsídios para o ensino de eletricidade”, defendida pelo Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Faculdade de Ciências – Unesp, campus Bauru-SP.

atritados colocados em suas proximidades. Criou os primeiros eletretos da história, isto é, corpos que apresentam uma eletrização de longa duração. Mostrou ainda como preservar, ao longo do tempo, a eletrização adquirida pelos corpos. A descoberta dos condutores e isolantes permitiu o controle da eletricidade, ocasionando um rápido desenvolvimento do conhecimento elétrico e de suas aplicações tecnológicas.

Nesta obra, é feita uma tradução comentada dos dez artigos de Gray que tratam de eletricidade. Além disso, seus principais experimentos são reproduzidos com materiais de baixo custo, e são apresentadas figuras para ilustrar suas experiências. Os principais fenômenos descritos por ele são interpretados do ponto de vista da Física atual, ou seja, em termos de cargas positivas e negativas, polarização ou indução elétrica, comportamento dos condutores e isolantes etc. Ao final, discute-se ainda, de forma sucinta, a relação de alguns aspectos deste livro com a educação científica.

O objetivo deste livro é tornar mais conhecidas a vida e a obra de Gray, ajudando a resgatar a memória desse grande pesquisador, que tinha um olhar afiado, era bastante preciso em suas explicações, criativo em suas ideias e muito claro em seus textos. Espera-se também motivar outras pessoas a se aprofundarem nessas pesquisas, desenvolvendo a obra de Gray, utilizando-a no ensino e ajudando a divulgá-la.

PARTE I
VIDA E OBRA DE STEPHEN GRAY

1

BIOGRAFIA DE GRAY

1.1 Introdução

Stephen Gray¹ (1666-1736) foi um importante, porém pouco mencionado, pesquisador do início do século XVIII. Ele deu importantes contribuições para a área da Astronomia e da Eletricidade. Entre seus feitos estão observações precisas sobre as manchas solares, a verificação da transmissão da eletricidade e da eletrização por indução, bem como a proposição da existência de materiais condutores e não condutores de eletricidade.

Chamou-nos a atenção a pequena ou nenhuma relevância que alguns textos dão a Stephen Gray e ao seu trabalho. Assim, procuramos entender e divulgar um pouco mais sobre a vida desse astrônomo e importante pesquisador da eletricidade. Neste livro, apresentaremos uma breve biografia sobre Gray, bem como algumas dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores² na construção

1 O texto deste capítulo foi publicado inicialmente como artigo na *Revista Brasileira de Ensino de Física* com o título “Uma breve biografia de Stephen Gray (1666-1736)” (Boss; Caluzi, 2010). Foram feitas modificações no texto. Publicação autorizada.

2 Refere-se aos autores (referências) nos quais nos fundamentamos para fazer este capítulo.

da biografia desse cientista. Apresentaremos também aos leitores algumas informações sobre como localizar fontes de pesquisa sobre história da ciência disponíveis na internet. Este último objetivo justifica-se pelo fato de termos verificado, ao longo dos anos, certa dificuldade dos alunos de graduação e de pós-graduação para localizar fontes quando iniciam pesquisas sobre história da ciência.

Um estudo mais detalhado sobre as publicações de Stephen Gray mostra que seus trabalhos podem ser divididos em três períodos: de 1696 a 1706; de 1706 a 1731; e de 1731 até sua morte, em 1736.³

3 Para pesquisar trabalhos produzidos naquela época ou mesmo antes, podemos utilizar as seguintes fontes:

O catálogo elaborado por Jeremias David Reuss (1750-1837), formalmente denominado *Repertorium Commentationum a Societatibus Litterariis Editarum*. A obra tem dezesseis volumes disponíveis no endereço <<http://gdz.sub.unigoettingen.de/en/dms/colbrowse>>.

Outro catálogo que possui finalidade semelhante é o elaborado por Johann Christian Poggendorff (1796-1877), formalmente denominado *Biographisch-Literarisches Handwörterbuch der exakten Naturwissenschaften*. O primeiro e segundo volumes estão disponíveis para download gratuito no site <www.archive.org>.

Outro catálogo importante é o produzido pela Royal Society de Londres: *Catalogue of Scientific Papers* em dezenove volumes. Ele está disponível on-line no endereço <<http://gallica.bnf.fr>>.

Outro endereço bastante útil é: <www.scholarly-societies.org>. Nesse site é possível obter informações sobre Academias de Ciências em todo o mundo, com links, abreviações de títulos de jornais e revistas antigas presentes nos catálogos citados anteriormente.

Para procurar informações sobre a produção científica recente, é possível utilizar as bases de indexação de informação, como *Web of Science*, disponibilizada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Infelizmente, nem todas as bases estão disponibilizadas para o acesso público. Algumas são de acesso restrito a algumas universidades públicas e particulares. Outras bases são de acesso gratuito ao público em geral, como <www.dominiopublico.gov.br> e <www.scielo.br>.

Tivemos acesso aos artigos publicados por Gray no site da Biblioteca Nacional da França (<<http://gallica.bnf.fr>>), que é de acesso livre. Além da revista *Philosophical Transactions*, está disponível um grande número de periódicos nas mais variadas áreas. Os artigos de Stephen Gray também podem ser obtidos no banco de dados *JSTOR* (<www.jstor.org>), que é de acesso restrito a assinantes.

As publicações do primeiro período abordam temas relacionados à Astronomia, Instrumentação Científica e Óptica, num total de dez trabalhos. No segundo período, encontram-se apenas quatro trabalhos, sendo três sobre Astronomia e um sobre eletricidade.⁴ No último período foram publicados oito trabalhos sobre eletricidade e um sobre Astronomia, totalizando nove trabalhos.⁵ Portanto, encontramos 23 artigos de Stephen Gray publicados no periódico *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Esse levantamento apresentou uma característica intrigante, pois as publicações dos artigos concentram-se principalmente no primeiro e no último períodos, ou seja, entre 1696 e 1706 e entre 1731 e 1736. Neste trabalho, discorreremos sobre esses períodos e seus caminhos e, ao final do capítulo, apresentaremos uma lista com as 23 publicações de Gray.

1.2 Algumas dificuldades para a elaboração de uma biografia

Uma das dificuldades encontradas pelos biógrafos de Gray diz respeito ao acesso às fontes primárias de seus trabalhos. A avaliação detalhada desses textos permite ao pesquisador levantar fatos que, ao serem organizados cronologicamente e analisados, fornecem alguns parâmetros da vida do biografado. Dessa forma, elaborar uma biografia exige que o pesquisador tenha em mãos uma grande quantidade de material de pesquisa de fonte primária, pois o trabalho será

Para levantamento de literatura secundária, uma fonte interessante é o *Current Bibliography*, publicado anualmente, desde 1913, pela revista *Isis*. Para mais informações, acesse o site <www.ou.edu/cas/hsci/isis/website/index.html>. Outra referência interessante é o *Catálogo da Comunidade Científica* dos séculos XVI e XVII. Esse catálogo foi elaborado por Richard Westfall e pode ser acessado no endereço <<http://galileo.rice.edu/lib/catalog.html>>.

4 Os três trabalhos que versam sobre astronomia não foram enviados a *Philosophical Transactions* por Gray, mas são publicações que contêm dados coletados por ele. Ver as notas de rodapé 34 e 35 deste capítulo.

5 Ver a Seção 1.6 “Publicações de Gray”.

tão completo quanto maior for a quantidade de material relevante disponível. No caso de Gray, suas cartas manuscritas encontram-se aos cuidados de instituições como o Observatório Real de Greenwich, o Museu Britânico e a Real Sociedade de Londres. Os pesquisadores também encontraram informações nos arquivos paroquiais de igrejas, como a Catedral de Canterbury (provável cidade natal de Gray), em arquivos pessoais e em arquivos familiares dos Stukeley (Chipman, 1954, 1958; Clark; Murdin, 1979; Cohen, 1954).

Nesse caminho percorrido existem vários pontos de dificuldade, que vão desde a constatação da existência de determinado documento até sua obtenção. A análise de documentos não relacionados diretamente ao biografado também pode ser extremamente relevante, visto que pode auxiliar na delimitação dos fatos e esclarecer pontos obscuros da pesquisa – como é o caso dos arquivos dos Stukeley.

Tivemos acesso a duas listas cronológicas das cartas manuscritas de Gray (Chipman, 1958, p.430; Clark; Murdin, 1979, p.352). Para obtenção dos textos mencionados nas listas e que foram publicados, os pesquisadores recorreram ao periódico *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Para conseguir as cartas manuscritas não publicadas, eles recorreram às coleções da Real Sociedade (RS), do Museu Britânico (BM) e do Observatório Real de Greenwich (RGO). “Quase tudo o que é conhecido sobre” Gray está compilado em 62 cartas. “Destas, 25 estão nos arquivos do RGO, 9 estão na coleção Sloane do BM, 22 estão aos cuidados da RS” e 6 outros manuscritos cujo destino não se conhece foram publicados na *Philosophical Transactions* (Clark; Murdin, 1979, p.352). Além dessas fontes, “Bernard Cohen descobriu nas memórias da família do reverendo e médico William Stukeley,⁶ publicadas pela Surtees Society”,⁷ informações que iluminaram pontos obscuros da vida de Gray (Chipman, 1958, p.414).

6 W. Stukeley cursou Medicina “na Universidade Bennet ou Bene’t, hoje Universidade Corpus Christi, em Cambridge”. Estudou com um sobrinho de Stephen Gray, John, e, por isso, teve contato com Stephen. Em sua autobiografia, Stukeley refere-se a Gray: “Naquele momento, o primeiro eminente propagador da eletricidade [...]” (Cohen, 1954, p.45).

7 Sociedade fundada em 1834 com o “objetivo de publicar manuscritos inéditos, ilustrativos da condição intelectual, moral, religiosa e social daquela par-

Para o estudo da vida de Gray tivemos acesso a quatro artigos bastante relevantes (Chipman, 1954, 1958; Clark; Murdin, 1979; Cohen, 1954). Além desses artigos, nosso trabalho de pesquisa fundamentou-se também em uma análise detalhada dos nove artigos escritos por Gray sobre eletricidade e publicados na *Philosophical Transactions*.

Os artigos de Chipman (1954, 1958), Clark e Murdin (1979), e Cohen (1954) foram fundamentados nos documentos encontrados nas instituições citadas anteriormente (RGO, RS, BM). Apresentaremos a biografia de forma concisa, com o propósito de fornecer ao leitor uma visão geral da vida de Gray. Não será difícil nos depararmos com dúvidas que pairam sobre alguns fatos e questões sem respostas, ou, ainda, com respostas contraditórias.

1.3 Dados biográficos de Gray

1.3.1 Alguns dados sobre sua vida

No início de uma biografia geralmente são apresentados a data e o local de nascimento. No caso de Gray tais informações não são precisas e, por isso, merecem atenção, uma vez que não há nenhuma fonte conhecida que informe explicitamente esses dados. Sendo assim, eles foram obtidos de duas formas distintas: a primeira, fundamentada em citações do próprio Gray, e a segunda, a partir da análise de alguns documentos. Faremos o confronto entre essas duas fontes, o que também ilustra parte da dificuldade que um pesquisador pode enfrentar ao construir uma biografia.

Em um primeiro momento, a data de nascimento de Gray foi estabelecida a partir de uma menção dele em uma carta⁸ enviada

te da Inglaterra e Escócia [situada no norte da Grã-Bretanha], incluídas no Leste, entre Humber e o estuário de Forth, e no Oeste, entre Mersey e Clyde, região que constituía o Antigo Reino de Northumberland [Antigo Reino da Nortúmbria]”. Fonte: <www.surteessociety.org.uk>.

8 Essa carta, escrita em 31 de julho de 1711 em Cantebury, Inglaterra, pertence ao grupo de manuscritos de Hans Sloane (Chipman, 1958, p. 416).

para Hans Sloane,⁹ na qual está escrito: “agora estou nos meus 45 anos de idade”. A partir desse comentário, da data em que a carta foi escrita – 31 de julho de 1711 –, e supondo que não era seu aniversário, pode-se deduzir que ele nasceu entre 1º de agosto de 1666 e 30 de julho de 1667 (Chipman, 1958, p.416; Cohen, 1954, p.42).

Posteriormente, Clark e Murdin (1979) analisaram os arquivos da Catedral de Canterbury, que permitiram afirmar a data de batismo de Gray. “Seu batizado consta no livro de registros paroquiais da Igreja de Todos os Santos” (All Saints Church) para a data de 26 de dezembro de 1666. Embora a data de nascimento seja desconhecida, para Clark e Murdin é possível presumir que Gray tenha nascido poucas semanas antes de seu batismo, pois “a alta incidência de mortalidade infantil” da época leva a crer que o batizado logo após o nascimento era uma prática comum (1979, p.355). Com esse argumento, pode-se dizer que Gray nasceu no final do ano de 1666.

A suposição de Clark e Murdin (1979) aparenta ser mais precisa do que a primeira, tendo em vista que Chipman (1958) e Cohen (1954) apontam um intervalo de quase um ano como período provável para o nascimento de Gray. No entanto, fundamentando-se somente na informação da data de batismo, nada assegura que Gray não tenha nascido um ou dois anos antes e só depois tenha sido bati-

9 Hans Sloane nasceu em Killileagh ou White’s Castle, County Down, Irlanda, em 16 de abril de 1660. Faleceu em Chelsea, Londres, em 11 de janeiro de 1753. Foi médico e tinha como campo de pesquisa, além da Medicina, a História Natural. Estudou em Montpellier, Orange e Oxford. Recebeu o título de doutor em Medicina em 1683. “Foi para a Jamaica como médico pessoal do Duke of Albemarle, onde recolheu mais de 800 espécies botânicas”. Também foi médico no Christ’s Hospital (1694-1730). “Fundou o Jardim Botânico de Chelsea em 1721” e foi o “primeiro médico de George II”. “Foi benfeitor do Christ’s Hospital, da Biblioteca Bodleian e de muitas outras instituições”. “A coleção de Sloane formou o núcleo do Museu Britânico”, com cerca de 200.000 exemplares. “Sloane foi o primeiro cirurgião britânico a receber o título de Baronete.” Foi membro do Royal College of Physicians of London em 1687 e seu presidente entre 1719 e 1735. Foi também membro da Royal Society, eleito em 21 de janeiro de 1685, secretário, de 1693 a 1713, e presidente, de 1727 a 1741. Fonte: <<http://www.royalsoc.ac.uk>>, base de dados *Sackler Archive Resource*.

zado. Sendo assim, podemos dizer que os dados se complementam. A primeira suposição traz a informação de que Gray não pode ter nascido antes de agosto de 1666; a segunda traz a informação de que ele não pode ter nascido após 26 de dezembro de 1666. A combinação das duas informações estabelece, com relativa certeza, o que atualmente se considera a época do nascimento de Gray, isto é, a segunda metade de 1666.

Para Chipman (1958, p.416), o local de nascimento de Gray, muito provavelmente, foi Canterbury, na Inglaterra. Essa conclusão baseia-se no trecho de uma carta¹⁰ escrita por Gray, em que ele apresenta o Dr. Lane a John Flamsteed.¹¹ Na carta, Gray diz: “Eu o conheço desde o nascimento, e os pais dele, muitos anos antes, sempre moraram em nossa cidade de Canterbury, com muito boa reputação [...]”. Para Clark e Murdin (1979), a cidade natal de Gray

10 Carta escrita de Canterbury em 10 de dezembro de 1708. Esse documento encontra-se no grupo de manuscritos de Flamsteed (Chipman, 1958).

11 John Flamsteed nasceu em Denby, Derbyshire, Inglaterra, em 19 de agosto de 1646 e faleceu em Greenwich, Inglaterra, em 31 de dezembro de 1719. Filho único de Stephen Flamsteed e Mary Spateman, perdeu sua mãe ainda criança. John estudava e se preparava para ingressar em uma universidade, porém teve seus planos interrompidos quando foi acometido por uma crise reumática, que fez com que seu pai o impedisse de ir à universidade em 1662. Flamsteed “foi para Irlanda em busca de cura, em 1670 foi para Londres, onde se encontrou com Henry Oldenburg (FRS*) e Jonas Moore (FRS), que se tornaram seus patronos”. Foi ordenado em 1675, sendo então o primeiro Astrônomo Real (1675-1719) e utilizando seus próprios instrumentos. Considerado um perfeccionista, publicava suas observações apenas se estivessem perfeitas, “o que o levou a conflitos com Newton e Halley” (ver ref. Clark; Clark, 2000)**. Também foi clérigo da Igreja da Inglaterra. Suas observações foram publicadas postumamente por sua esposa, Margaret, em seus padrões, em 1725. Em 1729, também foi publicada por sua esposa o seu *Atlas Coelestis*. Flamsteed foi membro da Oxford Philosophical Society e da Royal Society, eleito em 8 de fevereiro de 1677. Fonte: <<http://www.royalsociety.ac.uk>>, base de dados *Sackler Archive Resource* (Thoren, 1981).

* Fellow of Royal Society – Membro da Sociedade Real.

** O livro *Newton's tyranny: the suppressed scientific discoveries of Stephen Gray and John Flamsteed* traz uma interessante discussão a respeito dos problemas que Gray e Flamsteed enfrentaram nas suas carreiras científicas por causa da tirania de Newton (Clark; Clark, 2000).

também é Canterbury, porém essa afirmação é fundamentada no histórico da família Gray na cidade, onde foram encontrados vários documentos referentes a ela. Nos arquivos paroquiais da Catedral de Canterbury está registrado o casamento dos pais de Stephen, Matthias Gray e Anne Tilman, em 1658. Outros documentos informam que “a família Gray morou em Canterbury” por várias gerações, trabalhando como comerciantes. Seus bisavôs foram ferreiros e seu pai foi tintureiro, profissão que ele acabou seguindo (Clark; Murdin, 1979, p.355).

As atividades de Stephen Gray e de seu irmão mais velho, Matthias Gray, que foi prefeito de Canterbury, “sugerem que eles receberam boa educação. Não se sabe onde ou como eles foram educados”, porém, na época, havia duas escolas conhecidas em Canterbury: a Poor Priests Hospital, que é mais provável de eles terem frequentado, e a King’s School, fundada por Henry VIII. O fato de Gray dominar disciplinas como Latim e Matemática intriga os pesquisadores e traz muitas dúvidas quanto ao seu local de instrução, pois, embora seja evidente que ele tivesse domínio de ambas, não eram ensinadas ao mesmo tempo nas duas escolas. Ainda não foram encontradas evidências que indiquem definitivamente onde ele estudou (Clark; Murdin, 1979, p.356-9).

Segundo Chipman (1958, p.418), em seus primeiros artigos publicados, Gray demonstra certa familiaridade com “a *Dioptrica Nova*, de Molyneux (publicada em 1694), com as observações de *animalcules*, de Leeuwenhoeck, com o *Meteors*, de Descartes”, e com vários artigos da *Philosophical Transactions of the Royal Society* sobre microscópios e tópicos relacionados. Provavelmente, foi por meio de exemplares da *Philosophical Transactions* que Gray conheceu os estudos sobre Eletricidade realizados por Hauksbee¹² (Clark; Murdin, 1979).

12 Francis Hauksbee nasceu em 1660, em Colchester, Inglaterra, e faleceu em abril de 1713 em Londres, Inglaterra. “Filho de Richard Hauksbee, negociador de tecidos de Colchester, casado com Mary.” Trabalhou como negociador de tecidos e na fabricação de instrumentos científicos. Foi aprendiz de seu irmão mais velho, que também trabalhava como negociador de tecidos. Seu campo de pesquisa foi o que atualmente se denomina de Física

Do nascimento de Gray até o final do século XVII, pouco se sabe a respeito de sua vida. De 1696 até a sua morte, em 1736, seus dados biográficos flutuam entre períodos razoavelmente conhecidos e períodos sobre os quais muito pouco ou nada se sabe.

1.3.2 Os trabalhos de Gray e seu relacionamento com a comunidade científica

Stephen Gray continua sendo uma figura intrigante na história da Física do início do século XVIII. Embora seja dado a ele o crédito pela verificação de “que os efeitos elétricos podem” ser transmitidos “a longas distâncias por meio de fios adequados, [...] a extensão, a qualidade e a versatilidade de seu trabalho científico” são quase inteiramente desconhecidas (Chipman, 1958, p.414). Gray realizou vários experimentos interessantes em eletricidade, demonstrando fenômenos importantes, como a condução da eletricidade e a eletrização por indução; ele também chegou à conclusão de que existem materiais condutores e materiais não condutores de eletricidade (Electricity, 1798; Gray, 1731-2c).¹³

Experimental e Instrumentação Científica. Na sua carreira profissional, foi, “possivelmente, assistente de Denis Papin (FRS-1680) e foi curador de experimentos da Royal Society (1703-1713)”. Hauksbee foi membro da Associação dos Negociadores de Tecido e membro da Royal Society eleito em 30 de novembro de 1705. Fonte: <<http://www.royalsociety.ac.uk>>, base de dados *Sackler Archive Resource*. Outras informações sobre Hauksbee podem ser obtidas em Guerlac (1981).

- 13 Gray utilizava os termos *elétrico* e *não elétrico* para designar o que, atualmente, são denominados materiais *isolantes* e *condutores*, respectivamente. Os termos *condutores* e *não condutores* foram introduzidos posteriormente a ele por Jean Theophilus Desaguliers (1683-1744). Os termos *elétrico* e *não elétrico* foram propostos por William Gilbert (1544-1603), sendo que *elétricos* eram os materiais que apresentavam a mesma propriedade do âmbar (do grego, *eléktron*) de atrair pequenos objetos quando atritado e *não elétricos* eram os materiais que não apresentavam tal característica. Quando Gray chega à conclusão de que existem materiais que podem conduzir a virtude elétrica e que há materiais que não a conduzem, esses termos passam a ter também

A primeira área de pesquisa em que Gray trabalhou foi a Astronomia. Ele realizou observações “de eclipses do Sol e da Lua, de eclipses dos satélites de Júpiter e de manchas solares” (Chipman, 1958, p.425). Em 4 de maio de 1700, Gray escreveu de Canterbury para a Royal Society sobre seu trabalho em Astronomia.¹⁴

Nessa carta, ele descreve, entre outras coisas, que “utilizava um relógio de pêndulo para cronometrar o progresso dos eclipses e que calibrou esse relógio pela passagem meridiana do Sol”. “A primeira breve menção das manchas solares” foi feita em 24 de junho de 1703, de Canterbury, a John Flamsteed, em uma carta não publicada. Entre novembro e dezembro de 1703, Gray escreveu para Sloane descrevendo, com detalhes, “a drástica mudança na forma das manchas solares” que ocorre em poucas horas e a mudança da superfície do Sol que ocorre em poucos dias. Em 3 de abril de 1704 e 5 de fevereiro de 1705,¹⁵ Gray escreveu de Canterbury para a Royal Society sobre seus cálculos “do período de rotação do Sol sobre seu próprio eixo e da inclinação do eixo da eclíptica, feitos por meio das observações das manchas solares” (Chipman, 1958, p.426-7). Nenhuma dessas cartas foi publicada. As observações astronômicas sobre as manchas solares realizadas

outro significado, passando a designar, ainda, os materiais condutores (não elétricos) e os não condutores (elétricos). Para mais detalhes, ver Assis (2010), Heilbron (1979) e Roller e Roller (1957).

- 14 O texto de Gray é algo que nos chama atenção. O ponto final é a única pontuação utilizada por ele. O editor da *Philosophical Transactions*, algumas vezes, pontuava seus textos para deixá-los mais claros (Clark; Murdin, 1979). Segundo Clark e Murdin (1979, p.359), ainda não havia na época uma gramática estabelecida da língua inglesa, e a escrita era “mais uma questão de gosto pessoal”. Robert Chipman publicou em dois artigos (1954, 1958) a transcrição de alguns manuscritos de Gray, em que podemos verificar a forma original de sua escrita.
- 15 A Inglaterra utilizou o calendário juliano até 1752; dessa forma, até 1752 o ano novo inglês começava em 25 de março. Entretanto, “grande parte da Europa já havia adotado o calendário gregoriano”. Por isso, para citar datas até o dia 25 de março utilizava-se uma indicação de ano que contemplava os dois calendários, na qual colocavam-se dois números para expressar o último dígito, e.g., 170%. O primeiro número indicava o ano no calendário juliano e o segundo, o ano no calendário gregoriano. Após 25 de março utilizava-se somente o ano comum a ambos os calendários (Silva; Martins, 1996, p.315).

entre 1703 e 1705 são, atualmente, de considerável interesse científico (Clark; Murdin, 1979, p.376).

Suas primeiras cartas para a Royal Society, no período que antecede a presidência de Isaac Newton (1643-1727),¹⁶ mostram seu crescente interesse científico, bem como sua vontade de deixar a profissão de tintureiro e “estabelecer contato com o centro de atividade científica” (Ibid., p.360). Segundo Clark e Murdin (1979), de 1699 a 1715, Gray correspondeu-se com John Flamsteed, primeiro Astrônomo Real, diretor do Observatório Real de Greenwich e desafeto de Newton.¹⁷ O primeiro contato entre Gray e Flamsteed ou, ainda, como ele se interessou pela Astronomia, é um mistério (Clark; Murdin, 1979, p.369). Ele foi um grande admirador de Flamsteed – sua admiração é declarada e reiterada em várias cartas. Outra pessoa importante em sua vida foi John Godfrey.¹⁸ Eles se conheceram provavelmente em 1714 (Clark; Murdin, 1979, p.369-71).¹⁹ Essa hipótese também está fundamentada em uma carta enviada a Godfrey por Gray, de Canterbury, em 26 de dezembro de 1714 (Chipman, 1958, p.417). Godfrey foi importante na vida de Gray no período mais produtivo de sua pesquisa em Eletricidade, isto é, de 1729 a 1736. Gray esteve hospedado algumas vezes na residência de Godfrey, em Norton-Court, Inglaterra, e foi

16 Newton presidiu a Royal Society no período de 1703 a 1727.

17 Os motivos pelos quais as correspondências entre Gray e Flamsteed cessaram ainda são desconhecidos, porém há duas suposições. A primeira está relacionada ao fato de Gray ter morado com Desaguliers, amigo de Newton, em Londres, a partir de 1716. Com isso, ele se aproxima dos colaboradores de Newton e se afasta de Flamsteed – algo pouco provável quando se analisa o caráter e o comportamento de Gray. “Essa atitude contraria o que se conhece da honestidade e franqueza da sua natureza.” A segunda hipótese também versa sobre a ida de Gray para Londres em 1716, o que os deixou bem próximos, de forma que pararam de trocar cartas para se comunicarem pessoalmente (Clark; Murdin, 1979, p. 375).

18 John Godfrey, membro da Royal Society, eleito em 10 de novembro de 1715. Fonte: <<http://www.royalsociety.ac.uk>>, base de dados Sackler Archive Resource.

19 Em um manuscrito de 4 de janeiro de 1715⁶, Gray afirma que Godfrey é primo de Flamsteed, daí a suposição de que Gray conheceu Godfrey por intermédio de Flamsteed (Clark; Murdin, 1979, p.371).

auxiliado por ele em inúmeros experimentos, fato que fica evidente no texto de Gray (Gray, 1731-2c; Chipman, 1958, p.417).

Vários documentos (como cartas manuscritas e artigos publicados) evidenciam que, entre 1696 e 1716, Gray residiu em Canterbury (Chipman, 1958, p.416). Contudo, no período entre 26 de janeiro de 1707 e 8 de setembro de 1708, datas de duas cartas manuscritas não publicadas enviadas de Canterbury, não há muitos indícios de sua residência. Há apenas uma carta, também não publicada na época, escrita do Trinity College, em Cambridge, datada de 3 de janeiro de 1707 (Chipman, 1958, p.416-7). Essa carta foi publicada em 1954 por Robert Chipman (1954).²⁰ Cohen (1954) levanta a possibilidade de Gray ter permanecido parte daquele período em Cambridge.

Sloane foi uma das figuras “mais importantes na carreira científica” de Stephen Gray. Enquanto ele foi secretário ou vice-presidente da Royal Society, “doze cartas de Gray foram publicadas”, e enquanto Sloane esteve na presidência, todas as dez cartas enviadas por Gray a Society foram publicadas (Clark; Murdin, 1979, p.360). Entretanto, “Sloane não publicou nenhuma das cinco cartas que Gray enviou depois de 1703”, ano em que “Newton tornou-se presidente da Royal Society. Embora existam outras explicações para alguns casos, o confronto de Flamsteed com Newton

20 Gray enviou essa carta para Hans Sloane, secretário da Royal Society. Não é difícil concluir porque Sloane não a publicou. “Hauksbee havia, naquele momento, encantado a Royal Society com suas demonstrações em eletricidade.” É bem provável que Sloane tenha solicitado uma avaliação prévia por parte de Hauksbee da carta de Gray. Naquele período, ele era curador/demonstrador da Royal Society. “Hauksbee foi capaz de suprimir a publicação da carta de Gray.” Pouco tempo depois, ele sentiu-se à vontade para publicar muitas das descobertas de Gray como sendo dele, “por exemplo, o pairar de uma pluma sobre um bastão de vidro” eletrizado. O mais estranho foi Hauksbee publicar* sobre o “eflúvio luminoso da cera e do enxofre” “apenas poucos meses após a Royal Society ter recebido a carta de Gray anunciando suas descobertas”. Em 1711, Hauksbee publicou uma carta na *Philosophical Transactions* ** dizendo: “Pode ser lembrado o sucesso que tive em produzir luz por meio de corpos, tal como lacre, resina, e enxofre comum [...]”, ignorando completamente o fato das descobertas não serem dele (Clark; Murdin, 1979, p.394).

* *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 315, p.87, 1708.

** *Philosophical Transactions*, v. 27, n. 331, p.328, 1711.

e seus seguidores pode ter ocasionado [...] alguma desvantagem no relacionamento de Gray com a Royal Society”, afinal, Flamsteed era seu amigo e o defendeu diante da comunidade científica em algumas ocasiões (Clark; Murdin, 1979, p.374).²¹

Um exemplo da dificuldade de publicação enfrentada por Gray está relacionado ao seu estudo das manchas solares. Nos trinta primeiros volumes da *Philosophical Transactions*, apenas nove trabalhos sobre o tema foram publicados, incluindo o trabalho de Gray de 1703. No período de 1703 a 1705, ele enviou várias cartas para a Royal Society discutindo o tema, mas nenhuma foi publicada. Suas observações eram precisas e seriam uma contribuição importante no estudo das manchas solares, tendo em vista que, naquele período (1703 a 1705), o Sol estava em grande atividade (Clark; Murdin, 1979, p.376-8).²²

Gray participou de alguns estudos não muito convencionais. Em 1705, Flamsteed deu a ele a tarefa de investigar a história do surgimento de um fantasma. Na ocasião, Canterbury foi agitada com a aparição de um suposto fantasma de uma mulher para uma das moradoras da cidade. “O episódio mostrou uma considerável habilidade de Gray como observador e investigador.” Além desse caso, os arquivos do Observatório Real de Greenwich guardam documentos sobre várias observações realizadas por Gray e enviadas por Flamsteed a Royal Society (Ibid., p.373-4).

Por causa de sua condição financeira, Gray não comprava livros e periódicos, dependendo “da generosidade de pessoas como Hunt²³ e

21 Há uma “hostilidade bem documentada entre Flamsteed e Newton”. A hostilidade era tanta que causou o desprezo de Newton pelos amigos e associados de Flamsteed. Durante a permanência de Newton na presidência da Royal Society (1703 a 1727), Gray, conhecido por apoiar Flamsteed, quase não teve publicações. Outros fatores poderiam ter contribuído para isso. “Gray era um comerciante, com pouco tempo e dinheiro para investigação científica.” Sua personalidade também contribuiu para isso, suas cartas demonstram um homem modesto, humilde e reservado. Esse conjunto de fatores também pode explicar porque Gray teve seu trabalho ignorado por seus contemporâneos e é pouco conhecido pelas gerações mais recentes (Clark; Murdin, 1979, p.353).

22 Para detalhes sobre as atividades solares consultar, Eddy (1976).

23 Henry Hunt foi um importante amigo de Gray. A primeira carta de Gray para ele mostra que já se conheciam. Funcionário da Royal Society, Hunt pro-

Sloane”. Suspeita-se que Hunt começou a enviar exemplares da *Philosophical Transactions* para Gray em 1692. Muitos dos trabalhos de Gray foram inspirados no que ele lia nas revistas que recebia. As cartas enviadas para a Society até 1703 mostram uma grande variedade de assuntos. As primeiras cartas já mostram seu interesse pelo “método científico” “e indicam seu talento para utilizar seus limitados aparatos experimentais” (Clark; Murdin, 1979, p.366-7).

Entre 1715 e 1719, Gray teve autorização para participar de várias reuniões da Royal Society. Muitas informações levam a acreditar que durante grande parte desse período, talvez todo, Gray ficou longe de Canterbury. Assíduo visitante de John Godfrey, em Norton Court, provavelmente residiu com Jean Desaguliers²⁴ em Westminster (Ibid., p.389).²⁵

Há uma divergência entre os historiadores quanto às atividades de Gray entre 1716 e 1730. O período que nos parece menos documentado sobre sua vida é entre 1720 e início de 1729. No período “entre 1716 e 1729 somente duas datas da vida de Gray estão bem

avelmente providenciou o primeiro contato de Gray com a instituição. Em janeiro de 167^{2/3}, começou a trabalhar na Royal Society como assistente de Robert Hooke. Desde então, ele conviveu com a Royal Society. Em 1696, foi promovido, tornando-se responsável pela biblioteca da Royal Society (Clark; Murdin, 1979, p.356).

- 24 “Jean Theophilus Desaguliers foi um dos mestres de demonstração científica no início do século XVIII na Inglaterra e amigo de Newton” (Cohen, 1954, p.45). Desaguliers (1683-1744) nasceu em La Rochelle, França, indo com seus pais, ainda pequeno, para a Inglaterra. Foi clérigo da Igreja da Inglaterra. Sua área de pesquisa era a Filosofia Natural e Experimental. Foi membro da Royal Society, eleito em 29 de julho de 1714. Foi demonstrador e curador dela (1714). Introduziu na “ciência elétrica” os termos condutor e isolante, tendo em vista que no início do século XVIII estes materiais eram chamados, respectivamente, de não elétricos e elétricos. Recebeu três vezes a Medalha Copley: 1734, 1736 e 1741. Fonte: <<http://www.royalsociety.ac.uk>>, base de dados *Sackler Archive Resource* (Assis, 2010, p.148-9; Heilbron, 1979, p.292-3).
- 25 Chipman (1958) e Cohen (1954) também apontam a possibilidade de Gray ter morado com Jean Desaguliers em Londres, por algum período entre 1716 e 1719. Essa hipótese é baseada em publicações de William Stukeley (Chipman, 1958, p.418; Cohen, 1954, p.45-6).

estabelecidas. A primeira delas é a importante data de admissão para a Charterhouse,²⁶ que Courtney (1906) descobriu ter sido em 24 de junho de 1719. A outra é a data da única publicação neste longo intervalo” de tempo, que está na *Philosophical Transactions* (v.31, n.366 (1720-1721), p.104-107) (Chipman, 1958, p.417).²⁷

O último amigo importante na vida de Stephen Gray foi Granville Wheler.²⁸ A amizade entre eles começou por volta de 1729 (Chipman, 1958, p.418). Wheler também foi uma figura importante para ele no período de 1729 a 1736, tal como Godfrey. No dia 2 de julho de 1729, Gray e Wheler obtiveram êxito no experimento

26 “A Charterhouse foi uma casa de caridade fundada no início do século XVII para ‘capitães do mar aposentados’ e semelhantes”, em Londres, Inglaterra. Também conhecida como “Hospital para Irmãos Pobres, ela foi fundada por Thomas Sutton”. Aos aristocratas patrocinadores da instituição de caridade era dado o “direito de indicar candidatos que eram colocados em uma lista de espera e admitidos quando ocorria uma vaga”. “Embora a Charterhouse habilitasse um homem a viver sem medo de passar fome, ela certamente não proporcionava uma vida luxuosa.” Há indícios do baixo nível de conforto proporcionado pela instituição, mas provavelmente um padrão razoável quando comparado a um asilo de pobres. Havia alguns pré-requisitos para o ingresso na instituição, como: não ser casado, ser membro da Igreja da Inglaterra, enquadrar-se em um padrão de bom comportamento, entre outros. Em 1711, Gray recorreu a Hans Sloane para tentar sua admissão, porém só conseguiu seu ingresso em 1719, por uma indicação do Príncipe de Gales. “Gray sentiu que poderia já não mais suportar seu ofício de tintureiro” e precisava de tempo para se dedicar à pesquisa. Sua carta para Sloane mostra seu esforço para prosseguir com seus experimentos, apesar da sua saúde debilitada e da falta de recursos financeiros (Clark; Murdin, 1979, p.390-2; Stevens; Floy, 1853).

27 Gray (1731-2c) apresenta várias informações sobre os estudos de Gray em 1729 e sobre seu paradeiro nesse período.

28 Granville Wheler nasceu em Londres, Inglaterra, em agosto de 1701, e faleceu em 12 de maio de 1770. Era clérigo da Igreja da Inglaterra e fez pesquisas no campo da eletricidade. Estudou na Faculdade De Christ, Cambridge; Bacharel em Artes (1721); incorporado em Oxford (1734). “Membro da Christ (1722); ordenado Diácono e Sacerdote (1737). Reitor de Leake, Nottinghamshire (1737-1770) e Prebendeiro de Southwell (1753-1770).” Foi eleito membro da Royal Society em 27 de junho de 1728. Fonte: <<http://www.royalsociety.ac.uk>>, base de dados *Sackler Archive Resource*.

para “transmissão” horizontal da eletricidade.²⁹ Eles também propuseram a existência de materiais condutores (não elétricos) e não condutores (elétricos) (Gray, 1731-2c).

De 1729 até a sua morte, em 1736, Gray residiu na Charterhouse. Porém, em vários momentos desse período ele esteve no interior do país, em Norton Court, na residência de John Godfrey, ou em Otterden Place, na residência de Granville Wheler, realizando experimentos em eletricidade. Esse período foi o mais produtivo na sua pesquisa sobre eletricidade. Ele foi eleito membro da Royal Society em 1733 e recebeu em 1731 e 1732 um importante prêmio dela: a Medalha Copley (Chipman, 1958, p.422).³⁰ Stephen Gray faleceu, provavelmente, em 15 de fevereiro de 1736, em Londres, na Inglaterra.³¹

29 Gray anteriormente não havia conseguido obter sucesso ao tentar transmitir a virtude elétrica com a linha de transmissão na posição horizontal. O sucesso do experimento se deve a uma sugestão de Wheler, que optou por trocar os suportes da linha de transmissão, que eram de barbante (*packthread*, no original), que pode significar uma corda usada para enfiar ou para costurar sacos, ou um barbante de cânhamo (Assis, 2010, p.246; Canby, 1966, p.18), ou ainda, “corda robusta utilizada para embalar pacotes” (Heilbron, 1979, p.246), portanto condutores, por linhas de seda, que é um material isolante para as diferenças de potenciais elétricos envolvidos naqueles experimentos (Gray, 1731-2c, p.25-7).

30 A Medalha Copley é a mais alta honraria dada pela Royal Society. Ela foi instituída em 1709.

31 As informações sobre a data de falecimento de Gray também são divergentes. Na base de dados de informações biográficas da Royal Society (*Sackler Archive Resource*), encontramos a data 15 ou 25 de fevereiro de 1736. No *Catálogo da Comunidade Científica* dos séculos XVI e XVII elaborado por Richard Westfall (ver nota de rodapé 3 deste capítulo) encontramos a data 7 de fevereiro de 1736. No artigo de Clark e Murdin (1979, p.398) consta a data 17 de fevereiro de 1735. O último artigo de Gray publicado na *Philosophical Transactions* (1735-1736, p.400-3) tem o seguinte título: “An Account of Some Electrical Experiments Intended to be Communicated to the Royal Society by Mr. Stephen Gray, F. R. S. **Taken from His Mouth by Cromwell Mortimer, M. D. R. S. Secr. on Feb. 14, 1735-6. Being the Day before He Died**”. A parte em negrito do título mostra que o texto foi escrito em 14 de fevereiro de 1735/6, apenas um dia antes da morte de Gray. Com essa informação, a data

1.4 Considerações sobre a carreira de Gray

Os manuscritos não publicados revelam a extensão e a qualidade do trabalho de Gray sobre astronomia durante o período de 1696 a 1716, dando-nos sua dimensão enquanto filósofo natural (Chipman, 1958, p.428). Tais características são verificadas também nos seus trabalhos publicados sobre eletricidade entre 1731 e 1736. Nesses artigos, nota-se sua perspicácia, engenhosidade e sutileza. Segundo Robert Chipman (Ibid.), a leitura dos trabalhos de Gray e de seus contemporâneos, como Francis Hauksbee e Jean Desaguliers, enfatiza a sua grande e superior clareza, capacidade de pensamento e escrita. “Seu trabalho é admiravelmente livre de obscuridade literária, de beligerância pessoal, especulação inútil ou exploração de diversão. Os problemas para os quais ele procurou soluções, se não são de grande importância, são sempre verdadeiros e nunca triviais ou insensatos. Suas sugestões, experimentos e conclusões foram quase sempre altamente relevantes” (Ibid., p.428).

“Não há evidências de que Gray tenha submetido outro artigo” a *Philosophical Transactions* entre 1708 e 1720, além daquele publicado em 1720 (*Philosophical Transactions*, 1720-1721, p.104-7). Esse período foi seguido por outra grande lacuna até 1731. Gray “pode ter sido desencorajado pela falta de entusiasmo dentro da Royal Society para alguns de seus artigos, especialmente alguns sobre eletricidade” (Clark; Murdin, 1979, p.402).

Se não bastasse a falta de reconhecimento, Gray teve de conviver com plágios. Como já abordamos, suas primeiras descobertas sobre eletricidade foram publicadas por Hauksbee em 1708 (ver a nota de rodapé 20 deste capítulo). Anos depois, em maio de 1715, Flamsteed interveio quando outro pesquisador, Dr. Harrys, tentou tomar os créditos de algumas observações astronômicas feitas por Gray (Clark; Murdin, 1979, p.372-3).

de falecimento de Gray é 15 de fevereiro de 1736 (as bases de dados foram acessadas em 18 ago. 2009).

Um dos mistérios que ainda permanece é a sua repentina aparição no Trinity College, em Cambridge. Os arquivos do Trinity College não dão informações “sobre a real data de sua chegada, ou de como ele foi para lá”. Há uma carta de Gray escrita em janeiro de 1707 em que ele diz: “dos meus aposentos no Trinity College”; “e outra escrita de Canterbury, em setembro de 1708, referindo-se às razões da sua saída de Cambridge” (Ibid., p.382).

Sloane foi uma figura bastante importante para Gray como pesquisador, mas fica bastante evidente a limitação de suas ações no período em que Newton ocupou a presidência da Royal Society (1703-1727). Só resta “imaginarmos o quanto a ciência da eletricidade teria se desenvolvido” se Gray tivesse tido o apoio da Royal Society e de seus contemporâneos. Em vez disso, ele foi abandonado pela comunidade científica e deixado em investigações solitárias na Charterhouse. “Somente depois da morte de Newton e do início da presidência de Sloane” é que Gray se reaproximou da Royal Society. Então, ele marcou seu tempo com suas “contribuições sobre a transmissão da eletricidade, recuperando seu crédito com descobertas demonstradas para a Royal Society por Desaguliers” (Ibid., p.395).³²

Um ponto que chama a atenção é que nos parece que o objetivo de Gray era fazer experimentos e verificar o comportamento elétrico dos corpos. Não se preocupou muito em propor explicações para os fenômenos encontrados e descritos por ele. Nos seus textos, encontramos apenas uma tentativa de explicação sobre o fenômeno da atração e repulsão dos corpos leves, a qual refere-se à emissão e reflexão de eflúvios pelos corpos. Contudo, ele próprio questiona a ideia e diz que deixará a explicação “à consideração dos doutos”

32 Tal como descrito por Gray: “No ano de 1729, comuniquei ao Dr. Desaguliers e a alguns outros senhores uma descoberta que havia feito recentemente, mostrando que a virtude elétrica de um tubo de vidro pode ser transmitida para outros corpos, dando a eles a mesma propriedade de atração e repulsão de corpos leves, tal como o tubo faz quando excitado por atrito. Essa virtude pode ser levada para corpos que estão a muitos pés de distância do tubo. Em maio, o próprio Dr. Desaguliers fez um relato para a Royal Society dos experimentos que ele havia visto [...]” (Gray, 1731-2c, p.18-9).

(ver Capítulo 5, 12^o Experimento, neste livro) (Chipman, 1954, p.36). Uma possível explicação para esse comportamento de Gray é que ele estava imerso em alguma tradição ou corrente filosófica que estivesse mais ligada à descrição dos fenômenos. Contudo, ele não deixa isso explícito, mas parece conduzir seu trabalho de acordo com alguns preceitos oriundos dessa tradição.

Os manuscritos foram de fundamental importância para a elaboração das biografias de Gray, contribuindo com inúmeras informações, resultando em explicações e relatos satisfatoriamente contínuos nos períodos de 1696 a 1716 e de 1729 a 1736 (Id., 1958, p.429). O mesmo ainda não foi possível fazer sobre o início de sua vida e o período entre 1716 e 1729, por causa da falta de documentos.³³

1.5 Comentários finais

Buscamos apresentar uma breve biografia de Stephen Gray, bem como apontar algumas dificuldades e alguns caminhos para uma pesquisa em história da ciência, tal como a localização de fontes. Na pesquisa biográfica sobre Gray, os documentos estavam espalhados por várias instituições, além disso, informações importantes foram encontradas em acervos pessoais, como o do reverendo William Stukeley. Isso evidencia certa dificuldade em se realizar pesquisas em história da ciência.

Para quem deseja fazer um trabalho em história da ciência com fontes primárias, é relevante ressaltar que isso é possível, tendo em vista o acesso a algumas bases de dados e catálogos bibliográficos, como os já mencionados. Porém, apenas algumas universidades brasileiras assinam essas bases, o que dificulta o trabalho. O serviço de comutação bibliográfica das bibliotecas é uma ferramenta que auxilia bastante as pesquisas. É importante destacar que a Biblioteca Nacional da França (<<http://gallica.bnf.fr>>) é de acesso livre e possui vários periódicos disponíveis. Outra dificuldade é com relação

33 Outras informações sobre a vida de Gray podem ser obtidas em Heilbron (1979, 1981).

ao idioma, pois o material em português é praticamente inexistente, sendo bastante comum em inglês, francês e alemão. Para a pesquisa em fontes primárias mais antigas (e.g., século XVIII), como fizemos com os artigos de Gray sobre eletricidade e os biógrafos citados fizeram com suas fontes, surge um novo obstáculo: a escrita, pois geralmente encontra-se em uma versão arcaica do idioma, o que dificulta um pouco o trabalho.

Por fim, ressaltamos a importância das pesquisas de Stephen Gray sobre o tema eletricidade, cuja discussão sobre o assunto será apresentada nos próximos capítulos deste livro. A variedade de experimentos e a riqueza de detalhes do seu trabalho é algo louvável. Chama-nos a atenção a pequena divulgação que o trabalho de Gray tem dentro da Física. Diante disso, buscamos destacar nesta seção, por meio de uma breve biografia, alguns pontos relevantes da vida desse importante cientista do século XVIII.

1.6 Publicações de Gray^{34,35}

1) 1696 a 1706

- 1) Several Microscopical Observations and Experiments, made by Mr. Stephen Gray. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 19, n. 221 (1695-1697), p.280-287.
- 2) A Letter from Mr. Stephen Gray, Giving a Further Account of His Water Microscope. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 19, n. 223 (1695-1697), p.353-356.
- 3) A Letter from Mr. Stephen Gray, from Canterbury, May the 12th 1697, concerning Making Water Subserving to the Viewing Both Near and Distant Objects, with the Description of a Natural Reflecting Microscope.

34 Outra lista de publicações de Gray na *Philosophical Transactions* pode ser vista em Cohen (1954, p.48-50).

35 Os textos de Gray e informações sobre eles podem ser encontrados em: <<http://gallica.bnf.fr>> e <www.jstor.org>.

- Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 19, n. 228 (1695-1697), p.539-542.
- 4) A Letter from Mr. Stephen Gray, Dated Canterbury, Dec. 8. 1697. Relating Some Experiments about Making Concave Specula Nearly of a Parabolic Figure. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 19, n. 235 (1695-1697), p.787-790.
 - 5) Part of a Letter from Mr. Stephen Gray, about a Way of Measuring the Height of the Mercury in the Barometer More Exactly. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 20, n. 240 (1698), p.176-178.
 - 6) An Observation of Some Parellii Seen at Canterbury. By Mr. Stephen Gray. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 21, n. 251 (1699), p.126-127.
 - 7) Part of a Letter from Mr. Gray, concerning an Unusual Perihelion and Halo Mr. Gray. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 22, n. 262 (1700-1701), p.535.
 - 8) Part of a Letter from Mr. Stephen Gray to the Publisher, containing His Observations on the Fossils of Reculver Clisfe, and a New Way of Drawing the Meridian Line, With a Note on This Letter by the Publisher. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 22, n. 268 (1700-1701), p.762-764.
 - 9) A Letter from Mr. Stephen Gray, concerning Drawing the Meridian Line by the Pole Star, and Finding the Hour by the Same. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 22, n. 270 (1700-1701), p.815-819.
 - 10) Part of Two Letters from Mr. Stephen Gray, concerning the Spots of the Sun, observed by Him in June Last. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 23, n. 288 (1702-1703), p.1502-1504.

II) 1706 a 1731

- 1) Observations of the Solar Eclipse, May 1/12/1706 At the Royal Observatory at Greenwich, etc. Communicated by the Reverend Mr. John Flamsted, Math. Reg. & F. R. S. John Flamsteed. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v.

- 25, n. 306 (1706-1707), p.2237-2241. (As observações de Gray estão nas páginas 2238-2239.)³⁶
- 2) *Observationes Stellae fixae in Geminis a Corpore Jovis Occultatae, Januarii 11 mo. St. vet. 1717. & Transitus Arcitissimi Martis Infra Borealem in Fronte Scorpii Febr. 5. Mane Jovis. Philosophical Transactions (1683-1775), v. 30, n. 351 (1717-1719), p.546-548.*³⁷
 - 3) *Nuperae Observationes Astronomicae cum Regia Societate Communicatae. Philosophical Transactions (1683-1775), v. 30, n. 363 (1717-1719), p.1109-1114.*
 - 4) *An Account of Some New Electrical Experiments. By Mr. Stephen Gray. Philosophical Transactions (1683-1775), v. 31, n. 366 (1720-1721), p.104-107. (Gray, 1720-1, p.104-107 – Capítulo 6 deste livro.)*

III) 1731 a 1736

- 1) *A Letter to Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. Containing Several Experiments concerning Electricity; By Mr. Stephen Gray. Philosophical Transactions (1683-1775), v. 37, n. 417 (1731-1732), p.18-44. (Gray, 1731-2c, p.18-44 – Capítulo 7 deste livro.)*
- 2) *A Letter concerning the Electricity of Water, from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer, M. D. Secr. R. S. Philosophical Transactions (1683-1775), v. 37, n. 422 (1731-*

36 Esse artigo foi enviado a *Philosophical Transactions* por Flamsteed e contém dados coletados por Gray. Esses dados constam em uma carta manuscrita de Gray enviada para Flamsteed (Clark; Murdin, 1979, p.369-70). Flamsteed menciona o nome de Gray no artigo.

37 Os artigos 2 e 3 do período entre 1706 a 1731 foram enviados a *Philosophical Transactions* por Desaguliers e contém dados coletados por Gray. “Desaguliers frequentemente apresentava resultados de observações astronômicas feitas por Gray e por ele em Westminster”, parte dos dados de duas dessas observações foi publicada nesses dois artigos (Clark; Murdin, 1979, p.389). Em ambos os textos o nome de Gray é mencionado: no artigo 2, p.546, e no artigo 3, p.1111.

- 1732), p.227-260. (Gray, 1731-2a, p.227-230 e 260 – Capítulo 8 deste livro.)
- 3) A Letter from Mr. Stephen Gray to Dr. Mortimer, Secr. R. S. Containing a Farther Account of His Experiments concerning Electricity. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 37, n. 423 (1731-1732), p.285-291. (Gray, 1731-2b, p.285-291 – Capítulo 9 deste livro.)
 - 4) Two Letters from Mr. Stephen Gray, F. R. S. to C. Mortimer, M. D. Secr. R. S. Containing Farther Accounts of His Experiments concerning Electricity. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 37. n. 426 (1731-1732), p.397-407. (Gray, 1731-2d, p.397-407 – Capítulo 10 deste livro.)
 - 5) A Letter from Mr. Stephen Gray, F. R. S. to the Publisher, Containing an Account of the Same Eclipse of the Sun, as Observed by Himself at Norton-Court: And at Otterden-Place, by Granville Wheler Esq.; F. R. S. Both in Kent Granville Wheler. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 38, n. 429 (1733-1734), p.114-116.
 - 6) Experiments and Observations upon the Light That is Produced by Communicating Electrical Attraction to Animal or Inanimate Bodies, Together with Some of Its Most Surprising Effects; Communicated in a Letter from Mr. Stephen Gray, F. R. S. to Cromwell Mortimer, M. D. R. S. Secr. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 39, n. 436 (1735-1736), p.16-24. (Gray, 1735-6b, p.16-24 – Capítulo 11 deste livro.)
 - 7) A Letter from Stephen Gray, F. R. S. to Dr. Mortimer, Secr. R. S. Containing Some Experiments Relating to Electricity. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 39, n. 439 (1735-1736), p.166-170. (Gray, 1735-6c, p.166-170) Capítulo 12 deste livro.)
 - 8) Mr. Stephen Gray, F. R. S. His Last Letter to Granville Wheler, Esq.; F. R. S. concerning the Revolutions Which Small Pendulous Bodies Will, by Electricity, Make Round Larger Ones from West to East as the Planets do Round the Sun. *Philosophical Transactions* (1683-1775), v. 39, n. 441 (1735-1736), p.220. (Gray, 1735-6d, p.220 – Capítulo 13 deste livro.)

- 9) An Account of Some Electrical Experiments Intended to be Communicated to the Royal Society by Mr. Stephen Gray, F. R. S. Taken from His Mouth by Cromwell Mortimer, M. D. R. S. Secr. on Feb. 14, 1735-6. Being the Day before He Died. *Philosophical Transactions (1683-1775)*, v. 39, n. 444 (173-1736), p.400-403. (Gray, 1735-6a, p.400-403 – Capítulo 14 deste livro.)

2

LINHA DO TEMPO

2.1 Linha do Tempo

2.1.1 Fatos e publicações importantes contemporâneos à vida de Gray

Tabela 1.1 – Fatos e publicações importantes contemporâneos à vida de Gray¹

Ano	Acontecimento
1646	Nasce John Flamsteed (1646-1719).
1656	Christiaan Huygens desenvolve o relógio de pêndulo.

1 Informações extraídas de: Silva e Martins (1996); Carvalho (1989); <<http://royalsociety.org>>; <<http://galileo.rice.edu/chron/europe.html>>; <www.clas.ufl.edu/users/ufhatch/pages/03-Sci-Rev/SCI-REV-Home/05-sr-lng-timeline.htm>, <<http://studymore.org.uk/sshtim.htm>>; <<http://www.explainthatstuff.com/timeline.html>>; <<http://campus.udayton.edu/~hume/timeline.htm>>; <<http://www.radford.edu/wkovarik/envhist/3enlightenment.html>>; Acesso em: 7 abr. 2013.

Ano	Acontecimento
1660	“Restauração da monarquia Inglesa”.
	Fundação da Royal Society da Inglaterra (“o primeiro curador de experimentos foi Robert Hooke” (1635-1703)).
	Nasce Francis Hauksbee (1660-1713).
	Robert Boyle (1627-1691) publica o livro “ <i>New experiments physico-mechanical touching the spring of the air</i> ”.
1661	“Charles II é coroado rei da Inglaterra”.
	“Luis XIV (1643-1715) começa a governar a França”.
	“Robert Boyle publica o <i>Sceptical Chymist</i> ”.
1665	“Primeira edição da <i>Philosophical Transactions</i> publicada por Henry Oldenburg, secretário da Royal Society”.
	“Robert Hooke (1635-1703) publica o <i>Micrographia</i> ”.
1666	Nasce Stephen Gray (1666-1736).
	Robert Boyle publica o <i>The Origin of Forms and Qualities</i> .
	“Fundação da <i>Académie Royale des Sciences</i> ” da França.
1672	Isaac Newton (1643-1727) publica na <i>Philosophical Transactions</i> um trabalho discutindo sua concepção de luz branca e das cores.
1673	“A primeira das cartas de Antony van Leeuwenhoek (1632-1723) para a Royal Society”, descrevendo seu trabalho com microscópio.
	“Christiaan Huygens (1629-1695) publica o <i>Horologium Oscillatorium</i> ”.
1675	“Conclusão do Royal Observatory at Greenwich e John Flamsteed (1646-1719) torna-se o primeiro astrônomo real”.
1685	James II torna-se rei na Inglaterra.
1686	Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) opõe-se à ideia de que a conservação da quantidade de movimento é dada por “mv”, como apontava René Descartes, mas sim por “mv ² ”. Este episódio ficou conhecido como “querela das forças vivas”.
1687	“Isaac Newton (1643-1727) publica o <i>Mathematical Principles of Natural Philosophy</i> ”.
1688	Ocorre a “Revolução Gloriosa na Inglaterra”.

Ano	Acontecimento
1690	Christiaan Huygens publica o <i>Treatise on Light</i> .
1698	Nasce Charles F. C. Du Fay (1698-1739).
1703	Morre Robert Hooke (1635-1703).
	Isaac Newton tornou-se presidente da Royal Society, cargo que ocupou até sua morte, em 1727.
1704	“Isaac Newton (1643-1727) publica o <i>Opticks</i> ”.
1706	Nasce Benjamin Franklin em janeiro.
1713	Morre Francis Hauksbee (1660-1713).
1727	Morre Isaac Newton (1643-1727).
1736	Morre Stephen Gray (1666-1736).

2.1.2 Fatos Importantes da Vida de Gray

Tabela 1.2 – Fatos importantes na vida de Gray (Chipman, 1954, 1958; Cohen, 1954, 1966; Clark; Murdin, 1979; Heilbron, 1979, 1981; Boss; Caluzi, 2010; <<http://royalsociety.org>>).

Ano	Acontecimento
1666	Nasce Stephen Gray. Foi batizado em 26 de dezembro na All Saints Church em Best Lane. A data exata de nascimento ainda é desconhecida.
1692 (ou 1696)	Henry Hunt passa a enviar exemplares do periódico <i>Philosophical Transactions</i> para Gray.
1693	Hans Sloane (1660-1753) é eleito secretário da Royal Society, cargo que ocupou até 1713. Depois foi vice-presidente e em 1727 tornou-se presidente, após a morte de Isaac Newton (1643-1727).
1696	Gray tem seu primeiro trabalho publicado, sobre microscópios.

Ano	Acontecimento
Junho de 1703	Gray fez sua primeira observação das manchas solares, estas foram reportadas em cartas para J. Flamsteed e para a <i>Royal Society</i> , que publicou um resumo das duas cartas. Os manuscritos originais foram perdidos.
1705	As cartas de Gray revelam a sua perda de interesse pela observação de manchas solares, o que pode ter ocorrido devido ao não reconhecimento e à não publicação de suas cartas sobre o assunto.
1707/8	Carta datada 3 de janeiro de 1707/8 foi enviada por Stephen Gray para Hans Sloane, então secretário da <i>Royal Society</i> . Entretanto, ela não foi publicada no periódico <i>Philosophical Transactions</i> .
1715-1719	Gray participou de várias reuniões na <i>Royal Society</i> .
24 de junho de 1719	Gray ingressa como pensionista na <i>Charterhouse</i> , Londres.
1720	Gray publicou uma carta na <i>Philosophical Transactions</i> (1720-1, p. 104-107), na qual reporta a descoberta da eletrização de vários materiais, tais como: penugens, fios de cabelo, linha de seda, papel, fitas de madeira, entre outros.
1720-1729	Não se conhece quase nada sobre as atividades de Gray neste período. Nenhuma menção é feita quanto a ele comparecer em reuniões da <i>Royal Society</i> . Os arquivos da <i>Charterhouse</i> não trazem nenhuma informação.
1729	Gray esteve em Otterdem Place e Norton Court realizando vários experimentos com Wheler e Godfrey, respectivamente. Neste período descobriu a condução da eletricidade e propôs a existência de materiais condutores e não condutores de eletricidade dentre vários outros experimentos que foram reportados no artigo Gray (1731-2c, p. 18-44).
1731	Gray já era conhecido pelos seus experimentos em eletricidade. Neste ano “o Príncipe de Gales visitou a <i>Royal Society</i> para assistir” à demonstração de seus experimentos.

Ano	Acontecimento
1731-1736	Várias cartas de Gray sobre eletricidade são publicadas na <i>Philosophical Transactions</i> , todas estão traduzidas neste livro. Os experimentos de Gray chamam a atenção de Du Fay, que refaz vários dos experimentos.
1736	Stephen Gray morre em fevereiro.

PARTE II
CONTEXTO DA ÉPOCA E
INFORMAÇÕES GERAIS

3

HISTÓRIA SUCINTA DA ELETRICIDADE NA ÉPOCA DE GRAY

Neste capítulo, apresentaremos uma história resumida da eletricidade (Heilbron, 1979; Assis, 2010). Inicialmente, apresentaremos alguns dos principais fenômenos elétricos conhecidos até a época de Gray. Descreveremos, então, algumas de suas principais descobertas e seus impactos sobre os pesquisadores posteriores a ele. Depois, listaremos alguns dos fenômenos mais relevantes descobertos após a época de Gray, mas que estão relacionados com suas pesquisas. O objetivo é contextualizar um pouco o conhecimento elétrico encontrado por ele no início de suas pesquisas, o significado de seu trabalho e os avanços que esse trabalho trouxe para o nosso atual conhecimento sobre eletricidade.

3.1 Conhecimento sobre eletricidade até a época de Gray

Um dos fenômenos elétricos mais básicos e antigos conhecidos pelo homem é a propriedade que alguns corpos têm de atrair objetos leves após serem atritados, como é o caso do âmbar, resina fóssil proveniente de uma espécie extinta de pinheiro. O diálogo *Timeu*, de Platão (428-348 a.C.), apresenta a descrição mais antiga

que se conhece do chamado “efeito âmbar”. O âmbar atrai praticamente todos os corpos leves, desde que se aproxime deles após ter sido atritado.

Durante séculos, avançou-se muito pouco no conhecimento de outros fenômenos elétricos. O médico inglês William Gilbert (1544-1603) fez experimentos importantes sobre o tema, descritos em seu livro *Sobre os ímãs*, de 1600. Gilbert criou uma nova denominação, chamando de *elétricos* (*âmbar*, em grego) os objetos que se comportavam como o âmbar; os outros objetos eram denominados *não elétricos*.

Até sua época, eram conhecidos essencialmente apenas o azevi-che (uma forma compactada e dura de carvão) e o diamante, que se comportavam como o âmbar. Ele ampliou essa lista com várias pedras preciosas, além de vidro, enxofre, laca etc. Entre os não elétricos estavam todos os metais, a maioria das madeiras, gramas, carne etc. Para fazer essa lista, ele utilizou um versório, isto é, uma agulha metálica horizontal que podia girar sobre um suporte vertical colocado abaixo de seu centro, como uma bússola, mas não imantada. Gilbert atritava o corpo a ser testado e aproximava-o da agulha. Caso ela girasse em direção ao corpo, ele seria considerado elétrico; caso contrário, seria não elétrico. Gilbert também parece ter sido o primeiro a observar o âmbar atritado atrair uma gota de água.

Honoré Fabri (1607-1688) e Robert Boyle (1627-1691) descobriram, em 1660 e 1675, respectivamente, que as ações elétricas são mútuas, isto é, que um pequeno pedaço atritado de âmbar é atraído por um corpo grande colocado em suas proximidades.

Otto von Guericke (1602-1686) descreveu em seu livro *Novas experiências (assim chamadas) de Magdeburgo sobre o Espaço Vazio*, publicado em 1672 (Guericke, 1972), um experimento que teve grande importância para a história da eletricidade. Ele prendeu um globo de enxofre do tamanho da cabeça de uma criança a uma haste de madeira. Atritou o globo de enxofre contra a mão e segurou-o pela haste. Após soltar uma penugem sobre o globo, percebeu que ela o tocava e passava a ser repelida por ele. Guericke conseguiu fazer com que a penugem flutuasse sobre o globo enquanto caminhava com ele.

3.2 Algumas das principais descobertas de Gray sobre eletricidade

No início do século XVIII, alguns pesquisadores da época de Gray, como Hauksbee (1666-1713), publicaram trabalhos descrevendo experimentos nos quais um tubo de vidro atritado produzia luzes, além de atrair objetos leves colocados em suas proximidades. Aparentemente, foram esses experimentos que despertaram o interesse de Gray pela eletricidade.

O primeiro artigo de Gray foi escrito em 1707^{7/8}, mas só foi publicado em 1954.¹ Gray fez um experimento análogo ao da penugem flutuante de Guericke, mas utilizando um tubo de vidro eletrizado no lugar do globo de enxofre. Ao aproximar a penugem flutuante de uma parede ou de algum outro objeto, observou o movimento oscilatório da penugem entre esse objeto e o vidro eletrizado.

Em seu segundo artigo sobre eletricidade, publicado em 1720, Gray aproveitou-se do fato de que um corpo eletrizado é atraído por um dedo ou um pedaço de madeira colocada em suas proximidades para descobrir novos materiais elétricos. Para isso, atritou algumas linhas, tecidos e outros materiais, passando-os entre os dedos; depois, observou quais deles eram atraídos por algum corpo sólido colocado em suas proximidades.

Seu terceiro artigo, publicado em 1731, é o mais importante.² Ele contém algumas das descobertas mais notáveis na história da eletricidade, entre elas a transmissão da eletricidade, a eletrização dos metais e a descoberta dos materiais condutores e isolantes, além de experimentos realizados em 1729. Até a época da publicação do artigo, não se conheciam os *condutores* e os *isolantes*, nomenclatura que vamos utilizar aqui para facilitar a descrição das descobertas de Gray.

Ele atritava um tubo de vidro com a mão nua, segurava-o com a outra mão e utilizava-o para atrair corpos leves. O vidro utiliza-

1 O artigo em questão será apresentado no Capítulo 5 deste livro.

2 O artigo em questão será apresentado no Capítulo 7 deste livro.

do por Gray era um excelente isolante, ao contrário da maioria dos vidros encontrados hoje nas residências e no comércio, que se comportam como condutores.

O artigo inicia-se com a observação casual de que a rolha que estava na extremidade do tubo de vidro atraía uma penugem em suas proximidades quando apenas o tubo era atritado. A rolha comportava-se como um condutor e não atraía corpos leves se atritada enquanto era segurada pela mão, sendo, portanto, uma das substâncias classificadas como não elétricas.

Gray ampliou essa descoberta da comunicação ou transmissão da eletricidade para a rolha, prendendo a ela, ou no vidro, varetas de madeira, barbantes, arames metálicos etc. As extremidades livres de todos esses corpos (ou alguns condutores presos a essas extremidades livres) atraíam corpos leves quando Gray atritava seu tubo de vidro. Com isso, ele conseguiu, pela primeira vez na história, fazer com que os metais, particularmente, atraíssem corpos leves. Ninguém havia conseguido observar isso em dois mil anos desde a descoberta do efeito âmbar, apesar de várias tentativas anteriores feitas para obter tal fenômeno atritando os metais, dando-lhes pancadas, aquecendo-os etc.

Gray ampliou o comprimento dos condutores presos ao tubo de vidro por dezenas e até centenas de metros, sendo sempre bem-sucedido. Porém, ao ter de apoiar os longos condutores presos ao tubo de vidro, percebeu que eles deixavam de atrair corpos leves quando os apoios presos ao solo eram feitos de corda, barbante ou metal. De outro lado, se os apoios presos ao solo fossem de seda, as extremidades livres dos longos condutores presos ao tubo de vidro atritado continuavam a atrair os corpos leves colocados em suas proximidades. Essa foi a grande descoberta apresentada no artigo, permitindo a classificação dos materiais em *condutores* e *isolantes*, denominação que, como já dissemos, só foi introduzida mais tarde. Os isolantes eram aquelas substâncias que não permitiam a passagem da eletricidade ou dos eflúvios elétricos (denominação comum na época de Gray), enquanto os condutores permitiam a passagem, comunicação ou transmissão da eletricidade. Entre os isolantes

mencionados por Gray em seus artigos, encontravam-se a seda, crina de cavalo, resina endurecida, vidro, tabletes de cera de abelha, de enxofre e de goma-laca. Todos os outros corpos comportavam-se como condutores.

Ainda em seu artigo de 1731, Gray descobriu que a propriedade de um corpo de comportar-se como condutor ou isolante em seus experimentos dependia das propriedades intrínsecas ao corpo, e não de sua forma. Por exemplo, se o apoio preso ao solo no experimento que acabamos de descrever fosse de seda, a extremidade livre do longo condutor preso ao tubo de vidro atritado atrairia corpos leves em suas proximidades. Porém, se o apoio do longo condutor fosse de metal, a extremidade livre do condutor preso ao tubo de vidro atritado deixaria de atrair corpos leves, mesmo que a espessura do apoio metálico fosse igual à espessura do apoio de seda. Logo, não era o tamanho da espessura que afetava o comportamento condutor ou isolante do apoio em seu experimento, mas sim o material do qual era feito esse apoio.

Nesse artigo, Gray apresentou também a primeira observação conhecida sobre o aterramento elétrico; em termos atuais, isso significa que um condutor eletrizado perde sua carga elétrica para a Terra ao entrar em contato com o solo. Outra maneira de descarregar um condutor inicialmente isolado foi fazendo com que outro condutor encostasse simultaneamente no primeiro e no solo.

Gray descobriu ainda que podia comunicar a eletricidade a distância, sem contato. Para isso, deixava um longo condutor isolado do solo, ou seja, apoiado ou suspenso por materiais isolantes. Ao aproximar o tubo de vidro atritado de uma das extremidades do longo condutor, sem tocá-lo, percebeu que a outra extremidade do condutor atraía corpos leves que estivessem em suas proximidades. Conseguiu também fazer com que bolhas de sabão atraíssem corpos leves. Para isso, suspendeu por meio de fios isolantes um cachimbo com a boca do forninho para baixo, produziu uma bolha na boca do forninho e aproximou seu tubo de vidro atritado da extremidade livre da piteira do cachimbo. Da mesma forma, conseguiu fazer que um garoto suspenso por linhas isolantes, sem

contato com o solo, atraísse corpos leves colocados próximos de seu rosto ou de suas mãos. Para conseguir essa atração, aproximou seu tubo de vidro eletrizado dos pés do garoto suspenso no ar.

No artigo de 1731, Gray descreve ainda a descoberta de que a eletricidade estática distribui-se apenas pelas superfícies dos condutores. Para concluir isso, observou que dois cubos de madeira de mesmo tamanho, sendo um deles oco e o outro maciço, suspensos por fios isolantes atraíam a mesma quantidade de corpos leves colocados em suas proximidades, quando ele colocava o tubo de vidro atritado à mesma distância entre os dois cubos. Ele descreve ainda um efeito que hoje é chamado de “efeito das pontas” ao comparar a distância mínima em que um tubo de vidro atritado conseguia atrair corpos leves, enquanto esses corpos estavam apoiados sobre superfícies de formatos diferentes. Essa distância era maior quando a superfície era pontiaguda. Se a superfície fosse plana, a distância era menor.

Em seu quarto artigo sobre eletricidade, publicado em 1731, Gray descreve experimentos nos quais conseguiu eletrizar um prato com água apoiado sobre um material isolante. Para isso, ele aproximava seu tubo de vidro atritado da água, observando que ela era atraída em direção a ele, havendo então uma faísca entre o tubo e a água. Depois disso, afastava o tubo e observava que o prato com água atraía uma linha condutora colocada em suas proximidades.

Em seu quinto artigo, de 1732, abriu um novo ramo de conhecimentos relacionados à eletricidade ao descobrir uma nova maneira de eletrizar corpos e de tornar essa eletrização permanente. Para isso, fundiu diferentes resinas em uma concha metálica e observou que elas passavam a adquirir a propriedade de atrair corpos leves ao serem retiradas das conchas, mesmo sem serem atritadas. Ao cobrir essas resinas com flanelas e outros condutores, protegendo-as do ar, observou que conseguia preservar a eletrização obtida por vários meses. O que ele descobriu é hoje denominado *eletreto*. Eletretos são substâncias que apresentam eletrização permanente ou com longo tempo de vida. Essa eletrização pode ser um dipolo elétrico, análogo a um ímã, com uma carga resultante

nula, ou pode ter uma carga elétrica resultante diferente de zero, seja ela positiva, seja negativa.

Em seu sexto artigo, de 1732, Gray conseguiu comunicar a atração de corpos leves através de corpos opacos e transparentes. Por exemplo, em um de seus experimentos, ele pendurava uma linha no centro de um tubo oco de vidro. Ao aproximar externamente um bastão de vidro eletrizado de um dos lados desse tubo, observava o movimento da linha colocada em seu interior.

Conseguiu também comunicar a atração através de condutores que estivessem próximos, mas sem se tocar. Para obter esse efeito, ele suspendia, por exemplo, duas varetas condutoras por meio de fios isolantes, deixando a extremidade de uma das varetas próxima à extremidade da outra. Ao aproximar o tubo eletrizado da extremidade livre da primeira vareta, Gray observava que a extremidade livre da segunda vareta atraía corpos leves que estivessem em suas proximidades. Gray realizou diversas variações desses experimentos.

Em seu sétimo artigo, de 1735, Gray descreveu vários experimentos relacionados com as descargas elétricas e a luz produzida pelos condutores eletrizados quando estes ficavam próximos de outros condutores. Para realizar esses experimentos, ele apoiava ou suspendia um condutor por meio de isolantes, de modo que ficassem sem contato com o solo. Aproximava, então, seu tubo de vidro atritado de uma das extremidades desse condutor. Depois, observava as faíscas, os estalos e as luzes produzidos por outra extremidade desse condutor quando ela era aproximada de um segundo condutor.

Em seu oitavo artigo, do mesmo ano, além de ampliar as observações descritas no sétimo artigo, começou a comparar a condutividade de diferentes materiais. Para isso suspendia um condutor por fios isolantes de seda e de lã. Aproximava seu tubo de vidro eletrizado desse condutor até que ocorressem faíscas ou luzes entre eles. Com isso, eletrizava o condutor, concluindo haver eletrização ao observar que esse condutor passava a atrair corpos leves colocados em suas proximidades. Observava, então, por quanto tempo o condutor eletrizado mantinha a atração, que ia de alguns segundos a alguns minutos. Concluiu, por exemplo, que a atração permanece

por muito mais tempo quando o corpo está suspenso por fios de seda do que quando está suspenso por fios de lã. Portanto, a seda é um isolante melhor do que a lã. Essa técnica ainda é utilizada para comparar as condutividades dos materiais.

Seu nono e décimo artigos tratam do mesmo tema. Ambos foram publicados após sua morte, em 1736. Gray colocou um globo metálico sobre um bolo de resina eletrizada. Depois, construiu um pêndulo elétrico – uma de suas invenções – ao pendurar uma pequena cortiça ou miolo de sabugo em uma fina linha isolante. A bolinha do pêndulo elétrico é feita de um material condutor e suspensa por um fio isolante. Ao ser colocada próximo ao plano equatorial do globo, a bolinha passou a ser repelida por ele, descrevendo órbitas aproximadamente elípticas ao seu redor, no plano equatorial do globo, sempre no mesmo sentido. Ele tinha grandes expectativas com esse experimento, acreditando que reproduzia o que ocorria no sistema solar. Mas os pesquisadores que vieram depois dele observaram que o sentido de movimento era aleatório e dependia das condições iniciais ou do movimento da mão que segurava o pêndulo elétrico. Como Gray morreu nesse mesmo ano, não chegou a aprofundar seus experimentos sobre o tema, e não parece ter tido tempo de fazer observações mais detalhadas sobre o fenômeno.

3.3 Algumas descobertas posteriores relacionadas com os trabalhos de Gray

Du Fay (1698-1739) foi altamente influenciado pelos trabalhos de Gray, como afirmou em seus artigos. Ele reconheceu a atração como um fenômeno essencialmente elétrico, além de caracterizar o chamado “mecanismo ACR”, ou seja, atração (A), contato ou comunicação da eletricidade (C), seguido de repulsão (R). Um exemplo desse fenômeno ocorre em um experimento realizado por ele, análogo ao de Guericke e Gray. Inicialmente, ele atritou um tubo de vidro; em seguida, soltou uma fina folha de ouro acima dele. A folha de ouro foi atraída pelo tubo, tocou nele, passando então a ser

repelida por ele, flutuando acima dele enquanto Du Fay caminhava com seu tubo eletrizado.

Foi ao realizar um desses experimentos que chegou a sua grande descoberta, em 1733: os dois tipos de eletricidade. Enquanto a folha de ouro estava flutuando acima do tubo de vidro eletrizado, Du Fay aproximou um pedaço de goma-copal, que também havia sido eletrizado por atrito. Ao contrário do que ele esperava, a folha de ouro foi atraída pela goma-copal atritada. Pelo seu primeiro princípio, Du Fay esperava que ela também fosse repelida pela goma-copal atritada, assim como era repelida pelo vidro atritado. Ao continuar seus experimentos, Du Fay concluiu que havia dois tipos de eletricidade, que chamou de *vítrea* e *resinosa*. Descobriu também que corpos eletrizados com eletricidade de mesmo tipo repeliam-se, enquanto corpos eletrizados com eletricidades de tipos diferentes se atraíam.

Canton (1712-1772) descobriu, em 1754, que o vidro podia ser eletrizado com os dois tipos de eletricidade, dependendo de ser atritado com flanela ou com seda oleosa. Pesquisas como essas mostraram que o tipo de carga adquirido por um corpo não dependia apenas da natureza do corpo, mas também do material com o qual era atritado. Os dois tipos de eletricidade passaram a ser chamados de *positiva* e *negativa*, em vez de *vítrea* e *resinosa*. As primeiras séries triboelétricas foram apresentadas na década de 1750, por Wilcke (1732-1796) e Benjamin Wilson (1721-1788). Nessas séries, colocava-se a carga positiva (+) em uma extremidade, os corpos no meio, e a carga negativa (-) na outra extremidade. Ao se atritarem dois corpos, A e B, fica eletrizado positivamente aquele que está mais próximo da carga + na série triboelétrica, enquanto o outro corpo fica eletrizado negativamente.

Ao continuar os experimentos de Gray, Du Fay criou os primeiros eletroscópios. O nome *eletrômetro* é devido a Nollet (1700-1770), que foi aprendiz de Du Fay durante alguns anos. Os primeiros eletroscópios nada mais eram do que fios de diferentes materiais condutores dobrados em V e colocados sobre condutores isolados do solo. Quando o corpo era eletrizado por atrito ou

por descargas elétricas, os fios abriam-se, indicando a eletrização desse corpo.

Aepinus (1724-1802) fez descobertas importantes, descritas em um livro de 1759. Ele aproximou um tubo de vidro eletrizado de uma das extremidades de uma barra metálica que estava apoiada sobre isolantes, sem contato com o solo, assim como na maioria dos experimentos de Gray. Sobre a barra, havia colocado dois coletores de carga, ou seja, pequenos condutores suspensos por fios de seda. Mantendo o tubo de vidro próximo da barra, retirou um dos coletores e examinou a carga que havia nele; depois fez o mesmo com o outro coletor. Concluiu, então, que a barra havia sido polarizada pelo tubo de vidro eletrizado. Particularmente a extremidade da barra próxima ao tubo de vidro ficava eletrizada com uma carga de tipo oposto à do tubo eletrizado, enquanto a extremidade oposta da barra ficava eletrizada com carga de mesmo sinal que a do tubo de vidro. Esse fenômeno é conhecido como *polarização* ou *indução elétrica*. Esse era o fenômeno que acontecia em boa parte dos experimentos de Gray, exceto naqueles em que havia descarga ou faísca elétrica. Nesse caso, se o condutor estivesse isolado, a carga adquirida pela descarga elétrica entre ele e o tubo eletrizado colocado em suas proximidades seria do mesmo tipo que a carga do tubo eletrizado.

Na década de 1770, descobriu-se que os metais e outros condutores também podem ser eletrizados por atrito, assim como ocorria no efeito âmbar. Contudo, para essa eletrização ocorrer, era fundamental que o condutor estivesse isolado enquanto fosse atritado, para evitar que as cargas geradas no atrito fossem descarregadas para o solo, por causa do aterramento.

Após a descoberta de que os metais e todos os outros corpos podiam ser eletrizados por atrito, desde que estivessem isolados eletricamente, a nomenclatura que havia sido introduzida por Gilbert ao denominar os corpos como sendo *elétricos* e *não elétricos* perdeu sentido. Além disso, o próprio Gray já havia descoberto que era possível comunicar a eletricidade (ou a propriedade de atrair corpos leves) aos metais. Para obter essa comunicação da eletricidade,

bastava deixar os metais em contato com um tubo de vidro eletrizado, sendo suficiente aproximá-los, desde que os metais estivessem isolados da Terra (com os metais suspensos por fios de seda ou apoiados por resinas, por exemplo). Passou-se, então, a utilizar a denominação *isolantes* e *condutores* para classificar os corpos. Esses termos são devidos a Du Fay e a Desaguliers (1683-1744).

As substâncias que eram chamadas de *elétricas* passaram a ser denominadas *isolantes*, enquanto as substâncias que eram chamadas *não elétricas* passaram a ser denominadas de *condutores*. Mas não foi apenas uma mudança de nomes, já que o significado desses termos não é o mesmo. Tanto os condutores quanto os isolantes podem ser eletrizados por atrito, possuindo a característica de atrair corpos leves, desde que os condutores permaneçam isolados do solo durante e após o atrito. O que caracteriza os isolantes é que eles ficam eletrizados apenas na região atritada; o que não ocorre nas outras regiões. Além disso, eles não permitem o fluxo ou o transporte de cargas. Já condutores, ao serem atritados enquanto isolados, ficam eletrizados ao longo de toda a sua superfície, e não apenas na região atritada. Além disso, eles permitem o fluxo ou transporte de cargas sempre que houver uma diferença de potencial elétrico entre suas extremidades, já que possuem cargas livres em seu interior.

Hoje também é conhecido o fato de que o comportamento isolante ou condutor de um corpo depende não apenas de suas propriedades intrínsecas (ou seja, do material de que esse corpo é composto), mas também das condições externas a que está sujeito. Por exemplo, para altas diferenças de potencial (da ordem de alguns milhares de volts ou mais), boa parte das substâncias comporta-se como condutor. Esse é o caso não apenas dos metais, mas da maioria das madeiras, do papel, da água comum de torneira, da pele humana, do solo etc. Já para baixas diferenças de potencial (tipicamente menores ou iguais a cerca de 200 volts), apenas os metais comportam-se como condutores, sendo que a maioria das outras substâncias comporta-se como isolante. Essa distinção é muito importante, já que boa parte dos experimentos de eletrostática usuais (como atrair pedaços de papel) ocorre em altas diferenças de poten-

cial. Vem daí a relevância de Gray ter descoberto substâncias como a seda e as resinas, que se comportam como isolantes nos experimentos de eletrostática usuais.

3.4 Importância das descobertas de Gray

Deve-se a Gray uma das descobertas mais importantes da história da eletricidade: a existência de materiais condutores e isolantes. Ele foi o primeiro a descobrir suas principais propriedades, como a de que essas características dependem de propriedades intrínsecas dos corpos, e não de suas dimensões. Gray conseguiu também comunicar a eletricidade a grandes distâncias, utilizando condutores isolados eletricamente do solo. Ele descobriu que, ao aproximar um corpo eletrizado de uma das extremidades do condutor isolado, a outra extremidade desse corpo tinha a propriedade de atrair corpos leves. Além disso, conseguiu eletrizar, por meio de descargas elétricas ou faíscas, tanto a água quanto diversos outros condutores que estavam isolados do solo (suspensos por fios de seda ou apoiados sobre resinas, por exemplo). Criou também os primeiros eletretos da história.

A descoberta dos condutores e isolantes permitiu o controle da eletricidade e levou a uma série de novos desenvolvimentos por aqueles que seguiram os passos de Gray, como Du Fay e vários outros. Em uma rápida sequência, Du Fay propôs a existência de dois tipos de eletricidade, as séries triboelétricas foram introduzidas por Wilcke e Wilson, o fenômeno da indução descoberto por Gray foi explicado por Aepinus em termos da polarização elétrica do condutor quando na presença de um corpo eletrizado em suas proximidades, além de ter sido descoberto que metais e outros condutores podem ser eletrizados por atrito, desde que os condutores estejam isolados do solo. Isso explicava o motivo de ninguém ter conseguido eletrizar por atrito metais, madeiras, papéis, tecidos e vários outros corpos por quase dois mil anos desde a descoberta do efeito âmbar pelos antigos gregos. Afinal de contas, todas as cargas que

porventura tivessem sido transferidas ao pedaço de metal ao atritá-lo contra um tecido eram perdidas imediatamente para o solo, já que as pessoas seguravam o metal enquanto o atritavam. Após Gray descobrir os condutores e isolantes, mostrando suas principais propriedades, tudo isso passou a ser facilmente entendido.

Na vida moderna, quase tudo o que está relacionado à eletricidade envolve os fios metálicos envoltos por isolantes, seja em residências, ruas, máquinas etc. O domínio da eletricidade só foi possível depois que a descoberta de Gray passou a ser compreendida, explorada e desenvolvida por outros pesquisadores.

4

INFORMAÇÕES INTRODUTÓRIAS SOBRE ELETRICIDADE E SOBRE OS EXPERIMENTOS DE GRAY

4.1 Considerações gerais

Neste momento, faremos algumas considerações que julgamos pertinentes para o leitor deste livro. O objetivo é esclarecer alguns pontos e chamar a atenção para elementos importantes na leitura das traduções e na realização dos experimentos.

Todos os experimentos descritos neste livro versam sobre eletrostática. Esse tipo de experimento é bastante sensível à umidade – ela não inviabiliza sua realização, mas pode dificultar e diminuir os efeitos, dependendo da umidade do ar. Em muitas situações, os efeitos e os fenômenos não são atingidos, nem visualizados na primeira tentativa. É preciso insistir e conferir os aparatos, pois até uma toalha que serve de forro de mesa pode impedir o funcionamento do experimento.¹ Tenha cuidado ao manusear os aparatos, pois pequenas modificações, mesmo as mais simples, implicam alterações significativas no experimento.

Em experimentos de eletrostática, as sutilezas são muitas e fundamentais para o bom andamento das atividades. Nas descrições que fizemos dos experimentos, em alguns casos mencio-

1 Isso pode acontecer, por exemplo, se o experimento necessitar que o aparato esteja aterrado e a toalha da mesa o isole.

namos distâncias aferidas para ilustrar o fenômeno. No entanto, essas distâncias são ilustrativas, pois dependem de vários fatores (por exemplo, quão eletrizado está o material, o peso do objeto atraído, a umidade relativa do ar etc.). Sendo assim, o leitor não deve se prender às distâncias mencionadas, mas sim estar atento aos fenômenos descritos.

Todas as figuras e notas de rodapé apresentadas nas traduções foram inseridas pelos tradutores; os textos originais não tinham ilustrações e comentários. A maioria das figuras deste livro foi feita pelos autores;* as que foram extraídas de outras obras terão a fonte indicada. As figuras estão fora de escala. Em algumas delas, exageramos o tamanho do tubo de vidro ou de outros elementos para facilitar a visualização. As figuras que têm os sinais de + ou – indicando cargas elétricas mostram apenas uma representação qualitativa dessas cargas. Além disso, as cargas elétricas representadas nas figuras remetem à “teoria atual” da Física,² pois tais entes físicos foram idealizados posteriormente aos trabalhos de Gray. Sendo assim, as figuras são sempre representações dos experimentos e dos fenômenos descritos nos textos, com as cargas ilustradas sendo um auxílio para as discussões dos fenômenos feitas a partir da “teoria atual” da Física. Algumas figuras e notas de rodapé foram repetidas em traduções diferentes. Optamos por fazer isso para que o texto traduzido, quando destacado do livro – por exemplo, para um trabalho em sala de aula –, tenha todos os elementos inerentes a ele. Tanto as figuras quanto as notas de rodapé foram inseridas nas traduções com o objetivo de auxiliar o leitor no entendimento e na análise dos textos de Gray. Vale ressaltar que as figuras representam nossas interpretações dos experimentos descritos nos textos.

2 As expressões *Física atual* e *teoria atual* utilizadas neste livro são empregadas com uma conotação específica, referindo-se aos conceitos físicos que estão presentes nos livros-texto de hoje e que são objeto de ensino na educação científica.

* Algumas ilustrações – por exemplo, sino (Fig.10.9); atizador (Fig.11.2); funil (Fig.10.27); prato (Fig.8.2); ímã (Fig.7.14); mãozinha; suporte etc. – foram feitas com base em imagens/figuras disponíveis no *Google images* (<images.google.com.br>).

4.2 O versório, o eletroscópio e o pêndulo elétrico

Inicialmente, descreveremos três instrumentos que serão utilizados na reprodução de alguns dos experimentos de Stephen Gray, feitos com material acessível. Discorreremos primeiro sobre como montar um versório; depois, falaremos sobre o eletroscópio e, em seguida, sobre o pêndulo elétrico.

4.2.1 O versório de Gilbert

William Gilbert (1544-1603) propôs um dos primeiros instrumentos elétricos utilizados para a detecção de eletricidade, o qual foi chamado de versório, como mostra a Figura 4.1.



Figura 4.1 – Versório de Gilbert. Figura extraída de Roller e Roller (1957, p.550).

É possível que Gilbert tenha se inspirado em um dispositivo elétrico inventado pelo italiano Girolamo Fracastoro (1478-1553), chamado de *perpendicular*, cuja função era detectar objetos e materiais que apresentavam a mesma propriedade que o âmbar atritado tinha de atrair corpos leves, como palha, semente, pedaços de âmbar, metais etc. (Heilbron, 1979, p.175; Assis, 2010). Provavelmente, o perpendicular é o instrumento elétrico mais antigo inventado pela humanidade. É possível que sua conformação seja algo semelhante a um pêndulo ou um fio de prumo, sendo composto por uma linha vertical que é presa a um suporte fixo pela sua extre-

midade superior; tem um objeto qualquer preso a sua extremidade inferior, como mostrado na Figura 4.2. Desta forma, a linha teria liberdade para se movimentar livremente em torno do ponto de fixação, na extremidade superior (Assis, 2010, p.35-7).

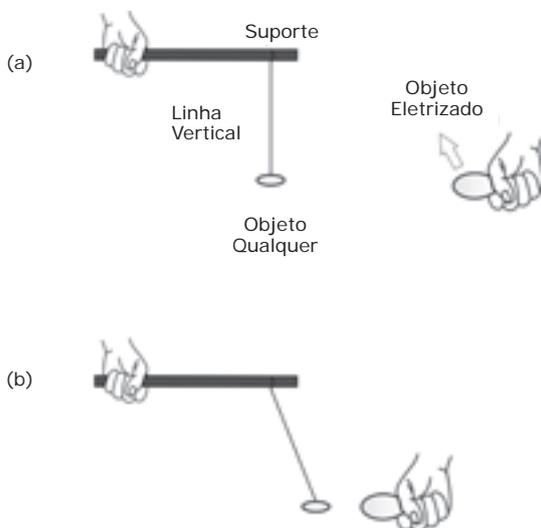


Figura 4.2 – Possível representação de um perpendicular. (a) Linha presa a um suporte pela extremidade superior; na extremidade inferior há um objeto não eletrizado (pode ser um pedaço leve de metal, por exemplo). Na mão à direita, há um objeto eletrizado (um pedaço de âmbar, por exemplo). Não há atração perceptível entre o perpendicular e o âmbar eletrizado, por causa da grande distância entre eles; sendo assim a linha fica na vertical. (b) Com a aproximação do âmbar eletrizado, o perpendicular passa a ser visivelmente atraído. Figura adaptada de Assis (2010, p.37).

O termo *perpendicular* pode estar relacionado à palavra *perpendicular*. Fracastoro prendia na extremidade inferior do instrumento um pequeno pedaço de âmbar ou de prata e, à medida que um segundo pedaço de âmbar atritado fosse aproximado do perpendicular, a linha e o objeto preso à extremidade se afastariam da

vertical, aproximando-se do objeto eletrizado. A vantagem desse instrumento é que ele é mais sensível para a verificação de forças de natureza elétrica, ou seja, para verificar se um corpo está ou não eletrizado. Isso ocorre porque a tração da linha contrabalança o peso do corpo preso a ela, facilitando sua movimentação. Caso o objeto a ser atraído estivesse sobre qualquer superfície, seria mais difícil verificar sua movimentação, por causa da aproximação de um objeto eletrizado (Assis, 2010, p.35-7).

O termo *versório* provém do latim e pode significar “girar sobre”, “instrumento girador” ou “aparato girante”. Sua aparência é semelhante à de uma bússola, mas sua agulha não é magnetizada. Para alguns pesquisadores, essa semelhança pode ser considerada algo natural, em razão da experiência de Gilbert com o estudo do magnetismo (Ibid., p.37-8; Roller; Roller, 1957, p.549-50).

O versório é composto de duas partes: “um membro vertical, que age como um suporte fixo em relação à Terra, e um membro horizontal capaz de girar livremente sobre o eixo vertical definido pelo suporte” (Assis, 2010, p.38). A agulha do versório, que é a sua parte móvel, pode ser feita de diversos materiais, como metal, madeira, papel, plástico duro etc. A importância desse dispositivo também se deve ao fato de ele ser bastante sensível ao movimento por causa da ação de forças de natureza elétrica, sendo um bom instrumento para a detecção de objetos eletrizados. Ele é mais sensível ao movimento do que pequenos objetos leves, como pedacinhos de papel ou de palha, lâminas metálicas etc., colocados sobre uma superfície qualquer. Objetos fracamente atritados, muitas vezes, podem movimentar a pequena agulha do versório, a qual está posicionada sobre uma ponta fina e tem liberdade para girar livremente, embora não sejam capazes de atrair pequenos objetos leves posicionados sobre determinada superfície. Atualmente, a denominação genérica dada a ele é *eletroscópio* (Ibid., p.37-8; Roller; Roller, 1957, p.549-50). Neste livro, reservaremos o termo *eletroscópio* para o instrumento descrito na Subseção 4.2.2.

Montando um versório

Esse dispositivo será utilizado para verificar a eletrização dos canudos de plástico ou outros objetos após serem atritados. É possível construir um versório de várias formas e com diversos materiais (Ripe, 1990; Chaib; Assis, 2007, p.43-4; Assis, 2010, p.38-46). Neste livro, vamos descrever apenas um tipo de versório. No entanto, sugerimos que o leitor consulte as fontes citadas e faça também os outros tipos.

Materiais
Rolha de cortiça
Alfinete
Alicate
Colchete de aço
Martelo
Prego

Tal como no versório de Gilbert, teremos um suporte fixo em relação à Terra e uma haste horizontal (também chamada de *agulha*), que deve ficar livre para girar. O suporte fixo é composto por uma base e uma haste vertical, podendo ser feito com: 1) uma rolha de cortiça e um prego ou um alfinete preso a ela; 2) massa de modelar e um palito de dente fixado nela; 3) uma pequena tábua de madeira com um prego fixado com a ponta para cima. O importante é que o suporte (base + haste vertical) fique fixo em relação à Terra. A agulha, elemento horizontal livre para girar, pode ser feita de: 1) metal, podendo-se utilizar um colchete de aço tipo bailarina ou uma tirinha recortada de latinhas de alumínio; 2) uma tirinha de cartolina; 3) uma tirinha de plástico duro, podendo-se utilizar potes de margarina etc.

Inicialmente, corte a cabeça do alfinete com o alicate. Em seguida, segure o alfinete com o alicate e introduza a parte de trás na rolha. Dessa forma, a ponta do alfinete ficará voltada para cima (ver Figura 4.3a). Para fazer a haste horizontal (agulha) do versório, utilize um colchete de aço tipo bailarina, colocando-o sobre a ponta do alfinete. Utilize o martelo e o prego para fazer uma

marca (uma pequena deformação) no centro da parte circular do colchete, que é o ponto no qual a ponta do alfinete ficará apoiada (ver Figura 4.3b).

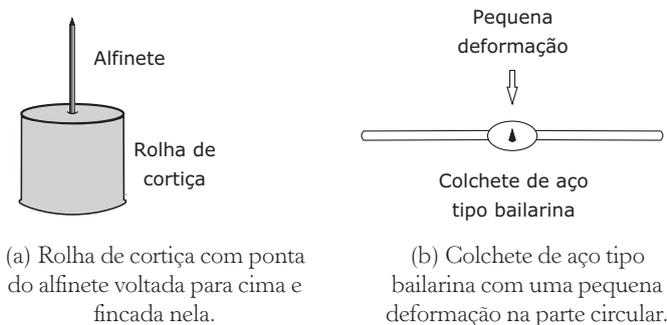


Figura 4.3 – Rolha com alfinete e colchete com pequena deformação. Figuras adaptadas de Ripe (1990, “Versorium”).

Tome cuidado para não furar o colchete ao fazer a marca, pois isso pode dificultar ou até mesmo impedir o seu movimento. O passo seguinte é colocar a agulha sobre a ponta do alfinete. Para que ela não caia ao ser apoiada, é necessário “que seu centro de gravidade fique abaixo do ponto de contato com o alfinete”.³ Isso é possível de duas formas: 1) dobrando o colchete em forma \wedge (ver Figura 4.4a); ou 2) deixando-o plano, mas de forma que sua parte circular, em contato com o alfinete, fique acima do plano estabelecido pelas hastes do colchete (ver Figura 4.4b).

Feito isso, está pronto o versório (ver Figura 4.5). É importante verificar se a agulha está girando livremente para os dois sentidos, sem tombar ou cair, sem ficar presa ou com dificuldade para girar, por causa do atrito com a ponta do alfinete. Se tudo estiver funcionando bem, ele está pronto para ser utilizado (Ripe, 1990; Ferreira, 2001; Chaib; Assis, 2007, p.43-4; Assis, 2010, p.38-9).

3 “Uma discussão detalhada sobre o conceito de centro de gravidade (CG) e os procedimentos práticos para encontrar esse ponto” pode ser encontrada no livro *Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca* (2008), de André Koch Torres Assis.

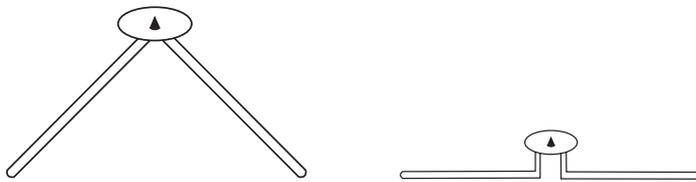


Figura 4.4 – (a) Colchete em forma \wedge . (b) Colchete com parte circular acima do plano das hastes. Figuras adaptadas de Ripe (1990, “Versorium”).



Figura 4.5 – (a) Versório com a haste horizontal em forma \wedge . (b) Versório com a haste horizontal dobrada de forma que a parte circular do colchete, em contato com o alfinete, fique acima do plano estabelecido pelas suas hastes. Figuras adaptadas de Ripe (1990, “Versorium”).

4.2.2 O eletroscópio e os materiais condutores e isolantes

Nesta subseção, apresentaremos o eletroscópio, que é um aparelho muito utilizado para distinguir os materiais condutores dos isolantes.

Poste de sustentação (suporte com base de gesso)

Antes de montar o eletroscópio, é preciso fazer os postes de sustentação ou suportes. Esses postes serão utilizados em outros expe-

rimentos descritos ao longo deste livro; assim, seria interessante o leitor fazer cerca de cinco suportes.

Materiais
Copo de plástico descartável para café Canudinhos de refresco de plástico dobráveis Gesso em pó Água Palitos de madeira

Inicialmente, prepare um pouco de massa de gesso, misturando gesso em pó e água; procure deixar a massa bem consistente para facilitar a secagem e o manuseio. Em seguida, encaixe um palito de madeira⁴ no centro da base de um copo de plástico descartável e coloque gesso no seu interior até enchê-lo, como indicado na Figura 4.6a (Chaib; Assis, 2007, p.44). Dê preferência a copinhos de plástico de 80 ml, pois eles deixam a base mais estável. Às vezes, precisaremos utilizar canudinhos dobráveis nos suportes. Nesses casos, encaixe um canudo no palito de madeira, com a parte dobrável para cima, como indicado na Figura 4.6b.

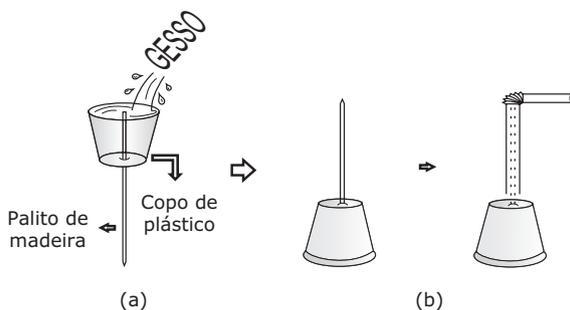


Figura 4.6 – (a) Montagem do suporte. (b) Suporte e suporte com canudo. Esta figura foi inspirada na ilustração de Chaib e Assis (2007, p.44).

4 Palitos utilizados para fazer churrasco ou espetinhos de carne com legumes. Em geral, têm cerca de 25 cm e são encontrados em supermercados ou lojas de variedades.

O inconveniente dessa montagem é que, às vezes, o canudo de refresco é muito mais largo do que o palito, ficando solto e livre para girar. Isso é incômodo em alguns experimentos. Uma forma de solucionar o problema é colocar um canudo dentro do outro antes de colocá-los no palito de madeira – isso permite que o canudo fique preso ao suporte. Alguns autores preferem utilizar um colchete de aço tipo bailarina no lugar do palito de madeira (Ripe, 1990; Assis, 2010, p.76). Preferimos o palito porque, dessa forma, o suporte pode ser utilizado em outros experimentos, como veremos posteriormente. O suporte pode ser feito de outras maneiras: por exemplo, um pedaço de madeira com um furo no centro onde se encaixa o canudo de refresco (Gaspar, 2005, p.226).

Montando um eletroscópio

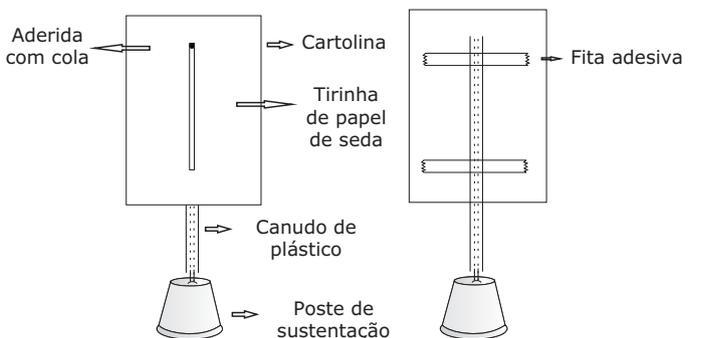
Assim como no caso do versório, existem vários tipos e maneiras de montar um eletroscópio. O próprio versório é, algumas vezes, chamado de eletroscópio, por ser utilizado para indicar a presença de corpos eletrizados em suas proximidades (Assis, 2010, p.137). Neste livro, utilizaremos o nome *eletroscópio* para o instrumento descrito nesta seção.

Materiais
Canudinhos de plástico Cartolina ou papel cartão Tirinha de papel de seda Poste de sustentação Variados: fita adesiva, cola, tesoura etc.

Para construir um eletroscópio, comece recortando um retângulo de cartolina (ou papel cartão) com cerca de 7 cm de largura por 10 cm de altura. Em seguida, recorte uma tirinha de papel de seda com cerca de 2 cm de largura por 6 cm de comprimento.⁵ A tira pode ser feita com papel de seda ou com papel de bala de coco.

5 Apesar da palavra *seda* associada ao papel de seda, deve-se enfatizar que esse papel não é feito de seda. Ele só recebe esse nome por ser muito fino, quase

Prenda a tirinha no retângulo de cartolina. Para isso, pingue uma gota de cola em uma das pontas da tirinha e cole-a no retângulo (em vez de cola, pode ser utilizada fita adesiva). Quanto mais leve for a tirinha, melhor ficará o instrumento, pois ele será mais sensível e os fenômenos ficarão mais visíveis. Agora, prenda a placa (retângulo de cartolina + tirinha de papel de seda) a um canudo de refresco com fita adesiva. Para isso, utilize dois pedaços de fita adesiva e prenda o canudo na parte de trás da placa. Não deixe a fita adesiva dobrar nas bordas da placa; deixe-a de um tamanho que a permita ficar apenas na parte de trás. A ponta de cima do canudo não deve ficar acima da borda superior da placa. Para finalizar, encaixe o canudinho no poste de sustentação. A Figura 4.7 mostra o instrumento e seus elementos (Ripe, 1990; Gaspar, 2005, p.229-33; Assis, 2010, p.137-40).



(a) Eletroscópio visto de frente e suas partes.

(b) Verso do eletroscópio, com a fita adesiva prendendo o canudo na cartolina.

Figura 4.7 – Eletroscópio: frente e verso. Figura adaptada de Gaspar (2005, p.229-33), Assis (2010, p.137-40) e Ripe (1990; “Material para experiências em eletrostática”)

transparente. O importante, aqui, é que o papel de seda se comporta como condutor para as experiências de eletrostática usuais (Assis, 2010, p.138, 151). Já a linha de seda vendida em lojas de materiais de corte e costura comporta-se como isolante nessas experiências.

Ao terminar a montagem, faça um teste para verificar a mobilidade da tirinha. Segure o eletroscópio na horizontal, com a tira de papel para baixo. Sua extremidade livre deve cair facilmente; caso contrário, o eletroscópio poderá não funcionar bem. É importante, para o bom funcionamento do instrumento, que a tirinha não esteja amassada nem dobrada. Ela deve ser feita de papel bem leve, como o papel de seda, pois é fundamental que se mova para cima com facilidade. Além disso, suas extremidades não devem ultrapassar as bordas superior e inferior da placa.

Um segundo fator fundamental nesse instrumento é o isolamento elétrico da placa, que, nesse caso, está sendo feito pelo canudinho de plástico. Se quiser melhorar o isolamento, coloque um canudo dentro do outro – isso também dará mais fixidez ao instrumento. Se a placa não estiver bem isolada, o instrumento não funcionará bem, pois ela estará aterrada e as cargas elétricas do sistema escoarão para a Terra. Por isso, não se pode colar ou prender a placa diretamente no palito de madeira, pois o sistema ficará aterrado (Gaspar, 2005, p.229-33; Assis, 2010, p.137-40).⁶

Condutores e isolantes

Podemos definir *materiais condutores* como aqueles que, quando segurados pela mão, descarregam um eletroscópio eletrizado ao tocar na placa de cartolina desse eletroscópio, isto é, abaixam a tirinha que estava levantada, pois o eletroscópio estava carregado (Ripe, 1990, “Condutores e Isolantes”; Gaspar, 2005, p.234; Assis, 2010, p.147). Para carregar o eletroscópio, eletrize um canudo de plástico atritando-o em um pedaço de papel, por exemplo. Em seguida, passe o canudo eletrizado nas bordas da cartolina do eletroscópio. esfregue o canudo uma ou mais vezes sobre a borda da cartolina, até

6 Esses livros trazem alguns experimentos que podem ser realizados com o eletroscópio. Recomendamos ao leitor que tente fazê-los. Os leitores interessados na história do eletroscópio podem consultar Medeiros (2002) e Assis (2010, p.170).

que a tirinha se levante e permaneça levantada após o afastamento do canudo. Esse é o indicativo de que o instrumento está carregado. Então, encoste qualquer material na cartolina do eletroscópio, segurando esse material com a mão. Se a tirinha abaixar, isso significa que o instrumento descarregou. Esse material é chamado de *condutor elétrico* para as diferenças de potencial elétrico envolvidas no experimento. Se a tira não abaixar, o instrumento continua carregado. Esse segundo material é chamado de *isolante elétrico* para as diferenças de potencial elétrico envolvidas no experimento.

Esse experimento permite verificar que muitos materiais que se comportam como isolantes elétricos para as diferenças de potencial elétrico das tomadas de nossas casas (110 V e 220 V) se comportam como condutores para nossos experimentos de eletrostática. O motivo dessa diferença de comportamento é que o canudo eletrizado pode chegar a potenciais elétricos da ordem de 10^3 V (Gaspar, 2005, p.234-5), considerando a Terra em um potencial nulo. Um corpo que se comporta como isolante elétrico para pequenas diferenças de potencial (de 0 V até cerca de 300 V, por exemplo) pode se comportar como um condutor elétrico para grandes diferenças de potencial (de cerca de 1.000 V ou mais, por exemplo). Bons isolantes elétricos, no caso dos experimentos de eletrostática usuais, são ar seco, plásticos, tubos de PVC, linhas de seda e isopor. A maioria dos outros materiais, tais como metais, papéis (inclusive o papel de seda), madeiras, água etc., comporta-se como condutores nesses experimentos de eletrostática.

4.2.3 O pêndulo elétrico

Materiais
Canudinho de plástico Poste de sustentação Papel-alumínio Linha de poliamida ou de seda

Outro instrumento bastante importante para os experimentos de eletrostática que realizamos é o pêndulo elétrico, também conhecido como *pêndulo eletrostático*. Para construí-lo, fixe um disco de papel-alumínio de no máximo 2 cm de diâmetro a um pedaço de linha de seda (ou linha de poliamida bem fina). Para isso, utilize uma gotinha de cola ou fure o disco com uma agulha próximo à borda e amarre a linha. Não utilize fita adesiva, pois ela pode atrapalhar a movimentação do pêndulo e a observação de alguns fenômenos. Embora o papel-alumínio possa ser substituído por papel comum ou papel de seda, ele apresenta melhores resultados. As linhas de seda e de poliamida podem ser compradas em lojas de material de costura. Também é possível obter a linha de poliamida desfiando uma meia calça feminina de poliamida (de náilon). É fundamental que a linha seja de material isolante elétrico. Portanto, não utilize materiais como linha de algodão ou de linho.⁷

Suspenda a extremidade livre da linha com o disco em um canudo de refresco dobrável colocado em forma Γ no poste de sustentação com base de gesso. Para aumentar a distância entre a linha e a vareta do poste de sustentação, é possível colocar um segundo canudo à extremidade do canudo em forma Γ . Nesse caso, a linha será presa à extremidade do segundo canudo. A Figura 4.8, na seção a seguir, ilustra o pêndulo elétrico (Ripe, 1990; Gaspar, 2005, p.225; Assis, 2010, p.75).

4.3 Experimentos iniciais

4.3.1 Eletrização dos materiais

Primeiro, fizemos alguns testes de eletrização com vários materiais, objetivando verificar se aqueles que tínhamos disponíveis apresentariam diferença na eletrização e quais ficariam mais eletrizados. Nas figuras 4.9 e 4.10, apresentaremos os materiais utilizados.

7 A definição de condutores e isolantes e a classificação dos materiais nessas duas categorias é discutida nas subseções 4.2.2 e 4.3.2 deste livro.

Experimento 1



Figura 4.8 – Pêndulo completo. Nesse caso, o pêndulo foi feito com linha de seda e um disco de papel-alumínio.

A verificação da diferença de eletrização dos materiais pode ser feita por meio de dois instrumentos elétricos diferentes. Uma das maneiras de fazer isso é utilizando um eletroscópio (ver Subseção 4.2.2), uma régua de 30 cm e um apoio para a régua, como mostra a Figura 4.11a.

Nesse aparato, o zero da régua deve ficar encostado no palito de madeira do poste de sustentação do eletroscópio. Portanto, o zero da régua e a tirinha de papel de seda devem estar posicionados sobre a mesma vertical. Para verificar a eletrização, o objeto eletrizado, segurado com a mão, é colocado sobre o marco de 30 cm da régua, na altura da ponta inferior da tirinha de papel de seda, como mostra a Figura 4.11b. Movimenta-se lentamente a mão que segura o objeto em direção ao eletroscópio, de modo que se aproximem. Dessa forma, em determinado momento, a tirinha deve se levantar. Então, o movimento da mão com o objeto deve cessar. Em seguida, verifica-se a distância que o objeto está do eletroscópio, observando sua posição sobre a régua. Como o zero da régua e a tirinha estão sobre a mesma vertical, a distância é obtida a partir da leitura direta da régua.



Figura 4.9 – Materiais utilizados para teste de eletrização: sete tipos diferentes de canudo de refresco; nove réguas escolares diferentes; cano (tubo) de PVC (50 cm de comprimento e 25 mm de diâmetro); pente de plástico; tubo de plástico (brinquedo); cabide de acrílico; pote de sal de plástico duro; porta papel de acrílico; regulador de cortina persiana de acrílico; bastão de resina de cola quente; mangueirinha de chuveiro; colher de plástico; duas canetas com tubinhos de acrílico de marcas diferentes.

A segunda maneira de verificar a eletrização dos materiais é utilizando um instrumento que tem o mesmo princípio de funcionamento daquele que Gray chamou de *linha pendular*.⁸ O aparato que montamos consiste em um poste de sustentação (base de gesso +

8 Dispositivo feito com uma linha vertical presa a uma vareta de madeira. Em algumas situações, o instrumento era utilizado para testar se os corpos estavam eletrizados (ver Figura 4.12). Quando feito com essa finalidade, a linha do dispositivo deve ser de material condutor elétrico (por exemplo, de linho ou algodão). O teste era feito aproximando-se um corpo da linha. Se ela fosse atraída pelo corpo, este estava eletrizado. (Assis, 2010, p.90).* Gray mencionou explicitamente que esse instrumento é mais sensível para verificar se um corpo está eletrizado do que o teste em que o corpo atrai pequenos objetos colocados sobre uma superfície: “A melhor maneira de observar essas atrações é segurando o corpo que atrai com uma das mãos e ter uma fina linha branca amarrada à extremidade de uma vareta na outra [mão]. Dessa forma, graus de atração muito menores serão percebidos do que utilizando lâminas de latão” (Gray, 1731-2b, p.289).

* A “linha pendular” parece ter sido mencionada por Gray pela primeira vez à página 228 do artigo (Gray, 1731-2a) como uma *pendulous thread*. A tradução desse artigo pode ser encontrada no Capítulo 8 deste livro. Uma discussão sobre a utilização da expressão linha pendular é apresentada na Seção 4.4 deste capítulo.

palito de madeira na vertical), um segundo palito de madeira horizontal preso à haste vertical, com os dois palitos formando a letra Γ , uma linha de material condutor (de algodão) presa à ponta do palito horizontal e uma régua de 30 cm apoiada sobre a base de dois postes de sustentação (o segundo poste de sustentação serve tanto de apoio para a régua quanto de referência para a movimentação da linha de algodão; ver Figura 4.13).⁹



Figura 4.10 – Materiais utilizados para teste de eletrização: lâ comercial (pano de acrílico), meia de seda (85% poliamida), papel (toalha e sulfite), flanela, mangueirinha de chuveiro.

Para fazer as medidas, o objeto eletrizado deve ser colocado sobre a extremidade direita da régua, na altura da extremidade inferior da linha de algodão. Então, movimentar-se lentamente o objeto em direção à linha, de forma que se aproximem até que a linha se mova por causa da atração elétrica. Nesse momento, cesse o movimento do objeto e verifique com a régua a distância entre a linha e o objeto. Para facilitar as medidas, deixe a marca de 10 cm da régua junto com o palito de sustentação do centro (poste de referência),

9 É fundamental que os dois palitos de madeira do suporte (na vertical e na horizontal) estejam em contato para que o sistema fique aterrado. Para prender os dois palitos, pode-se utilizar fita adesiva. Certifique-se de que o instrumento não esteja sobre uma superfície isolante.

ou seja, sobre a vertical da linha de algodão. Nesse experimento, supomos que quanto mais eletrizado um objeto esteja, maior será a distância que ele fará a tirinha ou a linha se movimentar.



(a) À esquerda, temos um eletroscópio, ao centro há um apoio para a régua (nesse caso, utilizamos uma caixa de sapato) e uma régua de 30 cm apoiada sobre a caixa.



(b) Medida sendo realizada. À direita, o canudo segurado com a mão é aproximado do eletroscópio.

Figura 4.11 – Aparato para verificar a eletrização dos objetos.

Sendo assim, realizando um desses procedimentos com vários objetos, é possível ter uma estimativa de qual deles está mais eletrizado. Essas são maneiras que encontramos de tentar obter algo quantitativo para comparar a eletrização dos objetos a partir de materiais de baixo custo. Também estamos cientes de que muitos fatores podem influir na eletrização dos materiais e, portanto, essas medidas são bastante imprecisas. Uma forma de tentar obter resultados que pelo menos permitam ter uma ideia de qual material teria melhor eletrização é refazer os testes várias vezes, em dias diferentes. Para os objetivos desse experimento, que é a comparação entre a eletrização dos objetos, é possível utilizar qualquer um dos instrumentos, isto é, um eletroscópio ou uma linha pendular; o importante é que todos os testes sejam feitos com apenas um deles. Não se pode fazer parte dos testes com um instrumento e parte com o outro, pois a linha é mais

sensível e as distâncias aferidas serão diferentes. O leitor interessado pode construir um eletroscópio eletrônico que permita detectar o tipo de carga que um objeto eletrizado apresenta (Sousa et al., 1996).

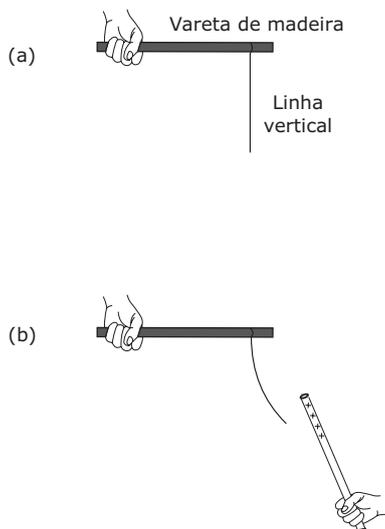


Figura 4.12 – (a) Linha pendular de Gray sendo composta por uma linha condutora presa a uma vareta de madeira. (b) Linha pendular sendo atraída por um tubo eletrizado. Figura adaptada de Assis (2010, p.91).

Para a realização dos testes, os materiais da Figura 4.9 foram atritados com os materiais da Figura 4.10. Foram feitos vários testes em dias diferentes, as distâncias foram registradas em um caderno de notas. Nosso objetivo com essas medidas era verificar, de forma simples, se alguns materiais apresentariam diferença na eletrização por atrito e qual deles ficaria mais eletrizado. Apesar das medidas realizadas, vamos expor aqui apenas as nossas conclusões com relação aos objetos que, em nossos experimentos, se mostraram mais profícuos para eletrização. Não será apresentado qualquer tratamento dos dados obtidos, pois entendemos que isso não seria razoável nem possível, tendo em vista os procedimentos

experimentais utilizados aqui. As conclusões foram tiradas a partir da comparação da média aritmética das medidas, ou seja, fizemos a média para cada material da Figura 4.9 atritado com cada material da Figura 4.10 e as comparamos. Vale ressaltar que as distâncias medidas apresentaram variações durante os testes, o que pode estar relacionado à umidade, à manipulação dos objetos, entre outros motivos.

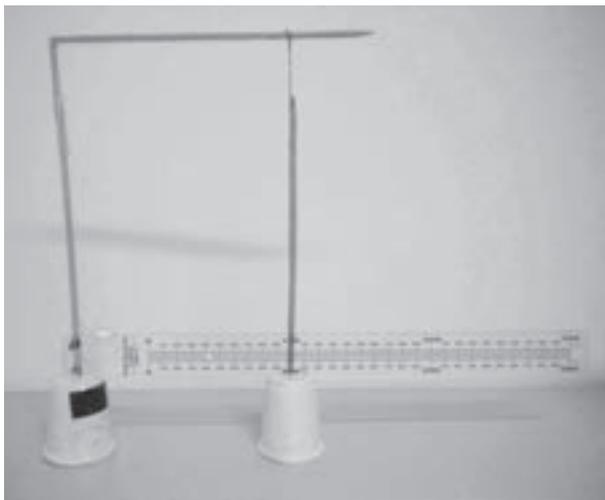


Figura 4.13 – Instrumento para verificação de eletrização. À esquerda, temos um palito de sustentação vertical com um segundo palito de madeira horizontal preso a sua ponta, com os dois palitos formando a letra Γ . Na ponta do palito horizontal está presa uma linha de algodão com cerca de 20 cm. Ao centro da figura, há um segundo palito de sustentação vertical, que serve tanto de apoio para a régua quanto de referência para a movimentação da linha de algodão. Apoiada sobre a base dos postes de sustentação há uma régua de 30 cm. A linha de algodão está afastada do segundo palito de sustentação vertical cerca de 2 cm, para que eles não se toquem. Na figura, a linha de algodão fica evidente apenas na parte superior, pois na parte inferior ela não está visível, por causa do palito de referência à frente.

Com relação aos materiais da Figura 4.10, concluímos que a meia de seda¹⁰ é a melhor opção para promover a eletrização dos objetos por atrito. No entanto, em dias secos, o atrito com o papel também apresenta bons resultados e pode ser utilizado nos experimentos de eletrostática sem problema.¹¹ A maior diferença entre a poliamida e o papel no que tange a eletrização dos objetos parece ocorrer em dias de chuva ou muito úmidos. Nessas condições, a poliamida apresentou melhor resultado para promover a eletrização.

No que tange a eletrização dos objetos da Figura 4.9, destacaram-se o tubo de PVC, os canudos e as régua. Entre os vários canudinhos testados (sete tipos diferentes), a maioria apresentou resultados semelhantes, mas um deles teve um desempenho melhor do que os outros, ou seja, apresentou maior eletrização quando atritado com os materiais da Figura 4.10. O canudo com melhor desempenho é mais rígido do que os outros. Aconselhamos o leitor a testar mais de um tipo de canudo e verificar qual deles apresenta maior eletrização. O mesmo ocorreu com as régua, pois a maioria apresentou pouca variação na eletrização, mas duas delas tiveram um resultado melhor do que as outras. Essas duas régua são de acrílico transparente (Gaspar, 2005, p.224).

O tubo de PVC atritado teve a melhor eletrização de todos os materiais, isto é, foi o objeto eletrizado que moveu a tirinha de papel de seda do eletroscópio e a linha pendular à maior distância. Entretanto, é preciso levar em conta que a superfície de contato do tubo de PVC é bem maior que a do canudo e a da régua; portanto, pode haver maior acúmulo de carga e, por isso, melhor resultado para aquele tipo de aferição que fizemos. O interessante é que tan-

10 São meias para artesanato e popularmente chamadas de meia de seda. Sua composição tem 85% de poliamida. A meia calça feminina tem uma composição semelhante, algumas com até 100% de poliamida. Neste livro, vamos nos referir a essas meias como poliamida.

11 Quando falamos em “bom resultado” ou “resultado razoável”, queremos dizer que o objeto apresenta uma eletrização que permite que os experimentos de eletrostática sejam realizados de forma satisfatória, por exemplo, que eletrize um eletroscópio.

to o PVC quanto o canudo (aquele mais rígido) atritados com poliamida têm resultados razoáveis até em dia de chuva.

Algumas vezes, a dificuldade que tivemos para fazer os experimentos em dias chuvosos foi a eletrização do eletroscópio, que pode descarregar rapidamente nessas condições de umidade. Ao carregar o eletroscópio com canudinho ou tubo de PVC atritados (esfregando o objeto eletrizado na cartolina do eletroscópio), a tirinha de papel de seda levanta, mas, por vezes, imediatamente começa a baixar, indicando perda de eletrização. Ela não permanece levantada por tanto tempo quanto em dias secos, como também aponta Assis (2010, p.161). O mesmo pode ocorrer com o pêndulo elétrico, que perde a eletrização rapidamente e pode dificultar a realização de experimentos que demandem que ele fique carregado por mais tempo. No entanto, como aponta Gaspar (2005, p.224), “a umidade do ar prejudica, mas não invalida os experimentos de eletrostática. É possível fazer qualquer experiência, mesmo em locais úmidos e dias chuvosos: as dificuldades poderão ser maiores e os efeitos menos notáveis que em dias mais secos, mas mesmo assim é possível obter resultados satisfatórios”.

Tentamos verificar se atritar os objetos com mais força, ou seja, apertando-os entre os dedos com mais intensidade ou com maior velocidade mudaria a eletrização, mas não foi possível concluir nada a respeito disso. O que nos parece é que o tubo de PVC fica mais eletrizado com um número maior de fricções com a poliamida. No caso dos canudos, há momentos que com um ou dois puxões (entre os dedos, com papel ou poliamida) obtém-se um efeito bom, mas há outros em que é preciso puxar (atritar) várias vezes. Não foi possível perceber nenhum padrão com relação a isso.

A literatura traz algumas sugestões quanto ao processo de atritar: para Assis (2010, p.15), a dica é “esfregar rapidamente”; para Ferreira (2001, p.20), o canudo deve ser atritado “fortemente contra o papel toalha”; no site do *Projeto Ciência à Mão* (Ripe, 1990, “Eletrização por Atrito: Canudo de frescor”), a instrução para eletrização do canudinho é “pressionar firmemente o papel

contra o canudo e puxar rapidamente”; já Gaspar (2005, p.224), recomenda que “é preciso ensaiar, testar e ser persistente, pois de início nem sempre se obtêm os resultados esperados nesse experimento”. Em geral, quando atritamos o tubo de PVC ou uma régua, fazemos movimentos repetidos para a frente e para trás. No entanto, esse procedimento não é muito aconselhável com o canudinho de refresco, pois ele não é suficientemente rígido e pode dobrar em razão dos movimentos para a frente e para trás, o que dificulta o atrito. Por isso, é preferível atritá-lo puxando-o repetidas vezes entre a mão fechada segurando o papel ou a poliamida.

É importante destacar que, em geral, é preciso atritar constantemente os objetos (como tubo de PVC, canudo de plástico, régua etc.), ou seja, de tempo em tempo, durante a realização dos experimentos, pois há uma tendência de o material perder a eletrização naturalmente. O tempo para a perda da eletrização depende de vários fatores, como as condições de umidade do ambiente, de quão eletrizado o objeto ficou após o atrito, o tipo de material que é atritado, entre outros. Além disso, o manuseio constante dos materiais os impregna com suor e gordura das mãos; assim, é importante ter disponível uma certa quantidade de canudos para poder substituí-los (Ibid., p.224). No caso de cano de PVC, régua e outros corpos não descartáveis, é interessante limpá-los após certo período de uso. Assim, é importante sempre ter um versório ao lado para verificar se o objeto atritado encontra-se bem eletrizado.

Tendo em vista a discussão anterior, as formas de atritar e alguns empecilhos mencionados, cabe ao leitor fazer seus próprios testes e verificar qual é o par de materiais mais profícuos para eletrização e a melhor maneira de eletrizá-los.

Com a realização dos experimentos, percebemos que em alguns deles, apesar de o tubo de PVC atritado com poliamida apresentar maior eletrização, o canudo de refresco atritado com poliamida ou papel é melhor. Por exemplo, nos experimentos em que é preciso carregar o eletroscópio o canudinho nos parece melhor, pois eletriza

o instrumento tanto quanto o tubo de PVC e é muito mais fácil de manusear, tendo em vista que há maior possibilidade de derrubar o eletroscópio ao eletrizá-lo com o tubo.

Em experimentos com pêndulos elétricos, o canudinho também é de manuseio mais fácil e apresenta efeitos muito semelhantes aos do tubo de PVC. Mas, em outros experimentos, o tubo de PVC apresenta melhor resultado do que o canudo. É o caso, por exemplo, de um experimento em que a penugem (ou semente de dente-de-leão) fica oscilando entre a mão e o objeto eletrizado, como será descrito no Experimento 15.5. Sendo assim, em determinados momentos utilizamos o tubo de PVC e em outros utilizamos um canudo, ou seja, aquele que se adapta melhor ao experimento em questão. Novamente, a sugestão ao leitor é para realizar os testes e averiguar qual é a melhor opção entre os materiais disponíveis.

4.3.2 Quais materiais são condutores ou isolantes?

O objetivo dos experimentos a seguir é verificar quais materiais são condutores e quais são isolantes elétricos, entre aqueles que utilizamos para fazer os experimentos aqui descritos. A característica de condutor ou isolante elétrico de um material é fundamental para a realização dos experimentos e para o entendimento dos fenômenos apresentados. Isso ficará mais claro para o leitor ao longo do livro.

Experimento 2

Para fazer o teste, o eletroscópio da Figura 4.11 foi carregado eletricamente raspando-se a cartolina do eletroscópio com um canudinho eletrizado (atritoado com papel ou poliamida). Cabe ressaltar que a tirinha de papel de seda do eletroscópio fica levantada

quando ele está carregado. Em seguida, o objeto a ser testado é segurado pelos dedos da mão e encostado em um dos cantos da cartolina do eletroscópio. À medida que o objeto toca a cartolina, a tirinha de papel de seda pode apresentar dois comportamentos distintos: 1) abaixar e permanecer assim depois que o objeto é afastado, demonstrando que o instrumento descarregou; nesse caso, o objeto é chamado de *condutor elétrico*; ou 2) permanecer levantada, demonstrando que o instrumento não descarregou; nesse caso, o objeto é chamado de *isolante elétrico*.

Assim, neste livro, definimos materiais condutores como aqueles que, ao tocarem um eletroscópio carregado, o descarregam, isto é, abaixam a tirinha que estava levantada devido ao instrumento estar carregado (Ripe, 1990; Gaspar, 2005, p.234; Assis, 2010, p.147). Podemos tornar essa definição um pouco mais específica. Segundo Assis (2010, p.161-2). Para experimentos de eletrostática como os que descrevemos aqui e para os objetivos a que se propõe seu livro, é possível definir

[...] os *bons condutores* como as substâncias que, ao entrarem em contato com um eletroscópio eletrizado, o descarregam em um intervalo de tempo menor do que cinco segundos. Os *maus condutores* ou *maus isolantes* são as substâncias que o descarregam durante um intervalo de tempo que vai de cerca de cinco segundos até por volta de trinta segundos. Esses corpos também são chamados de *condutores imperfeitos* ou de *isolantes imperfeitos*. Já os *bons isolantes* são as substâncias que necessitam de um intervalo de tempo maior do que trinta segundos para descarregar um eletroscópio eletrizado. Neste livro vamos nos referir aos bons condutores simplesmente como *condutores*, enquanto os bons isolantes serão chamados de *isolantes* [grifos do autor].

Como os objetivos deste livro no que tange a construção e utilização dos experimentos históricos no ensino de Física não são diferentes dos objetivos do livro de Assis, também vamos utilizar aqui a referida definição de *condutores* e *isolantes*. O au-

tor também discute o fato de “que o comprimento de um corpo influencia em seu comportamento como condutor ou isolante”, sendo que “quanto maior for o comprimento do corpo entre a mão que o segura e o eletroscópio eletrizado, [...] maior será o tempo necessário para descarregar o eletroscópio”(Assis, 2010, p.161-2). Dessa forma, uma tirinha de papel com 2 cm de largura pode ser tanto um bom condutor quanto um bom isolante elétrico, dependendo de seu comprimento.

Uma tirinha com 2 cm de largura por 10 cm de comprimento, quando segurada pelos dedos e encostada na cartolina de um eletroscópio eletrizado, o descarrega rapidamente, de modo que se enquadra na definição de bom condutor dada anteriormente. Por outro lado, se a tirinha de papel com 2 cm de largura tiver 30 cm de comprimento, ao ser segurada com a mão e encostada no eletroscópio eletrizado, ele levará alguns segundos para descarregar, sendo que a tirinha pode ser considerada mau condutor (ou mau isolante). Mas se o comprimento da tira de 2 cm de largura for 1 m, quando ela for encostada na cartolina, o eletroscópio permanecerá eletrizado por alguns segundos, e a tirinha poderá ser considerada um bom isolante elétrico (Ibid, p.162).

Utilizando o procedimento e a definição dada anteriormente, testamos materiais como o palito de madeira do poste de sustentação, o gesso da base do poste, as tiras de papel de seda utilizadas como tirinhas do eletroscópio, cartolina, papel sulfite, papel-alumínio, linha de algodão, sementes de dente-de-leão, rolha de cortiça, pedaços de metal (por exemplo, clipe, pedaço de arame etc.) e o corpo humano. Todos esses materiais comportaram-se como condutores elétricos. Também testamos a cola que utilizamos para colar os experimentos. Para fazer o teste, colocamos um filete de cola (cerca de 5 cm de comprimento) sobre uma régua de acrílico. Após a secagem, retiramos o filete de cola seca da régua (ver Figura 4.14) e fizemos o procedimento utilizado para testar a condutividade dos materiais. Concluímos que ela também é um condutor elétrico, pois, ao tocar no eletroscópio carregado, a tirinha abaixou imediatamente.



Figura 4.14 – No alto da figura, temos um exemplo da haste de pena (à esquerda) e três conjuntos de cerdas. No meio há uma pena, e na parte inferior temos uma tirinha de cola seca.

Testamos, ainda, uma pena. Tanto a haste quanto as cerdas – e a pena inteira – comportaram-se como condutores elétricos. Utilizamos a haste e as cerdas separadamente, bem como a pena inteira (rever Figura 4.14). Para qualquer uma das partes da pena, ou a pena inteira, a tirinha do eletroscópio abaixava após o contato. Contudo, tanto a haste quanto as cerdas e a pena inteira não descarregavam o eletroscópio imediatamente, como faz um metal ou madeira, por exemplo. No caso da pena, a tirinha de papel de seda demora aproximadamente três a cinco segundos para abaixar totalmente. Mesmo assim, tomando como base a definição de bons condutores dada por Assis (2010), a pena é um bom condutor de eletricidade. Vale ressaltar, entretanto, que a pena é um bom condutor para os comprimentos que utilizamos, isto é, haste de cerca de 9 cm, cerda de aproximadamente 3 cm e pena inteira de cerca de 10 cm. Para comprimentos maiores, o comportamento referente à condutividade elétrica pode mudar.

De outro lado, materiais como canudos de refresco, plástico, tubo de PVC, régua de acrílico, linha de seda, poliamida, poliéster, isopor, comportaram-se como isolantes elétricos.¹²

12 Há uma lista “Corpos que se comportam como condutores e isolantes nas experiências usuais de Eletrostática” em Assis (2010, p.151).

4.4 Sobre a “linha pendular” e a “linha branca”

4.4.1 A linha pendular

Um ponto que vale a pena observar ao ler as traduções dos artigos de Gray são as possíveis definições do objeto chamado por ele de “linha pendular” (*pendulous thread*, nos originais em inglês). Dependendo da situação em que é utilizada, a linha pendular assume propriedades diferentes, podendo ser feita de linha isolante ou condutora, o que implica comportamentos bastante distintos. Em algumas situações, o texto de Gray não menciona o material de que a linha pendular é feita. Portanto, inferimos se ela é condutora ou isolante a partir do contexto em que é empregada. Vamos ver dois exemplos que ilustram essa questão.

A *linha pendular* parece ter sido mencionada por Gray pela primeira vez à página 228 do artigo de 1731¹³ como uma *pendulous thread*. Nesse caso, provavelmente referia-se a uma penugem condutora dependurada na ponta inferior de uma linha de seda isolante. O experimento trata de uma linha pendular que é atraída e repelida por um prato eletrizado. Gray não especificou de que material foi feita essa linha pendular. Contudo, nesse exemplo em particular, afirma que a linha pendular “será atraída e repelida [pelo prato] muitas vezes seguidas com um movimento muito rápido” (Gray, 1731-2c, p.228). Para que ocorra esse movimento repetido de atração e repulsão, o que nos parece mais provável é que essa linha pendular seja similar ao instrumento elétrico que ele descreveu em 1720 (Gray, 1720-1, p.107),¹⁴ o qual atualmente denominamos *pêndulo elétrico*. Trata-se de uma vareta de madeira com uma fina linha de seda isolante presa a sua ponta. Na extremidade inferior da linha de seda era presa uma penugem. Gray segurava a vareta, na posição horizontal, com a mão. A linha de seda ficava na vertical, com a penugem na extremidade in-

13 Neste livro, à página 172.

14 Ver página 122 e Figura 6.1 deste livro.

ferior. Embora a vareta de madeira se comporte como um condutor, isso não é relevante nesse caso.

Os aspectos cruciais são que a linha de seda comporta-se como um isolante, enquanto a penugem comporta-se como um condutor. Pode ser obtida uma sequência de atrações e repulsões com um pêndulo elétrico ao colocá-lo entre um corpo eletrizado e um condutor aterrado (Assis, 2010, p.88-9).¹⁵ No caso específico desse experimento de Gray, a penugem de seu pêndulo elétrico seria mantida na mesma altura do prato eletrizado pela linha de seda. A penugem ficaria entre o prato eletrizado e um corpo aterrado, que vamos supor que seja um dedo de uma das mãos de Gray. Ao aproximar o pêndulo do prato eletrizado, a penugem é atraída pelo prato, toca nele, adquire uma carga de mesmo sinal que o prato, passa a ser repelida por ele, toca no dedo de Gray que está do outro lado da penugem, sendo então descarregada nesse aterramento. Ela, então, volta a ser atraída pelo prato eletrizado, e todo o procedimento se repete. Esse movimento vibratório de atração e repulsão continuará até que o prato tenha sido descarregado, quando então deixará de atrair a penugem. Utilizaremos, em nossos textos, a nomenclatura *pêndulo elétrico* para o instrumento que Gray reporta oscilar entre um corpo eletrizado e outro neutro, o qual ele denomina *linha pendular*.

No entanto, Gray também chama de *linha pendular* outro instrumento, que descrevemos em seguida. Em nossos textos, a nomenclatura *linha pendular* será utilizada apenas para o instrumento descrito a seguir. Contudo, o leitor deve ficar atento, porque nas traduções dos textos de Gray, a expressão *linha pendular* pode significar qualquer um dos dois instrumentos, dependendo do contexto.

No texto de Gray de 1731 (p.403), a *linha pendular* provavelmente era um *condutor elétrico*. O experimento trata de uma linha utilizada para verificar se uma bola de cortiça está eletrizada, ou seja, ela é utilizada como um detector de eletrização. Nesse caso, a linha deve ser um condutor elétrico – feita de algodão ou de linho, por exemplo – para poder ser visivelmente atraída pelo objeto eletrizado. Caso a linha fosse feita de seda, um material isolante, a

15 Ver Experiência 4.15.

atração que ela sofreria pela bola de cortiça eletrizada seria muito pequena, não sendo tão perceptível quanto no caso anterior (Assis, 2010, p.90-2).

Alguns experimentos propostos por Assis (Ibid., p.90-2) permitem verificar que alguns materiais são bem atraídos por um corpo eletrizado, enquanto outros ou não são atraídos, ou então a atração sofrida por eles é bem menor do que aquela sofrida pelos primeiros materiais (Ibid, p.24-4). Supondo vários materiais de mesmo peso e formato, mas feitos de substâncias diferentes, o que se observa é que a atração sofrida pelos materiais condutores é bem maior do que aquela sofrida pelos materiais isolantes (Ibid., p.22-4, 90-2, 149, 198-201).

A partir desses experimentos, o leitor pode fazer uma comparação entre um corpo ser ou não ser atraído por um objeto eletrizado e o fato desse corpo ser ou não ser condutor. Ou seja, os materiais que são visivelmente atraídos são condutores ou isolantes? Ou os materiais que quase não são atraídos são condutores ou isolantes?

É possível estabelecer alguma relação? Sugerimos ao leitor que faça a leitura da Seção “Quais corpos descarregam um eletroscópio por contato?” (Ibid., p.147-152),¹⁶ pois nela há uma discussão bastante interessante e completa sobre os materiais condutores e isolantes.

4.4.2 A linha branca

O mesmo aplica-se ao objeto chamado por Gray de “linha branca” (*white thread*, nos originais em inglês). Dependendo da situação em que é utilizada, a linha branca assume propriedades diferentes. Pode ser feita de linha isolante ou condutora, o que implica comportamentos bastante distintos. Em algumas situações, o texto não menciona o material de que a linha branca é feita. Portanto, inferimos se ela é condutora ou isolante a partir do contexto em que é empregada. Vamos ver dois exemplos que ilustram essa questão.

16 Ver Experiência 6.12.

No texto de Gray (1731-2b, p.289),¹⁷ a linha branca provavelmente era um condutor elétrico. Aqui a linha é utilizada para verificar se objetos estão eletrizados, ou seja, é utilizada como um detector de eletrização. Nesse caso, a linha branca tem a mesma função da linha pendular já citada, apenas recebe um nome diferente. Portanto, deve ser um condutor elétrico, por exemplo, feita de algodão ou de linho, para que seja visivelmente atraída pelo objeto eletrizado. Caso a linha branca fosse feita de um material isolante, como a seda, seria muito menos atraída por um objeto eletrizado do que uma linha condutora de mesma densidade (isto é, de mesmo peso e de mesmo comprimento que a linha condutora) (Assis, 2010, p.90-2). Já no texto de Gray (1731-2d, p.397),¹⁸ existe a possibilidade de interpretá-la como um material condutor e como um material isolante. Não vamos fazer aqui uma descrição sobre as duas possibilidades, pois a faremos em detalhes mais adiante.¹⁹ O importante, neste momento, é que o leitor fique ciente de que a expressão *linha branca*, tal como a expressão *linha pendular*, não tem significado único nos artigos de Gray. Portanto, é preciso ficar atento às situações e aos comentários para entender os diferentes significados que essas expressões assumem.

4.5 Diferenças entre os vidros da época de Gray e os vidros atuais

Os fenômenos elétricos foram descobertos pelos antigos gregos ao observarem que um pedaço de âmbar atritado tinha a capacidade de atrair corpos leves (tais como penugens, cascas de sementes etc.) ao se aproximar deles. Na época de Gray, era comum utilizar um tubo de vidro em vez do âmbar para realizar experimentos desse tipo. Existem três diferenças muito importantes entre os vidros uti-

17 Ver páginas 184 e 185 deste livro.

18 Ver página 189 deste livro.

19 “Carta I”, no Capítulo 10 deste livro.

lizados na época de Gray e aqueles encontrados comumente hoje em dia. As diferenças discutidas aqui se referem ao comportamento elétrico desses vidros.

Quando nos referimos aos vidros comuns encontrados atualmente, eles podem ser tanto os de nossas residências (por exemplo, copo, garrafa, recipiente para guardar alimentos, janela etc.), quanto aqueles adquiridos facilmente no comércio (por exemplo, béquer, tubo de ensaio, lente, lâmina de microscópio etc.).

As diferenças mencionadas aqui podem ser devidas tanto às composições desses vidros quanto aos processos de fabricação desses materiais. É importante enfatizá-las tanto pelo aspecto histórico relacionado aos experimentos originais de Gray, quanto pelos aspectos pedagógicos e didáticos quando se tenta reproduzir alguns deles com vidros atuais, já que elas podem não funcionar da mesma maneira como foram descritas por Gray.

Essas diferenças serão discutidas nas próximas três subseções (Assis, 2010, p.13-14, 100, 240-2), começando com a mais relevante.

4.5.1 Comportamento isolante ou condutor

Gray realizou a maior parte de seus experimentos eletrizando um tubo de vidro de *flint-glass*, isto é, um vidro à base de chumbo. Esse tubo era eletrizado por atrito contra a mão de Gray. Depois de atritado, ele permanecia eletrizado durante os experimentos enquanto era segurado por Gray com uma das mãos. Outros pesquisadores daquela época, como Hauksbee, Du Fay e Nollet, também eletrizavam vidros por atrito. Esses vidros podiam tanto ser aqueles comuns da época, quanto de *flint-glass*. Eles também permaneciam eletrizados enquanto eram manipulados pelos pesquisadores. Isso indica que os tubos de vidro daquela época comportavam-se como excelentes isolantes elétricos, já que não eram descarregados pelo contato com a mão do pesquisador, que estava aterrada.

Por outro lado, os vidros comumente encontrados hoje em dia nas residências e no comércio comportam-se como bons conduto-

res elétricos nos experimentos de eletrostática usuais. Esse comportamento é facilmente verificado com um eletroscópio eletrizado, como discutido nas subseções 4.2.2 e 4.3.2. Ou seja, se temos um eletroscópio eletrizado e tocamos sua cartolina com um copo de vidro segurado com a mão, observa-se que o eletroscópio é descarregado rapidamente. Sua tirinha de papel de seda é abaixada em poucos segundos nesse contato, permanecendo assim após o afastamento do copo.

Isso significa que não conseguimos eletrizar os vidros atuais utilizando o procedimento de Gray. Por exemplo, seguramos um copo de vidro com uma das mãos e o atritamos contra o cabelo ou contra um pano de seda ou de algodão. Quando aproximamos esse vidro atritado de papeizinhos colocados sobre uma mesa, não observamos nenhuma atração exercida pelo copo. Mesmo quando ocorre alguma atração, ela tem pouca intensidade, não sendo facilmente perceptível. A explicação para essa falta de atração é que, qualquer que seja a quantidade de carga que o copo tenha adquirido pelo atrito, a carga será logo escoada pelo copo através da mão do pesquisador, fluindo para o solo.

Segundo Bossa et al. (2007), “a condutividade elétrica dos vidros é uma propriedade muito sensível às variações de composição”. Dessa forma, é possível existirem vidros condutores e isolantes, sendo que essa propriedade define se o material se eletrizará ou não no processo “mais comum” de eletrização por atrito, isto é, segurar o objeto com uma das mãos e atritá-lo com algum material na outra mão. Materiais isolantes podem ser eletrizados facilmente da maneira como citamos; já os condutores precisam estar isolados eletricamente para que isso ocorra.

Isso significa que, antes de tentar reproduzir qualquer experimento de Gray utilizando os vidros atuais, é necessário testar se esses vidros comportam-se como isolantes ou condutores. Caso eles se comportem como condutores, não será possível reproduzir o experimento da mesma forma que foi realizada por Gray, a não ser que antes esse vidro seja isolado eletricamente do contato com a Terra e com o corpo do pesquisador.

Um procedimento que auxilia bastante na alteração do comportamento elétrico do vidro é o aquecimento. Um vidro que se comporta como condutor elétrico pode passar a se comportar como isolante ao ser aquecido no fogo ou em um micro-ondas. O suor da mão de quem realiza o experimento ou a umidade acumulada na superfície de um vidro aumentam suas propriedades condutoras, fazendo com que as cargas elétricas fluam mais livremente sobre ele. Ao ser aquecido, parte desse suor e da umidade é evaporada ou eliminada, fazendo com que o vidro passe a se comportar como um isolante elétrico. Outro fator que auxilia nesse comportamento isolante do vidro é trabalhar com tubos longos que são atritados em uma extremidade, enquanto são segurados com a mão na outra extremidade. Quanto mais longo for o tubo, maior será o tempo que as cargas geradas pelo atrito ficarão sobre sua superfície. Gray trabalhava frequentemente com um tubo que tinha 1 m de comprimento.

Por causa da dificuldade de se obter um vidro que seja um bom isolante elétrico, utilizamos, nos experimentos descritos neste livro e realizados com material de baixo custo, canudos plásticos ou tubos de PVC em vez de tubos de vidro. Esses materiais são excelentes isolantes, assim como os vidros da época de Gray, além de serem baratos e facilmente encontrados no comércio. Ou seja, o material que será utilizado neste livro para observar os efeitos elétricos de atração de corpos leves, assim como os outros fenômenos descritos por Gray, será um canudo plástico ou um tubo de PVC. Esse material será atritado contra alguma substância (no nosso cabelo ou pele, em algum papel ou tecido). Em seguida, seguraremos o material eletrizado com a nossa mão para então exibir os fenômenos elétricos desejados (atrair corpos leves que estejam em suas proximidades etc.).

4.5.2 Densidade superficial das cargas geradas pelo atrito

Mesmo que um vidro atual comporte-se como isolante elétrico (seja por sua composição intrínseca, seja pelo fato de ter sido pre-

viamente aquecido), ainda existe uma grande diferença entre os vidros modernos e aqueles da época de Gray.

Gray e outros pesquisadores de sua época conseguiam efeitos muito grandes e perceptíveis com seus tubos de vidro eletrizados. Consequiam, por exemplo, atrair corpos leves que estavam a dezenas de centímetros dos tubos eletrizados. Também conseguiam transmitir a virtude elétrica a mais de 100 m do tubo, desde que houvesse um condutor entre o tubo eletrizado e o ponto onde era observada a atração de corpos leves. Nesses experimentos, a extremidade do condutor que estava mais afastada do tubo era capaz de atrair corpos leves, desde que a primeira extremidade desse condutor estivesse em contato ou próxima do tubo eletrizado. Além disso, Gray gerava faíscas e descargas elétricas com certa facilidade ao aproximar seu tubo de vidro eletrizado de outros corpos condutores.

É difícil reproduzir alguns desses efeitos descritos por Gray utilizando os materiais comuns da atualidade. Para realizar esses experimentos, temos de eletrizar um isolante por atrito. Esse isolante pode ser, por exemplo, um vidro previamente aquecido, um canudo de plástico ou um tubo de PVC. Mesmo quando conseguimos reproduzir alguns dos fenômenos descritos por Gray, a ordem de grandeza observada atualmente é, em geral, menor do que a descrita por ele. Por exemplo, a distância mínima a partir da qual observamos a atração de corpos leves quando aproximamos deles um isolante eletrizado costuma ser menor do que a descrita por Gray. Podemos também transmitir a eletricidade para a extremidade livre de condutores que estejam ligados ao nosso isolante eletrizado. Também nesse caso, o comprimento máximo do condutor do qual conseguimos observar a atração de corpos leves por sua extremidade livre é menor do que aquele dos experimentos de Gray. Dificilmente conseguimos faíscas e descargas elétricas visíveis ao eletrizar um isolante por atrito e aproximá-lo de um condutor. Já para Gray a observação desse fenômeno não parecia ser tão difícil.

A explicação dessa diferença de comportamento está nas densidades superficiais de carga obtidas pelo atrito. O tubo de Gray era

não apenas um excelente isolante, mas também tinha a capacidade de adquirir uma grande densidade de carga ao ser atritado. Essa densidade de carga era bem maior do que aquela que obtemos hoje, mesmo quando utilizamos bons isolantes elétricos (como é o caso dos canudos de plástico ou tubos de PVC). Por causa dessa pequena densidade superficial de carga obtida hoje, fica difícil reproduzir alguns dos experimentos de Gray, pelo menos com a intensidade descrita por ele.

4.5.3 Tipo de carga adquirida por atrito

A terceira diferença refere-se ao tipo de carga adquirida pelo vidro quando é atritado com a pele humana (Assis, 2010, p.110-28).

A descoberta dos dois tipos de eletricidade é devida a Du Fay. Foi ele também quem propôs a regra segundo a qual dois corpos eletrizados com eletricidade do mesmo tipo se repelem, enquanto dois corpos eletrizados com eletricidades de tipos diferentes se atraem. Essas descobertas foram publicadas em 1733 (Du Fay, 1733; Id., 1733-4; Boss; Caluzi, 2007). Ele denominou *eletricidade vítrea* o primeiro tipo de eletricidade, e *eletricidade resinosa* o segundo tipo. Du Fay descobriu que o vidro e a lã adquiriam eletricidade do primeiro tipo ao serem atritados com a pele e com a seda. De outro lado, descobriu que as resinas e a seda adquiriam eletricidade do segundo tipo ao serem atritadas com a pele e com outro pedaço de seda.

Uma questão que pode ser levantada aqui é: se atritarmos dois pedaços de seda, haverá eletrização? Segundo um experimento realizado por Du Fay e descrito em *Quarta memória* (1733, p.472-3), ao atritar dois pedaços de seda houve eletrização de pelo menos um deles,²⁰ sendo que o pedaço de seda que ele analisou tinha eletricidade resinosa. Se tomarmos como base as ideias da Física atual, podemos dizer que, se o pedaço de seda analisado por Du Fay estava eletrizado,

20 Afirmamos que pelo menos um dos pedaços de seda ficou eletrizado, pois nada é dito, no texto, sobre o outro pedaço. Dessa forma, entendemos que apenas um deles foi analisado por Du Fay.

o outro também estava. Além disso, se o referido objeto apresentou carga elétrica negativa, o outro apresentaria carga elétrica positiva. Uma possível explicação para esse tipo de eletrização entre objetos de mesmo material pode estar na composição química do material, uma vez que qualquer mudança nesse tipo pode interferir na eletrização por atrito. Ou seja, embora Du Fay tenha atritado dois pedaços de seda, pode ser que eles tivessem composições diferentes entre si. Mas, caso partamos do princípio de que os objetos sejam iguais em composição química, poderemos supor que alguma variação na textura do material ou a presença de contaminantes (por exemplo, sujeira, poeira, gordura da mão etc.) influenciará a troca de cargas elétricas no momento do atrito, fazendo com que um objeto adquira certo tipo de carga elétrica e o outro adquira carga de natureza oposta.

Vinte anos após Du Fay publicar essas descobertas, começaram a surgir algumas anomalias. Foi observado que um mesmo tipo de vidro áspero podia obter eletricidade do primeiro ou do segundo tipo, dependendo do material com o qual era atritado. O mesmo ocorria com outras substâncias. Isso levou à criação das chamadas *séries triboelétricas*, sendo as primeiras publicadas em 1757 e 1759. Os termos *vítrea* e *resinosa* deixaram de ter sentido após essas descobertas. Passou-se a chamar a eletricidade do primeiro tipo de *eletricidade positiva*, enquanto a eletricidade do segundo tipo passou a ser chamada de *eletricidade negativa*. Se atritamos dois corpos, C1 e C2, aquele que estiver mais próximo do sinal + da série triboelétrica vai adquirir eletricidade positiva, enquanto o outro corpo vai adquirir eletricidade negativa, já que se encontra mais próximo do sinal – da série triboelétrica.

Convencionou-se então chamar de *eletricidade positiva* a eletricidade que era chamada de *vítrea* na época de Du Fay e de *eletricidade negativa* a eletricidade chamada de *resinosa* naquela época.

A terceira diferença que ocorre entre os vidros da época de Gray e os atuais está relacionado à carga adquirida por eles ao serem atritados contra a pele humana. Os vidros atuais estão muito próximos da pele nas séries triboelétricas (Assis, 2010, p.127). Isso significa que alguns vidros atuais vão estar mais próximos da carga + do que

a pele humana nessas séries triboelétricas. Vamos chamá-los de *vidros do tipo A*. Já outros vidros atuais vão estar mais próximos da carga – do que a pele humana nessas séries triboelétricas. Vamos chamá-los de *vidros do tipo B* (ver Tabela 4.1).

Tabela 4.1 – Série triboelétrica com vidros atuais

+
vidro do tipo A
pele humana
vidro do tipo B
–

Ou seja, quando atritamos um vidro do tipo A contra a pele, esse vidro adquire carga +. De outro lado, ao atritar um vidro do tipo B contra a pele, esse vidro adquire carga –. Para saber se um certo vidro é do tipo A ou B, temos de atritá-lo contra a pele humana e testar a carga adquirida por ele. Somente experiências desse tipo vão permitir classificá-lo como um vidro do tipo A ou do tipo B.

Isso significa que os vidros atuais podem adquirir carga + ou – ao serem atritados contra a pele, dependendo de serem do tipo A ou B, respectivamente. De outro lado, os vidros utilizados por Gray e por outros pesquisadores de sua época sempre adquiriam carga + ao serem atritados contra a pele.

Neste livro, sempre que representarmos as cargas adquiridas pelo vidro em algum experimento original de Gray, essas cargas serão positivas. Como exemplo, podemos citar a Figura 5.1. Mas é importante ter em mente que, se reproduzirmos algum desses experimentos com um vidro atual, esse vidro poderá ficar eletrizado positiva ou negativamente ao ser atritado contra a pele, dependendo se é do tipo A ou do tipo B.

PARTE III
TRADUÇÕES DOS ARTIGOS DE
GRAY SOBRE ELETRICIDADE

5

ARTIGO 1 – CARTA DE STEPHEN GRAY PARA HANS SLOANE, DE 3 DE JANEIRO DE 1707⁷/₈

5.1 Introdução^{1,2}

Esta carta, datada de janeiro³ de 1707⁷/₈, foi enviada por Stephen Gray para Hans Sloane,⁴ então secretário da Royal Society. Entretanto, ela não foi publicada no periódico *Philosophical Transactions*. Para Chipman (1954, p.33-4), a carta apresenta “experimentos elétricos que parecem ser no mínimo de tão grande interesse e origi-

1 Este texto foi extraído de Chipman (1954).

2 O texto original em inglês não possui figuras; sendo assim, todas as figuras desta tradução foram inseridas pelos tradutores. A maioria delas foi feita pelos tradutores, e algumas foram retiradas de fontes secundárias (neste caso, são indicadas as referências). As figuras estão fora de escala. Em algumas delas, exageramos o tamanho do tubo de vidro ou de outros elementos da ilustração para facilitar a visualização.

3 A Inglaterra utilizou o calendário juliano até 1752; dessa forma, até 1752 o ano-novo inglês começava em 25 de março. Entretanto, “grande parte da Europa já havia adotado o calendário gregoriano”. Por isso, para citar datas até o dia 25 de março utilizava-se uma indicação de ano que contemplava os dois calendários, na qual colocavam-se dois números para expressar o último dígito, como 1707⁷/₈. O primeiro número indicava o ano no calendário juliano e o segundo indicava o ano no calendário gregoriano. Após 25 de março utilizava-se somente o ano comum a ambos os calendários (Silva; Martins, 1996, p.315).

4 Ver informações detalhadas sobre Hans Sloane na nota 19 do Capítulo 1.

nalidade para a época quanto aqueles de Hauksbee⁵ e Wall”. Essa carta está entre os arquivos de Sloane no British Museum e foi publicada por R. A. Chipman em 1954 (Ibid.).

A hipótese de Clark e Murdin (1979) para a não publicação dessa carta de Gray na *Philosophical Transactions* é que Sloane pode ter solicitado uma avaliação prévia de Hauksbee sobre o texto. “Naquela época, Hauksbee havia encantado a Royal Society com suas demonstrações sobre eletricidade”; além disso, ele era curador/demonstrador de experimentos da sociedade. Clark e Murdin (Ibid.) supõem, então, que Hauksbee pode ter sido “capaz de suprimir a publicação da carta de Gray”. Pouco tempo depois, sentiu-se à vontade para publicar muitas das descobertas de Gray como sendo dele, “por exemplo, o pairar de uma penugem sobre um bastão de vidro eletrizado”.⁶ Hauksbee (1708-9a) publicou sobre o “eflúvio luminoso da cera e do enxofre” “apenas poucos meses após a Royal Society ter recebido a carta de Gray anunciando suas descobertas”. Em 1711, Hauksbee (1710-12) publicou uma carta na *Philosophical Transactions* dizendo: “Pode ser lembrado o sucesso que tive em produzir luz por meio de corpos, tal como lacre, resina e enxofre comum [...]”, ignorando completamente o fato de as descobertas não serem dele (Clark; Murdin, 1979, p.394).

5.2 Tradução

Douto senhor,^{7,8}

Agradeço-lhe pela continuação [do envio] de suas [revistas] *Philosophical Transactions* para mim. Aqueles que têm algum prazer no conhecimento da natureza não podem senão estimá-

5 Ver informações detalhadas sobre Francis Hauksbee na nota 12 do Capítulo 1.

6 Ver o 4º Experimento, neste capítulo.

7 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, ele não tem pontuação gramatical. Sendo assim, optamos por pontuá-lo para facilitar a compreensão do leitor.

8 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes.

-las, independentemente do que possa dizer quem tenha preferido colocar as deficiências que eles supõem ter encontrado nelas, nas suas *Transactions*, do que em suas próprias inclinações não filosóficas.

Percebo que o Sr. Hauksbee ainda continua a contribuir [para] o mundo da filosofia [natural] com as invenções engenhosas de experimentos esclarecedores e nobres descobertas, entre as quais considero que não são menos importantes [aquelas que] estão relacionadas à produção de luz e eletricidade⁹ pelo atrito do vidro. A intensidade dos fenômenos junto com a facilidade de operação daqueles experimentos que ele fez com um tubo de vidro encorajaram-me a tentar obter [e explorar] um pouco mais essas maravilhosas propriedades. Com esse objetivo fiz os experimentos a seguir. Alguns deles são no mínimo muito surpreendentes, e outros parecem traçar a extensão e a corrente dos eflúvios¹⁰ luminoso e elétrico do vidro. Presumo que poderia ser aceitável dar algumas explicações sobre eles.

9 Gray utiliza em seus artigos os termos *eletricidade* e *virtude elétrica* como sinônimos. Ambos são abreviações usadas na descrição detalhada da atração e subsequente repulsão de objetos leves, como pequenas lâminas de latão ou penugens, por outros corpos eletrizados. Aparentemente, Gray evita utilizar expressões que possam sugerir que ele interpretava seus experimentos e “resultados em termos de uma ‘matéria’ elétrica fluindo através das linhas de condução” (Home, 1981, p.52).

10 Uma possível definição para eflúvio é encontrada em uma enciclopédia do século XVIII: “Termo utilizado para expressar pequenas partículas que exalam da maioria, se não de todos, dos corpos terrestres, em forma de vapores invisíveis” (Effluvium, 1798). Segundo Whittaker (1910), depois dos trabalhos de Gray, o suposto eflúvio passou a ser chamado de *fluido elétrico*, sendo conhecido “como uma das substâncias das quais o mundo é constituído”. “Os cartesianos definiam um fluido como um corpo cujas pequenas partículas estão em contínua agitação” (Whittaker, 1910, p.38). Essas são definições que a literatura apresenta; não queremos dizer que Gray assumia qualquer uma delas, pois ele não explicita isso em seus textos.

O tubo de vidro utilizado tinha aproximadamente o tamanho daquele utilizado pelo Sr. Hauksbee.¹¹ Mas, em vez de atritá-lo com papel, como ele sugere, descobri que funciona melhor comigo quando [o tubo de vidro é] atritado apenas com minhas mãos nuas.¹²

1º Experimento¹³ – [(a)] Uma penugem solta dos dedos veio para o vidro [atritado] à distância de mais do que 30 polegadas [76 cm].¹⁴ [(b)] Algumas das menores fibras acompanharam o movimento da mão enquanto o vidro era atritado à distância de mais do que 50 polegadas [1,27 m].^{15,16}

11 O tubo de vidro utilizado por Hauksbee tinha aproximadamente 1 polegada (2,5 cm) de diâmetro e 30 polegadas (76 cm) de comprimento (Hauksbee, 1706-7a, p.2327). Esse tubo era oco e feito de *flint-glass*, um tipo especial de vidro com base de chumbo.

12 Guericke, Boyle, Newton e, frequentemente, Hauksbee atritavam os objetos com as mãos nuas (Chipman, 1954, p.37).
Uma discussão sobre Newton e a eletricidade pode ser encontrada em Assis (2010, p.58-62).

13 Apesar de Gray chamá-lo de 1º Experimento, neste item há dois experimentos distintos. Por isso, inserimos (a) e (b) no parágrafo.

14 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 5.1.

15 “Guericke e Boyle utilizaram penugens como detectores de efeitos elétricos, mas Hauksbee não o fez” (Chipman, 1954, p.37). Em um artigo de 1706⁶/, Hauksbee comenta sobre experimentos elétricos feitos com um tubo de vidro eletrizado; ele utilizava pequenos pedaços de latão (*leaf brass*) como detectores de eletricidade (Hauksbee, 1706-7a, p.2327). Newton já havia utilizado detectores desse tipo (Chipman, 1954, p.38). Em publicações posteriores, Gray também reporta a utilização desse tipo de detector.

16 A penugem poderia estar sobre a mesa, presa em algum objeto, ou então sendo segurada por alguém. Quando Gray atritava o tubo de vidro, as cerdas da pena moviam-se conforme o movimento da mão que atritava o tubo. Para Chipman (1954, p.38) a distância de 50 polegadas (1,27 m) mencionada por Gray nesse experimento é bastante significativa, pois é bem maior do que qualquer outra distância mencionada anteriormente, a partir da qual os efeitos elétricos foram observados.

2º Experimento – Depois que a penugem vem para o vidro [atritado], se ela for mantida a aproximadamente 6 ou 8 polegadas [15 ou 20 cm] de distância do lado de uma parede, da borda de uma mesa, do braço de uma cadeira ou de algo semelhante, ela [a penugem] será atraída para ele [o objeto] e dali para o vidro novamente.

E isso [ocorrerá] por dez ou quinze vezes seguidas sem cessar.^{17,18} A penugem [também] voa [isto é, é atraída] para um objeto [que esteja] a maior distância, mas não retorna com tanta frequência [para o vidro atritado].¹⁹

17 Esse experimento pode ser interpretado de duas formas distintas. 1) A penugem grudada no tubo de vidro eletrizado (após ter sido solta no ar próxima ao tubo atritado, deslocar-se e aderir a ele), ao ser aproximada de algum objeto, começa a se movimentar de um lado para o outro, oscilando entre o tubo e o objeto várias vezes seguidas, sem que haja qualquer interferência do experimentador.* 2) A penugem é solta no ar próxima ao tubo de vidro e adere a ele. Em seguida, a pena grudada ao tubo é aproximada a um objeto; então, ela sai do vidro em direção ao objeto e toca nele, retornando ao vidro logo em seguida. Então, o experimentador retira a penugem do tubo e a solta novamente no ar em suas proximidades, mas sem atritá-lo outra vez. Dessa forma, repete-se o ciclo descrito há pouco, isto é, a pena sai do tubo, toca no objeto e retorna ao tubo. Esse procedimento seria realizado várias vezes seguidas pelo experimentador.

* Foi possível verificar esse fenômeno quando realizamos o experimento com um canudo de refresco atritado e pedacinhos de papel de seda sobre uma mesa de madeira. Ao aproximar o canudo eletrizado dos papezinhos, a cerca de 1 cm, alguns deles oscilaram por algumas vezes entre o canudo eletrizado e a mesa, fazendo seguidos movimentos de um lado para o outro.

18 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 5.2.

19 Newton já havia observado “essa contínua sequência de atração e repulsão de pequenos pedaços de latão” (*leaf brass*) em experimentos realizados com uma placa de vidro atritada. Hauksbee havia observado o mesmo fenômeno quando fez experimentos, inicialmente, com um tubo de vidro eletrizado e pequenos pedaços de latão e, depois, com um tubo de vidro e partículas de fuligem (*lampblack*), tal como descreve em Hauksbee (1706-7a, p.2327-8, 2331) e Chipman (1954, p.38).

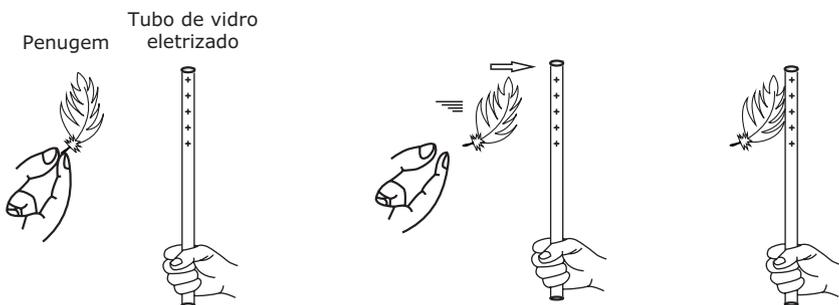


Figura 5.1 – Penugem solta dos dedos é atraída por um tubo de vidro eletrizado.

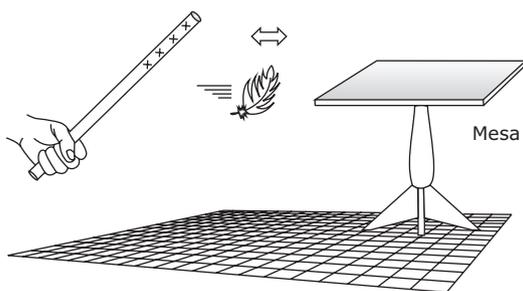


Figura 5.2 – Penugem oscilando entre o tubo eletrizado e a borda de uma mesa.

3º Experimento – Quando a penugem está sobre o vidro, metade de suas fibras estão estendidas em direção a ele e a outra [metade] desvia dele, em dois cones, [sendo que] o mais distante do vidro é muito mais obtuso do que o outro.²⁰ Quando a penugem está nessa posição, se você apertar suas fibras entre seu polegar e seu dedo [indicador], elas se retirarão tão logo sejam soltas e imediatamente aderem ao vidro e, como se elas retivessem algum senso de injúria

20 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 5.3.

sentida, dificilmente vão para seus dedos novamente. Mas isso nem sempre ocorre da mesma forma.²¹

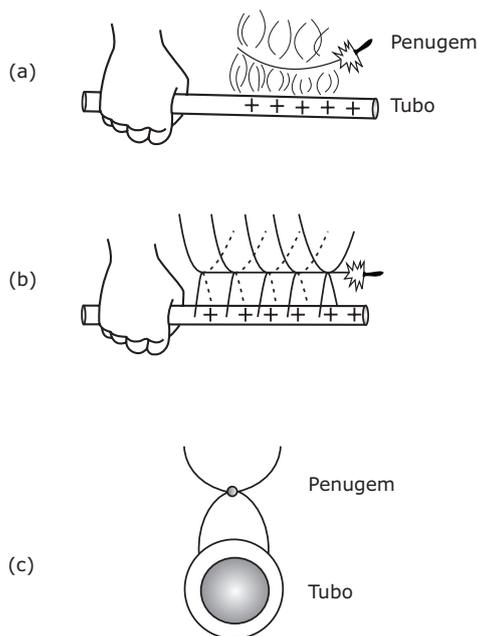


Figura 5.3 – (a) Penugem sobre o tubo eletrizado. (b) Destaca-se o formato das cerdas da penugem em forma de cone sobre o tubo. (c) Visão frontal do conjunto tubo e penugem.

21 Boyle havia feito um experimento semelhante, mas não notou tal posição das fibras e disse que as fibras mais distantes do objeto eletrizado não eram afetadas. Gray não cita Boyle, Gilbert ou Guericke em seus trabalhos, mas é possível que ele tenha conhecido os experimentos deles sobre eletricidade, uma vez que faz várias “referências a outros autores clássicos, principalmente em *Astronomia*” (Chipman, 1954, p.38). Em um de seus experimentos, Boyle excitou um “grande e vigoroso pedaço de âmbar, convenientemente modelado” para o experimento, e aproximou-o de uma pena felpuda. Então, “a parte vizinha da pena foi atraída e rapidamente grudou no âmbar, mas a parte mais distante continuou na posição anterior”. Feito isso, ele aplicou o dedo indicador nas penugens felpudas eretas e, imediatamente, elas deixaram sua posição e aplicaram-se ao dedo como se ele fosse um corpo elétrico (Boyle, 2000, p.520, Experimento VII).

4º Experimento – Quando a penugem chega ao vidro [eletrizado] e daquele ponto é refletida,^{22,23} se você a seguir com o vidro, ela fugirá dele e de modo algum o tocará, até que seja conduzida para perto da próxima parede na sala ou de algum outro objeto sólido, pelo qual ela será atraída, e espontaneamente retornará para o vidro novamente, repetindo suas reflexões como no segundo experimento. Assim, tenho, às vezes, levado a penugem pela sala a distância de 5 ou 6 polegadas [13 ou 15 cm] [acima do tubo de vidro atritado] sem tocá-la. E posso movê-la para cima, para baixo, de maneira inclinada ou horizontalmente, em uma linha [reta] ou em círculo, de acordo com o movimento do vidro. Quando a penugem estava flutuando no ar, se eu atritasse o vidro, ela se afastava dele. Contudo, ela ainda acompanhava o movimento da minha mão com um movimento vibratório que não pode ser explicado pelo [movimento] do ar.²⁴

-
- 22 A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 5.4.
- 23 A ilustração de um experimento semelhante feito por Guericke pode ser visto na Figura 5.5. No lugar do tubo de vidro, Guericke utilizava uma bola de enxofre eletrizada. Vale destacar que para Guericke o experimento com o globo de enxofre não estava relacionado à eletricidade; essa associação ocorreria posteriormente. O objetivo do experimento era mostrar as semelhanças entre a Terra e o globo de enxofre. No Artigo 2, Capítulo XV, Livro IV (Guericke, 1672), fica evidente essa interpretação: “[...] esfregando-o [o globo] com a palma seca duas ou três vezes. Dessa maneira, atrai todo gênero de partículas e foliculos de ouro, de prata, papel, pequenos objetos, bem como toda substância raspada em direção ao seu eixo e as segura. Evidencia-se, assim, o modo como o globo terreno sustém, atraindo todos os animais e outros que existem em sua superfície, ao longo de sua rotação diária de vinte e quatro horas.” (Caluzi et al., 2010, p.45). Uma discussão sobre essa questão também pode ser encontrada em Assis (2010, p.66-73).
- 24 Hauksbee apresentou algo semelhante em 1708⁸⁹ quando realizou um experimento com um tubo de vidro eletrizado e um pequeno pedaço de latão (*leaf brass*): “E indo além para provar a rigidez (*stiffness*) do corpo dos eflúvios, é observável que, quando um pequeno pedaço de latão é perseguido pela sala [por um tubo de vidro eletrizado], ele boia ou flutua sobre a superfície dos eflúvios [...]” (Hauksbee, 1708-9b, p.85).

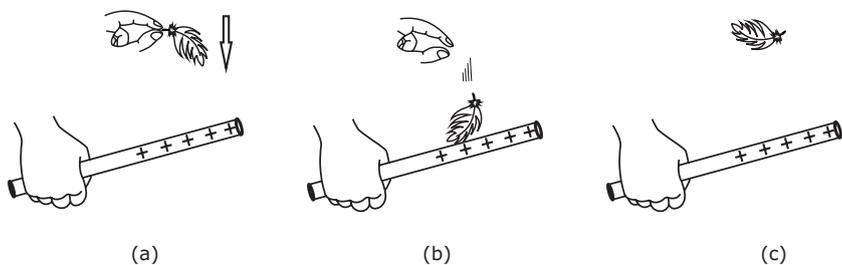


Figura 5.4 – (a) A penugem é abandonada sobre o tubo eletrizado. (b) Ela toca o tubo e se eletriza positivamente. (c) A penugem flutua sobre o tubo de vidro, devido a ambos estarem eletrizados com cargas de mesma natureza.

5ª Experimento – Uma bola de chumbo pesando perto de 4 onças [113,4 gramas] suspensa por [um fio com] $\frac{3}{5}$ de 1 pé [18 cm] de comprimento foi colocada em vibração pela aproximação do tubo sem tocá-la.^{25,26}

25 Apresenta-se a seguir uma hipótese para explicar a vibração (ou oscilação) da bola de chumbo. Uma simples aproximação e afastamento rápido do tubo de vidro eletrizado, sem que haja contato entre a bola de chumbo e o tubo, muitas vezes já é suficiente para produzir o movimento oscilatório do pêndulo. Esse efeito também pode ser ampliado. O tubo de vidro eletrizado é aproximado e afastado dela repetidas vezes, em movimentos sincronizados com os movimentos que vão sendo adquiridos pela bola, de forma que dê a ela um movimento pendular com amplitudes crescentes. Durante as aproximações, não se permite que a bola toque no tubo. Inicialmente, com a bola parada na vertical, aproxima-se o tubo e a bola começa a ser atraída em sua direção. Antes que ocorra o toque, afasta-se o tubo. A bola então começa a cair, passa pela vertical e sobe na direção oposta, voltando à vertical e subindo em direção ao tubo. Durante essa segunda subida, aproxima-se novamente o tubo eletrizado. A bola sobe então mais do que na primeira vez, sendo novamente atraída pelo tubo. Antes que ocorra o toque, afasta-se o tubo. A bola desce, sobe para o lado oposto, volta a passar pela vertical, subindo uma terceira vez em direção ao tubo. Aproxima-se novamente o tubo eletrizado durante essa terceira subida. Ela então sobe mais do que na segunda vez. Antes que haja o toque, afasta-se o tubo. Todo o procedimento pode ser repetido diversas vezes. A amplitude de oscilação do pêndulo vai aumentando a cada subida em direção ao tubo, desde que os movimentos sejam feitos de forma sincronizada.

26 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 5.6.



Figura 5.5 – Experimento em que Guericke mantém uma penugem flutuando acima de uma esfera de enxofre atritada. Figura extraída de Guericke (1672, p.129).

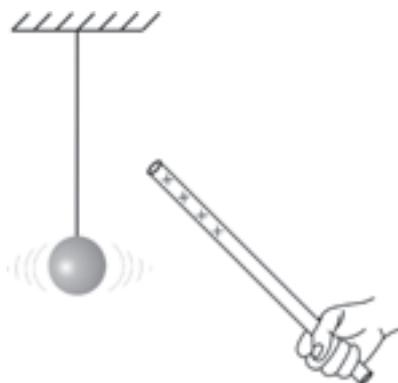


Figura 5.6 – Bola de chumbo em vibração por causa da aproximação do tubo.

6º Experimento – Percebi [que] aquela luz que o Sr. Hauksbee descobriu nos eflúvios do vidro também é inerente àqueles [eflúvios] de outros corpos elétricos, como o enxofre, o lacre, o âmbar etc. Quando o dedo é aproximado deles, produz-se um barulho au-

dível como ele [o vidro] [produz], exceto a resina, que não produz luz, embora [seja] elétrica.²⁷

7º Experimento – Aquela luz que provém de nosso dedo quando colocado próximo ao tubo [de vidro atritado] no escuro provém dele em um fluxo cônico cujo vértice está no dedo. E o barulho que ele faz parece proceder do choque do eflúvio com o vidro no rápido movimento [do eflúvio] a partir do dedo.²⁸

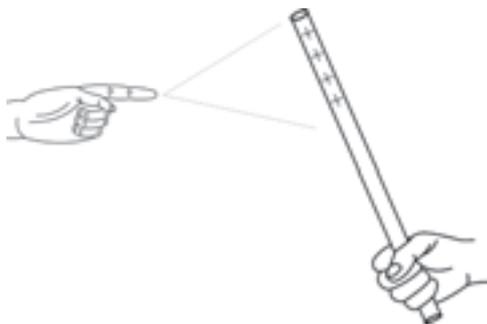


Figura 5.7 – Luz no formato cônico entre o dedo e o tubo eletrizado.

8º Experimento – Uma pequena vareta pontiaguda afiada emitiu luz todas as vezes que o tubo de vidro estava sendo atritado à distância

27 Gray acrescentou novos materiais à lista de substâncias que emitiam luz quando eletrizadas, pois Boyle já havia reportado tal fenômeno para o diamante, Guericke para o enxofre e Hauksbee para o vidro. Entretanto, para Chipman (1954), Gray considerou a associação dos efeitos elétrico e luminoso como sendo o estado normal do fenômeno, o que, no ponto de vista dele, é algo bastante significativo. Ele acrescenta ainda que Gray guardou o conceito de associação entre os dois efeitos por mais de vinte anos, tendo em vista o que ele escreve em uma carta datada de 1729, na qual apresenta o fenômeno da condução da eletricidade: “[...] tendo recordado uma suspeita que tive alguns anos atrás, que [tal] como o tubo [de vidro eletrizado] comunicava luz aos corpos, quando ele era atritado no escuro, se ele não poderia, ao mesmo tempo, comunicar eletricidade a eles [...]” (Gray, 1731-2c, p.19). Além disso, apenas Hauksbee havia reportado anteriormente a presença de estalidos nesse tipo de experimento (Chipman, 1954, p.38-9).

28 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 5.7.

de mais do que 1 pé [30 cm], aumentando ou diminuindo sua luz de acordo com a força [mais] intensa ou [mais] fraca utilizada para atritá-lo. Quanto menor é o objeto que é atraído pelo vidro, tanto maior é a distância pela qual ele será atraído, da mesma forma tais corpos [pequenos] são iluminados a maior distância do que corpos maiores.

9º Experimento – Na extremidade da vareta mencionada no experimento anterior fixei uma penugem bem grande, fazendo uma fenda na extremidade da vareta para recebê-la. Então, [com] o tubo sendo atritado e segurado à distância de aproximadamente 15 polegadas [38 cm], as fibras estenderam-se [tanto] da ponta da vareta como a partir de um centro, formando como se fosse uma estrela.²⁹

Eu esperava que uma luz surgisse das extremidades de seus raios [da estrela], mas não a encontrei, exceto a [luz] que veio da ponta da vareta. Essa ponta também não ficou luminosa a uma distância tão grande quanto no caso em que não havia a penugem.

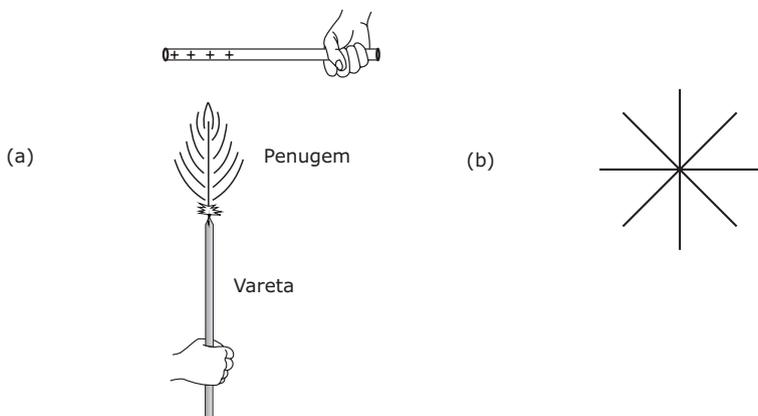


Figura 5.8 – (a) Tubo eletrizado sobre a pena fixada na vareta. (b) Um observador que olhasse a pena de cima, da posição do tubo de vidro, veria as cerdas dispostas de forma a lembrar uma estrela.

²⁹ A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 5.8. Supomos que a penugem seja daquelas felpudas, nas quais finas cerdas estão distribuídas por toda a haste da pena.

10º Experimento – Enquanto as coisas estão colocadas sobre a mesa, elas não são atraídas para perto [do tubo de vidro atritado], quando ele é aproximado a uma distância tão grande como [aquela] quando [estão] soltas ao ar livre.³⁰ Nem são atraídas a tão grande distância quando existem muitas pessoas na sala, como [são] quando [tem] apenas uma ou duas [pessoas]. Suponho que o movimento dos eflúvios é dificultado pelo vapor dos corpos [das pessoas], pois, como observa o Sr. Hauksbee: [a] umidade é uma inimiga para esses experimentos.

10º Experimento – [sic] Uma agulha magnética moveu-se de seu meridiano pelo tubo, ou melhor, por seus eflúvios, à distância de aproximadamente 20 polegadas [51 cm]. Contudo, o pó de aço pendurado em [forma de] fibras nos polos de uma bússola de marinha não os deixaria pela aproximação do vidro, tampouco seguiria o movimento da mão sobre ele [o tubo de vidro no momento em que é atritado], [tal] como faziam as [fibras] das penugens.³¹

30 Uma pergunta interessante que pode ser feita é: “Um papelzinho é atraído com mais força quando está sobre um isolante ou sobre um condutor?”. Essa questão é respondida por Assis (2010) ao fazer um experimento em que um canudo de refresco eletrizado é aproximado de pedacinhos de papel colocados sobre uma folha de papel (material condutor para experimentos de eletrostática) e sobre uma chapa de isopor (material isolante). Conclui-se que a maior força é exercida sobre os pedacinhos de papel colocados sobre uma superfície condutora (Assis, 2010, p.220-3).

31 Boyle havia feito experimentos com agulhas magnéticas. Além disso, também observou que a limalha de ferro era atraída pelo âmbar atritado. Pode ser que o “pó de aço pendurado em [forma de] fibras” a que Gray se refere “tenha alguma forma rígida que não é superada por pequenas forças eletrostáticas” (Chipman, 1954, p.39). Segundo Boyle (2000, p.515), “parece mais provável que a atração elétrica não depende de qualquer simpatia peculiar entre um elétrico [corpo que atrai substâncias leves ao ser atritado] e um corpo sobre o qual ele opera, pois o âmbar, por exemplo, não atrai apenas determinado tipo de corpos, assim como a pedra-ímã [atrai] o ferro e aqueles corpos em que ele é abundante. Mas, até onde já testei, [o âmbar] atrai indiferentemente todos os corpos, quaisquer que sejam eles, [desde que] sendo colocados dentro de uma distância devida do âmbar, (como o meu pedaço preferido de âmbar atrai não apenas areia e pós minerais, mas limalha de aço e de cobre, e o próprio ouro laminado), desde que eles sejam pequenos ou leves o suficiente, exceto talvez o fogo [...]”.

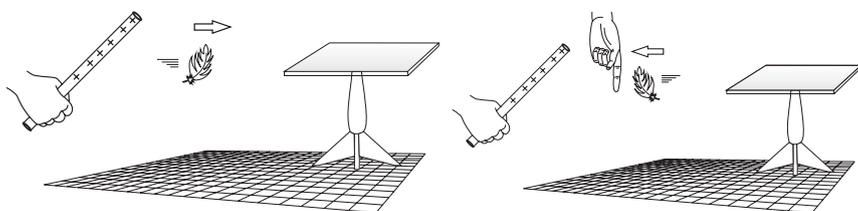
11º Experimento – Quando o tubo é primeiro aquecido, segurando-o ao fogo, um sutil movimento dos dedos sobre ele lhe fornece algum grau de eletricidade. Logo depois, notei que o vidro do meu relógio estava elétrico sem qualquer outro atrito [além] daquele que recebera acidentalmente em meu bolso.³²

12º Experimento – Ou melhor, um acréscimo ao segundo. Quando a penugem deixou o vidro, se a mão ou algum outro objeto sólido fosse colocado entre ela e o vidro, ela [a penugem] voltaria para encontrá-la e fixar-se nela [na mão], desde que a mão estivesse mais próxima dela [da penugem] do que de qualquer outro objeto.³³ Fiz esse experimento para confirmar ou rejeitar minha primeira hipótese a respeito da causa desse fenômeno, a saber, que a eletricidade procedia de uma emissão e reflexão de seus próprios eflúvios por um objeto externo. Mas isso é contradito pelo experimento mencionado agora. Portanto, pensei em uma outra hipótese, a qual no momento me parece um pouco mais provável, [a saber] que assim como todos os corpos emitem, da mesma forma eles recebem parte dos eflúvios de todos os outros corpos que [estão nos] seus arredores, e que a atração ocorre de acordo com a corrente desse eflúvio. Mas então fica difícil conceber como [que], ao atritar o vidro, embora possa causar uma erupção mais copiosa e rápida dos eflúvios, isso possa de igual modo afetar outros corpos distantes. Portanto, estou longe de pensar que o que ofereço aqui seja uma explicação completa dos fenômenos. Deixo isso à consideração dos doutos.³⁴

32 Boyle e Hauksbee “consideravam o aquecimento um pré-requisito absoluto para a obtenção dos efeitos elétricos”; já Gray reconhece a importância do aquecimento para esses experimentos, mas não o vê como uma condição *sine qua non* (Chipman, 1954, p.39).

33 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 5.9.

34 Segundo Chipman (1954, p.39-40), “a rejeição de Gray da teoria da atração elétrica como sendo devida à ‘emissão e reflexão [por um corpo] de seus próprios eflúvios’ é um passo altamente original”, embora “sua razão para rejeitar a sua própria proposta seja um pouco confusa”.



(a) A penugem que estava aderida ao tubo eletrizado é atraída pela mesa e movimenta-se em direção a ela.

(b) Enquanto a penugem movimenta-se em direção à mesa, uma mão é colocada próxima a ela. Dessa forma, a penugem passa a ser atraída pela mão.

Figura 5.9 – Penugem atraída primeiramente pela mesa e em seguida pela mão.

O experimento do Sr. Hauksbee mencionado na sua última *Transaction* [Hauksbee, 1706-7c], no tocante à quantidade de ar produzida pela pólvora, parece-me evidenciar que não existe tão grande quantidade de ar gerada, como se pensava anteriormente; se é que existe qualquer [quantidade de ar produzida nesse experimento]. Além disso, ele [o experimento] me faz suspeitar que o ar produzido artificialmente, suposto ser produzido de outras matérias, ou não existe ou então pode existir apenas uma pequena parte dele, ainda mais se considerarmos que tem sido observado que animais morrem tão logo [estejam] nesse [ar] assim como no vácuo.

O modo [que o] Sr. Hauksbee utilizou para elevar a água no tubo mencionado no experimento³⁵ me deu a ideia de comunicar a você uma pequena invenção minha, que fiz há mais de um ano e que foi agora aperfeiçoada. De um pequeno copo de vidro retirei uma quantidade de vidro da sua base, de maneira a deixar nela um pequeno furo. Nesse [furo] cimenteí um pequeno tubo. Na sua extremidade superior coloquei uma válvula como aquelas [utilizadas] nas bombas de ar do tipo de Hauksbee. Descobri que ele pode ser utilizado para as aplicações de um vidro de sucção [ventosa] ao colocar nossa boca na extremidade do tubo com sua válvula e ao pu-

35 Provavelmente Gray está se referindo aos experimentos descritos em dois artigos de Hauksbee (1706-7b, 1706-7d).

xar o ar. Quanto maior for o vidro, mais sucções ele vai necessitar. Isso pode ser repetido frequentemente com o ar externo, tampando a válvula enquanto a pessoa inspira. Aqueles que considerarem apropriado executar essa forma de sucção vão conceber facilmente como e de que forma pode ser feito um vidro inteiro sem um tubo. Utilizei [um tubo] apenas devido a estar afastado de uma vidraria.

O grande candor e condescendência com as quais você e sua ilustre Royal Society quiseram mostrar-me ao receber minhas comunicações anteriores, encoraja-me a pensar que esta não será menos estimada. Quem sou, senhor, seu humilde servidor, Stephen Gray.

Dos meus aposentos no Trinity College, em Cambridge, 3 de janeiro de 1708.

6

ARTIGO 2 – UMA DESCRIÇÃO DE ALGUNS EXPERIMENTOS ELÉTRICOS NOVOS

Observei^{1,2,3} frequentemente, nos experimentos elétricos feitos com um tubo de vidro [atritado] e uma penugem presa à extremidade de uma vareta, que após as fibras [da pena] serem atraídas em direção ao tubo, quando ele era retirado [dali], a maioria [das fibras] era atraída pela vareta, como se ela [isto é, a vareta] fosse um corpo elétrico, ou como se alguma eletricidade tivesse sido [p.105] comunicada à vareta ou à penugem. Isso colocou-me a pensar que, se uma penugem fosse *puxada entre os meus dedos*,⁴ ela não poderia produzir o mesmo efeito, por adquirir algum grau de eletricidade. Isso ocorreu com êxito conforme meu primeiro teste, [com] as pequenas fibras felpudas da penugem próximas à sua haste [*quill*]

1 Tradução de Gray (1720-1, p.104-7).

2 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

3 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p.] indicam a página original do texto em inglês.

4 É importante o leitor atentar para essa forma de promover o atrito. Gray mencionará, ao longo deste texto, vários objetos atritados dessa maneira, mas sem mencionar novamente esse procedimento.

sendo atraídas pelo meu dedo quando colocado próximo a ela.⁵ Às vezes, a parte superior da pena, com sua haste [*stem*], era atraída também, mas nem sempre com o mesmo sucesso. Então, prossegui para verificar se cabelo não poderia ter a mesma propriedade; pegando um [fio] da minha peruca e puxando-o três ou quatro vezes entre os meus dedos, ou melhor, [puxando-o] entre meu polegar e meu indicador, logo notei [que] ele vinha para o meu dedo à distância de 0,5 polegada [1,3 cm]. Logo depois, descobri que o pelo fino de uma orelha de cachorro era fortemente elétrico. Pegando a orelha [de um cachorro] e puxando-a entre os meus dedos, grande número de [pelos] foi atraído para os meus dedos imediatamente. Nesse momento, estava no interior [da Inglaterra] e não fiz nenhum teste adicional até meu retorno para Londres (ocorrido em meados de novembro passado), e tendo repetido os [experimentos] que

5 Ao longo desta tradução, Gray classificará como *elétricos* (ou seja, materiais denominados como *isolantes elétricos* nos dias atuais) alguns materiais que consideramos *condutores elétricos*, como pena, linho, couro, papel e madeira. Gray apresenta uma lista desses materiais do final deste texto; já a nossa classificação pode ser encontrada no Experimento 16.1 deste livro. Tendo em vista essa diferença no comportamento elétrico dos materiais, levantamos algumas hipóteses explicativas a seguir.

Por exemplo, nossos experimentos mostram que tanto o cabo quanto as cerdas de uma pena são materiais condutores elétricos (ver 4.3.2, Experimento 2 neste livro). Logo, se supormos que a pena que Gray utilizava era condutora, ele teria que segurá-la por meio de algum material isolante na mão para obter o resultado descrito. Esse procedimento foi feito por nós quando da realização do Experimento 16.2 deste livro. Uma segunda hipótese explicativa seria a de que a pena que Gray utilizava tinha o cabo isolante, diferentemente daquelas que testamos em nosso experimento. Entretanto, há outros materiais que consideramos condutores e que Gray classifica com elétricos (ou seja, materiais denominados isolantes elétricos nos dias atuais). Sendo assim, a hipótese de que tais materiais eram segurados por meio de um material isolante parece ser mais plausível.

De outro lado, Gray menciona neste texto que, em alguns momentos, os materiais eram aquecidos antes de serem testados. O aquecimento auxilia bastante na alteração do comportamento elétrico dos materiais, fazendo com que um condutor elétrico passe a se comportar como isolante. Dessa forma, ao aquecer os materiais, Gray poderia estar mudando seu comportamento elétrico e obtendo resultados diferentes daqueles que obtivemos com os materiais à temperatura ambiente no Experimento 16.1 deste livro.

mencionei anteriormente, as próximas coisas que pensei em [testar] foram linhas de seda de várias cores e de várias espessuras [*finenesses*], as quais descobri serem todas elétricas, mas algumas vezes não fui bem-sucedido [nos experimentos]. Encontrei posteriormente a razão para isso, tal como aparecerá na sequência deste discurso.

Tendo sucedido tão bem nesses [experimentos já relatados], prossegui para [experimentos com] quantidades maiores dos mesmos materiais, como pedaços de fitas [*ribband*] de seda, grosseira ou fina, de várias cores. Com isso, descobri que pegando um pedaço de qualquer uma dessas [fitas de seda] de aproximadamente meia jarda [46 cm] de comprimento, e segurando [uma das suas] extremidades em uma mão e puxando-a através da minha outra mão, entre meu polegar e [meus] dedos, ela adquiria uma eletricidade. De [tal] modo que, se a mão fosse colocada próxima da [p.106] extremidade inferior [da fita de seda], ela seria atraída pela mão à distância de 5 ou 6 polegadas [13 ou 15 cm], mas algumas vezes a eletricidade era muito mais fraca do que em outras [oportunidades]. Presumo que a razão disso é que a tira [de seda] poderia ter absorvido algumas partículas aquosas do ar úmido, o que descobri ser [verdade] ao testar a ocorrência disso, [pois] quando tinha aquecido bem a fita [de seda] junto ao fogo, ela nunca falhou [em tornar-se] fortemente elétrica.

Depois disso, fiz o teste de vários outros corpos, [*tal*] como linho de vários tipos, a saber, holandã [*holland*], musselina [*musling*] etc. e lã, [bem] como de vários tipos de tecidos e outras coisas [*stuff*] dos mesmos materiais. A partir desses [materiais] passei para o papel, tanto branco quanto pardo, descobrindo [que] eles, depois de terem sido bem aquecidos antes do atrito, emitem copiosamente seus eflúvios elétricos. O próximo corpo em que encontrei a mesma propriedade foi [um] fino pedaço de madeira, [sendo que] testei apenas pedaços de abeto,⁶ os quais são fortemente elétricos. As três últimas substâncias que encontrei possuírem a mesma propriedade são: couro, pergaminho e aquelas finas tripas nas quais é batida a folha de ouro.

Todos esses corpos não serão apenas atraídos para a mão pela eletricidade deles, ou [por] qualquer outro corpo sólido que estiver

6 Tipo de madeira.

próximo a eles; mas atrairão para si todos os corpos pequenos, [tal] como outros corpos elétricos fazem, e isso, algumas vezes, à distância de 8 ou 10 polegadas [20 ou 25 cm]. Aquecendo-os junto ao fogo antes de atritar aumenta [em] muito a sua força [atrativa].

Existe outra propriedade em alguns desses corpos, a qual é comum ao vidro, [a saber] que, quando eles são atritados no escuro, há uma luz [que] segue os dedos pelos quais eles são puxados. Isso [ocorre] segurando tanto seda quanto linho, mas é mais forte em pedaços de papéis brancos prensados, que são similares a papel cartão. Isso não apenas produz uma luz, como [mencionado] acima, mas quando os dedos são colocados próximos a ele [isto é, próximos ao papel ou a algum desses corpos], procede uma luz a partir deles [a saber, a partir dos dedos] com um estalido [p.107] como aquele produzido por um tubo de vidro, embora não a tão grande distância dos dedos. Para apresentar isso, o papel deve ser aquecido antes de ser atritado, [ficando] tão quente quanto os dedos possam tolerar.

Uma penugem foi presa à extremidade de uma fina linha de seda natural,⁷ e a outra extremidade [da linha foi presa] a uma vareta, a qual foi fixada a uma base, [de tal forma] que [a vareta] pudesse ficar de pé [em posição vertical] sobre a mesa. Peguei um pedaço de papel pardo, o qual foi tornado fortemente elétrico pelo método mencionado acima,⁸ [e] segurando-o próximo da penugem, ela veio [em direção] ao papel. [Com isso,] a conduzi [por meio do movimento do papel] até que ficasse quase perpendicular à vareta. Então, levantei minha mão até que o papel fosse levado para [cima] além da penugem,⁹ a linha estava estendida e ficou em pé no ar, como se fosse um pedaço de arame [ou fio rígido], embora a penugem estivesse distante do papel cerca de 1 polegada [2,5 cm].¹⁰ se o dedo [da mão que não segura o papel] fosse colocado próximo da

7 A linha de seda é um material isolante para experimentos de eletrostática.

8 Isto é, o papel foi inicialmente aquecido junto ao fogo e, em seguida, foi atritado sendo puxado entre os dedos.

9 Isto é, tal que o papel ficasse mais alto que a penugem.

10 Uma ilustração deste experimento pode ser vista na Figura 6.1. Segundo Assis (2010, p.82), essa é a descrição mais antiga que se conhece do pêndulo elétrico.

penugem nessa posição, a maior parte das [suas] fibras próximas ao papel seria *repelida* [pelo dedo], [mas] se ao mesmo tempo um dedo fosse colocado [próximo] às fibras que estavam mais distantes do papel, elas seriam atraídas por ele.¹¹

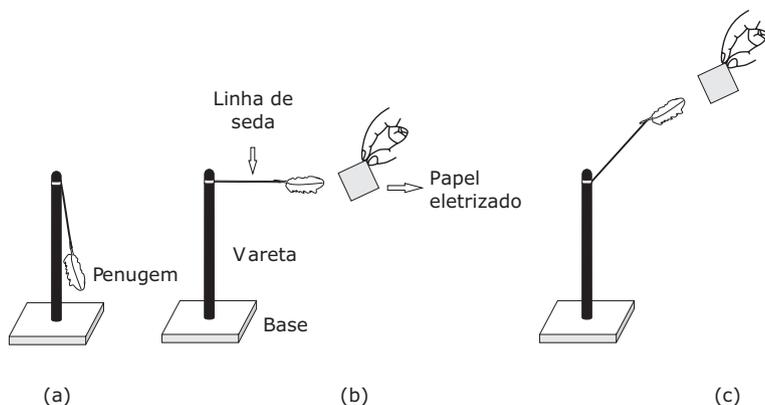


Figura 6.1 – (a) Base, vareta e penugem pendurada por uma linha de seda. (b) Papel eletrizado (atrito) atraindo a penugem. A penugem e a linha ficam perpendiculares à vareta. (c) O papel eletrizado está além da penugem (isto é, mais alto do que ela) e a linha estendida como um pedaço de arame. Figura adaptada de Assis (2010, p.83; Figura 4.21).

Experimentos com o pêndulo elétrico (ou eletrostático) feitos com material de baixo custo podem ser encontrados em Assis (2010, p.75) e Gaspar (2005, p.225).

- 11 Apresentamos a seguir uma possível explicação para o comportamento das fibras da penugem. Na medida em que o papel eletrizado é aproximado da pena, há nela uma redistribuição de cargas. Dessa forma, a região da pena mais próxima ao papel teria maior concentração de cargas opostas às dele, e a região mais distante teria uma concentração maior de cargas de mesma natureza que as cargas do papel. Quando o dedo é colocado próximo ao papel eletrizado, ele também fica eletrizado com cargas de sinal oposto ao do papel. Portanto, há repulsão entre as cargas do dedo e as cargas das fibras que estão mais próximas do papel eletrizado. Quando o dedo é colocado mais distante do papel eletrizado, ele tende a ficar neutro. Mas, ao aproximá-lo das fibras mais afastadas do papel, que estão eletrizadas com cargas de mesmo sinal que as cargas do papel, essas fibras eletrizadas induzem cargas opostas no dedo, ocasionando uma atração entre essas fibras e o dedo.

Então, repeti esse experimento sem a penugem, a saber, apenas com uma linha de seda com cerca de 5 ou 6 polegadas [13 ou 15 cm] de comprimento, a qual foi deixada estendida de pé como mencionado acima, sem tocar o papel [atritado]. Então, colocando meu dedo próximo à extremidade [da linha], ela [o] evitava, ou era repelida por ele, mas quando coloquei meu dedo aproximadamente à mesma distância de uma parte da linha que estava a cerca de 2 polegadas [5 cm] da extremidade, ela foi, então, atraída por ele.¹²

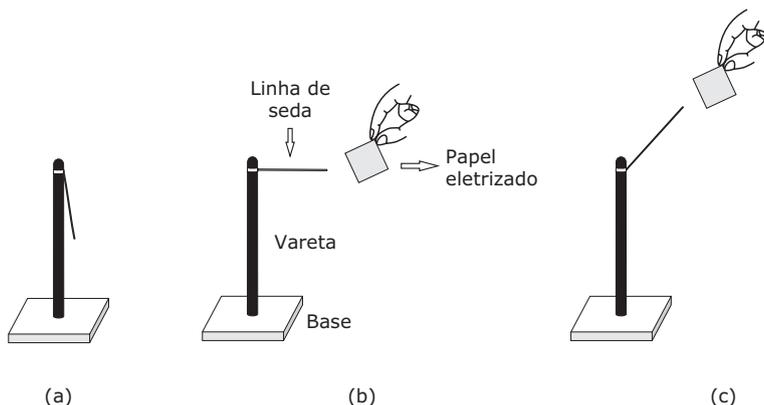


Figura 6.2 – (a) Base, vareta e linha de seda pendurada. (b) Papel eletrizado (atritado) atraindo a linha de seda, a qual está quase perpendicular à vareta. (c) O papel eletrizado está além da linha de seda (isto é, mais alto do que ela). Figura adaptada de Assis (2010, p.201, Figura 7.27).

12 Uma ilustração deste experimento pode ser vista na Figura 6.2. Uma hipótese explicativa para o fato de a linha de seda ser atraída pelo objeto eletrizado, apesar de ela ser um material isolante elétrico para experimentos de eletrostática, é que pode ter ocorrido a polarização elétrica na linha. Dessa forma, a extremidade da linha mais próxima ao objeto eletrizado teve um acúmulo de cargas elétricas de natureza oposta às cargas do objeto. O Experimento 16.3 deste livro corrobora nossa hipótese, pois evidencia que uma linha de seda presa a um palito de madeira é atraída por um tubo de PVC atritado colocado próximo a ela. As figuras 16.3, 16.4 e 16.5 ilustram o fenômeno.

Uma enumeração dos vários corpos mencionados nesta [carta] que encontrei serem elétricos: (1) penas, (2) cabelo/pelo [*hair*], (3) seda, (4) linho, (5) lã, (6) papel, (7) couro, (8) madeira, (9) pergaminho, (10) tripas de boi, nas quais é batida a folha de ouro.

7

ARTIGO 3 – UMA CARTA PARA CROMWELL MORTIMER, M. D. SECR. R. S. CONTENDO VÁRIOS EXPERIMENTOS A RESPEITO DA ELETRICIDADE

Senhor,^{1,2,3,4}

No ano de 1729, comuniquei ao Dr. Desaguliers e a alguns outros senhores uma descoberta que tinha feito recentemente, mostrando que a virtude elétrica de um tubo de vidro pode ser transmitida para quaisquer outros corpos, de modo a dar-lhes a mesma propriedade de atrair [p.19] e repelir corpos leves, tal como faz o tubo quando excitado por atrito; [e] que essa virtude atrativa podia ser levada para corpos que estavam muitos pés distantes

1 Tradução de Gray (1731-2c, p.18-44).

2 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

3 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p.] indicam a página original do texto em inglês.

4 O texto original em inglês não possui figuras, sendo assim, todas as figuras desta tradução foram inseridas pelos tradutores. A maioria delas foi feita pelos tradutores, e algumas foram retiradas de fontes secundárias. Neste último caso são indicadas as referências de onde foram obtidas. As figuras estão fora de escala. Em algumas delas exageramos o tamanho do tubo de vidro ou de outros elementos da ilustração para facilitar a visualização.

do tubo. Em primeiro de maio, o Dr. Desaguliers fez um relato dos experimentos que ele tinha visto para a Royal Society. Então, prometi comunicar uma descrição mais detalhada desses experimentos para a [Royal] Society. Mas, como eu estava para ir para o interior do país [Inglaterra] no dia seguinte, onde sabia que deveria ter a oportunidade de continuar os experimentos [e ir] muito além do que já tinha feito, por falta de espaço no meu quarto,⁵ o qual não era grande o suficiente para realizar vários outros experimentos que tinha em vista, estava disposto, como tinha começado a descoberta, a prosseguir com ela tanto quanto pudesse, antes de comunicá-la para a Royal Society, o que agora humildemente ofereço para suas considerações.

Em fevereiro de 1728⁹, repeti alguns dos experimentos que tinha feito anteriormente, na primeira descoberta de uma atração elétrica em muitos corpos que até então não eram conhecidos por terem aquela propriedade, os quais comuniquei para a Royal Society. Uma descrição desses experimentos é dada na *Philosophical Transactions* n. 366.⁶ Fiz várias tentativas nos metais, para ver se eles não podiam se tornar atrativos pelo mesmo método que outros corpos foram, a saber, por aquecimento, por atrito e por marteladas, mas sem qualquer sucesso. Então, resolvi adquirir um grande tubo de vidro [*flint-glass*]⁷ para ver se poderia fazer alguma descoberta adicional com ele, tendo recordado de uma suspeita que tive alguns anos atrás, que [tal] como o tubo comunicava uma luz aos corpos, quando era atritado no escuro, se ele não poderia

5 Gray, provavelmente, refere-se ao seu quarto na Charterhouse, em Londres.

6 Ao final deste artigo de 1720, Gray enumera alguns corpos que ele descobriu serem elétricos: (1) penas, (2) cabelo/pelo (*hair*), (3) seda, (4) linho, (5) lã, (6) papel, (7) couro, (8) madeira, (9) pergaminho, (10) tripas de boi, nas quais é batida folha de ouro (Gray, 1720-1, p.107). Ver Capítulo 6 deste livro.

7 Esse era um tipo especial de vidro à base de chumbo. Para as grandes diferenças de potencial elétrico envolvidas em experimentos de eletrostática usuais, esse tipo de vidro comporta-se como isolante elétrico. Esse comportamento é diferente do comportamento dos vidros comuns que encontramos atualmente em nosso dia a dia, os quais são à base de soda e comportam-se como condutores elétricos em experimentos de eletrostática.

ao mesmo tempo comunicar uma eletricidade para eles. Embora [p.20] até agora nunca [tivesse] tentado o experimento, não imaginava [que] o tubo [de vidro] pudesse ter uma influência tão grande e maravilhosa, [para] fazê-los atrair [corpos leves] com tanta força, ou que a atração seria levada para distâncias tão extraordinárias, [tal] como será encontrado na sequência deste discurso.

Antes de prosseguir para os experimentos, pode ser necessário dar uma descrição do tubo [de vidro]: seu comprimento é de 3 pés e 5 polegadas [1 m], e [seu] diâmetro [tem] aproximadamente 1 polegada e 0,2 [3 cm]. Apresento as dimensões médias, [pois] o tubo é mais largo em cada extremidade do que no meio, [e] o furo [tem] aproximadamente 1 polegada [2,5 cm]. Em cada extremidade encaixei uma rolha de cortiça, para manter a poeira [do lado de] fora quando o tubo não estava em uso.

O primeiro experimento que fiz foi para verificar se poderia encontrar alguma diferença na sua atração [em duas situações, a saber], quando o tubo [atritado] estava tampado em ambas as extremidades pelas rolhas de cortiça, ou quando deixado aberto, mas não pude perceber [qualquer] diferença sensível. No entanto, ao manter [*upon holding*] uma penugem defronte à extremidade superior do tubo,⁸ descobri que ela ia para a rolha de cortiça, sendo atraída e repelida por ela, assim como [era atraída e repelida] pelo tubo quando ele tinha sido excitado por atrito. Então, mantive [*held*] a penugem defronte à extremidade plana da rolha de cortiça, a qual atraiu e repeliu muitas vezes seguidas.⁹ Fiquei muito surpreso com

8 Quando Gray diz: “[...] defronte à extremidade superior do tubo [...]”, temos duas interpretações possíveis. 1) Com o tubo disposto na horizontal, uma dada extremidade teria uma parte inferior e uma parte superior. Pode ser que Gray tenha aproximado a penugem da parte superior, chamada por ele de extremidade superior do tubo. Dessa forma, a penugem seria atraída pela cortiça. 2) Com o tubo disposto na vertical, ele teria uma extremidade superior e uma extremidade inferior. Pode ser que Gray tenha aproximado a penugem da extremidade superior do tubo. Dessa forma, a penugem seria atraída pela cortiça.

9 O verbo *hold* pode ser traduzido como “segurar, pegar ou agarrar”, mas foi traduzido aqui como “manter” para permitir a discussão de três interpretações citadas por Assis (2010, p.242-4) para o experimento, como veremos a seguir.

isso e *concluí que certamente houve uma virtude atrativa comunicada à rolha de cortiça pelo tubo excitado*.^{10,11}

- 10 Nesse parágrafo, Gray descreve como chegou à conclusão sobre a *condução da eletricidade*. Ele observou que a propriedade atrativa que o vidro adquiria após o atrito era transmitida para a rolha de cortiça que estava em contato com ele, ou seja, percebeu que a cortiça passou a atrair a pena sem que fosse atritada. O vidro de Gray comportava-se como um isolante elétrico, enquanto a rolha comporta-se como um condutor nos experimentos de eletrostática usuais. O texto de Gray não detalha o experimento e não apresenta qualquer figura; sendo assim, não fica claro para o leitor como o experimento foi realizado. Segundo Assis (2010), há três possibilidades:
- a) Gray segura o cabo da penugem com a mão, sendo que esse cabo se comportaria como isolante e as cerdas da pena se comportariam como um condutor elétrico. Ao aproximar a penugem da cortiça, a pena oscilaria entre a mão que a segura e a cortiça, sendo que as cerdas se carregariam eletricamente ao tocarem na cortiça e descarregariam ao tocarem na mão (Assis, 2010, p.242-4). No entanto, nossos experimentos mostram que tanto o cabo quanto as cerdas da pena são condutores elétricos (ver Experimento 2 na Subseção 4.3.2. Logo, para manter essa interpretação, Gray teria que segurar a pena com algum material isolante na mão, ou então a pena que ele utilizava tinha o cabo isolante, diferentemente daquelas que testamos (ver Figura 7.1).
 - b) A segunda interpretação seria algo semelhante ao pêndulo elétrico que Gray já havia utilizado em 1720, com uma penugem amarrada na ponta de um fio de seda (ver p.122 deste livro) (Gray, 1720-1, p.107). A pena estaria presa a uma linha isolante (por exemplo, um fio de seda), formando um pêndulo elétrico. Dessa forma, a pena seria aproximada da cortiça e oscilaria entre ela e outro corpo condutor próximo (por exemplo, uma mão, uma parede etc.). A pena seria atraída pela rolha eletrizada, ficaria eletrizada ao tocá-la, passando então a ser repelida pela rolha. Então, ela seria atraída por um objeto condutor e descarregaria ao tocá-lo, voltando a ser atraída pela rolha. Isso se repetiria consecutivamente (ver Figura 7.2) (Assis, 2010, p.243).
 - c) A terceira interpretação seria algo semelhante ao experimento realizado por Gray em 1708 (ver Capítulo 5, 2º Experimento) (Chipman, 1954). A pena solta no ar seria atraída pela cortiça e ficaria eletrizada após o contato, passando então a ser repelida pela rolha. Se a penugem se aproximasse de algum objeto condutor (por exemplo, uma mão, uma parede etc.), ela seria atraída por esse corpo e perderia sua carga ao tocá-lo, sendo novamente atraída pela rolha eletrizada. Esse processo poderia continuar por várias vezes, e a pena oscilaria entre a cortiça e outro corpo condutor próximo a ela (ver Figura 7.3) (Assis, 2010, p.242-4).
- 11 Gray não expressa em seus textos o que ele entendia por *eletricidade*, também chamada por ele de *virtude elétrica*, *virtude atrativa* e *eflúvio elétrico*, como será possível verificar no decorrer deste texto. Parece-nos que sua preocupação era



Figura 7.1 – Tubo de vidro arrolhado nas duas extremidades e eletrizado positivamente pelo atrito do vidro contra a mão de Gray. A rolha de cortiça que tampa o vidro não foi atritada, mas comporta-se como um condutor elétrico e ficaria polarizada devido às cargas na superfície do vidro. A ilustração também mostra uma penugem sendo atraída e repelida pela cortiça ao ser mantida defronte à extremidade superior do tubo. Figura adaptada de Assis (2010, p.243).

Tendo comigo uma bola de marfim de aproximadamente 1 polegada e 0,3 [3,3 cm] de diâmetro, com um furo através dela, fixei-a em uma vareta de abeto de aproximadamente 4 polegadas [10 cm] de comprimento, inserindo a outra extremidade [da vareta] na rolha de cortiça.¹² Atritando o tubo, descobri que a bola atraiu e repeliu a penugem com mais vigor do que a rolha de cortiça tinha feito, [p.21] repetindo suas atrações e repulsões por muitas vezes seguidas. Então, fixei a bola em varetas mais compridas, primeiro em uma de 8 polegadas [20,3 cm], depois em uma de 24 polegadas [61 cm] de comprimento, e encontrei o mesmo efeito.

fazer experimentos e verificar o comportamento elétrico dos corpos, e não a de propor explicações para os fenômenos encontrados e descritos por ele. Nos textos de Gray, encontramos apenas uma tentativa de explicação dos fenômenos de atração e repulsão dos corpos leves, a qual refere-se à emissão e reflexão de eflúvios pelos corpos, mas ele próprio questiona a ideia e diz que deixará a explicação “à consideração dos doutos” (ver Capítulo 5, 12^o Experimento) (Chipman, 1954, p.36). Da mesma forma, não há uma explicação do que seria a condução da eletricidade para Gray. Como já mencionado, existe a hipótese de que Gray evite utilizar expressões que possam sugerir que ele interpretava seus experimentos e “resultados em termos de uma ‘matéria’ elétrica fluindo através das linhas de condução” (Home, 1981, p.52).

12 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 7.4.

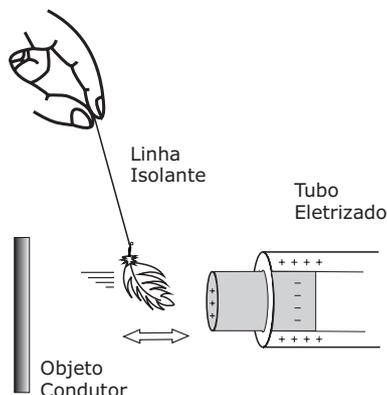


Figura 7.2 – Tubo de vidro arrolhado nas duas extremidades e eletrizado positivamente pelo atrito do vidro contra a mão de Gray. A rolha de cortiça que tampa o vidro não foi atritada, mas comporta-se como um condutor elétrico e ficaria polarizada por causa das cargas na superfície do vidro. A ilustração também mostra uma penugem sendo atraída e repelida pela cortiça ao ser mantida defronte à extremidade do tubo por meio de uma linha isolante, como, por exemplo, um fio de seda. Figura adaptada de Assis (2010, p.243).

Então, utilizei primeiro [um arame ou fio de] ferro e [depois um arame ou] fio de latão para prender a bola, inserindo a outra extremidade do fio na rolha de cortiça, como anteriormente.¹³ [Dessa forma,] descobri que a atração era a mesma, como quando a vareta de abeto foi utilizada, e que, quando a penugem era mantida defronte a qualquer parte do fio, ela era atraída por ele. Mas, embora ele¹⁴ estivesse mais próximo do tubo, sua atração não era tão forte quanto a da bola.¹⁵ Quando o fio de 2 ou 3 pés de comprimento [60 ou 90 cm] foi utilizado, suas vibrações, causadas pelo atrito do tubo, o tornaram um pouco difícil de ser manipulado. Isso me colocou a

13 Ver Figura 7.5a.

14 Isto é, o fio.

15 Isso ocorre porque a “carga negativa induzida na rolha neutraliza a carga positiva no vidro” (Heilbron, 1979, p.246).

pensar: se a bola fosse pendurada por um barbante¹⁶ e suspensa por um laço no tubo, se a eletricidade não seria levada para baixo [na] linha [e assim] para a bola.¹⁷

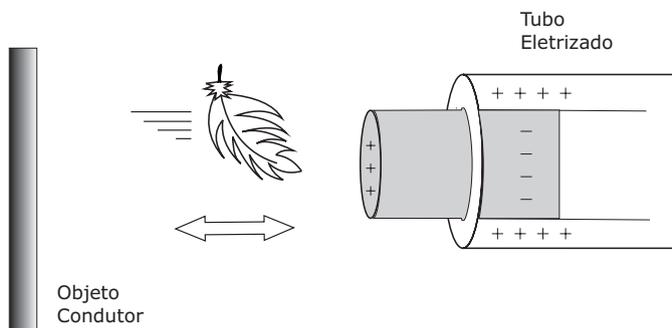


Figura 7.3 – Tubo de vidro arrolhado nas duas extremidades e eletrizado positivamente pelo atrito do vidro contra a mão de Gray. A rolha de cortiça que tampa o vidro não foi atritada, mas comporta-se como um condutor elétrico e ficaria polarizada por causa das cargas na superfície do vidro. A ilustração também mostra uma penugem sendo atraída e repelida pela cortiça ao ser mantida defronte à extremidade do tubo sem nada que a segure. Figura adaptada de Assis (2010, p.244).

[Tive] êxito nisso procedendo da seguinte maneira: suspendendo a bola no tubo por um barbante de aproximadamente 3 pés [90 cm] de comprimento, quando o tubo tinha sido excitado por atrito, a bola de marfim atraiu e repeliu as lâminas de latão [*leaf-brass*], sobre as quais ela [a bola] estava pendurada, tão livremente quanto

16 *Packthread*, no original. Pode significar uma corda usada para enfardar ou para costurar sacos, ou um barbante de cânhamo (Assis, 2010, p.246; Canby, 1966, p.18). Ou ainda, “corda robusta utilizada para embalar pacotes” (Heilbron, 1979, p.246). Nesse texto, barbante refere-se a esse material.

17 Ver a Figura 7.5b.

ela tinha feito quando estava suspensa em varetas ou fios. Como também fez uma bola de cortiça e outra de chumbo que pesava 1 libra e $\frac{1}{4}$ [567 g].^{18,19}

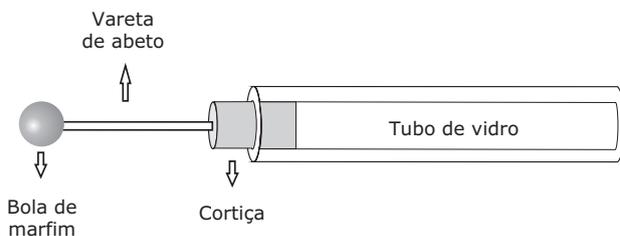


Figura 7.4 – Tubo de vidro arrolhado, vareta de abeto e bola de marfim.
Figura adaptada de Assis (2010, p.246).

- 18 Com isso, Gray conseguiu que metais atraíssem corpos leves, ou seja, conseguiu eletrizar metais, que era algo perseguido pelos menos desde os tempos de William Gilbert (Home, 1981, p.44). Do ponto de vista da Física atual, esse experimento mostra que um bom condutor elétrico pode ser polarizado por indução, desde que esteja isolado e nas proximidades de outro corpo carregado eletricamente.
- 19 Nesses experimentos de Gray, o tubo de vidro (*flint-glass*) comportou-se como um isolante que foi eletrizado positivamente pelo atrito contra a mão de Gray. Já a rolha de cortiça, a vareta de abeto, o barbante, o arame metálico, a bola de marfim, a bola de cortiça e a bola de chumbo comportaram-se como condutores. Esses corpos se polarizaram eletricamente, por estarem nas proximidades do tubo de vidro eletrizado. A parte desses condutores que estava em contato com o tubo de vidro eletrizado ficou eletrizada com uma carga de sinal oposto à carga do vidro, enquanto a parte desses condutores que estava mais afastada do vidro eletrizado ficou com uma carga de sinal igual à carga do vidro (ver Figura 7.6). Isso ocasionou, então, uma acumulação de cargas positivas em uma extremidade e negativas na outra extremidade. Dessa forma, a extremidade da linha de condução que estava distante do tubo apresentou os mesmos efeitos elétricos que o tubo eletrizado (Boss; Caluzi, 2007, p.639; Boss, 2009, p.133-6; Assis, 2010, p.203). Gaspar (2005, p.234) e Assis (Seção 6.3, 2010) apresentam experimentos similares com material acessível e de baixo custo, discutindo a questão da condução elétrica nesse tipo de material.

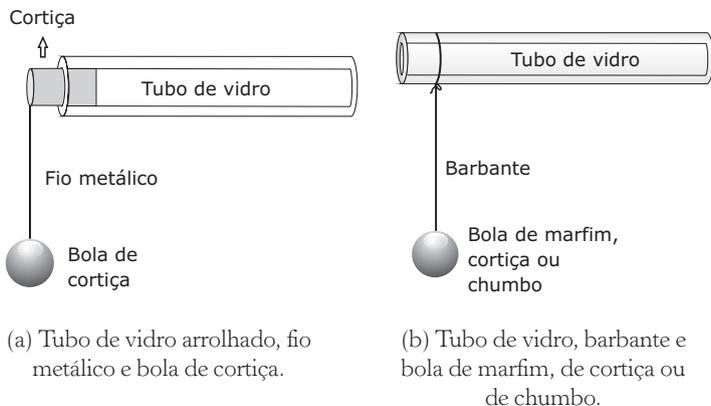


Figura 7.5 – Bolas de cortiça e de chumbo conectadas ao tubo de vidro por meio de fio e barbante. Figura adaptada de Assis (2010, p.247).

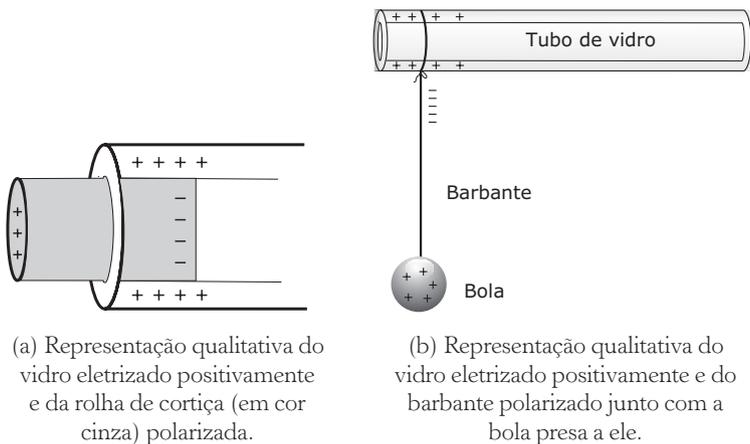


Figura 7.6 – Polarização de materiais condutores (rolha, barbante e bola) na presença de um tubo de vidro isolante eletrizado positivamente. Figura adaptada de Assis (2010, p.247).

Depois que descobri que os vários corpos mencionados anteriormente tiveram uma eletricidade comunicada para eles, continuei a verificar sobre quais outros corpos o tubo [atritado] teria o mesmo efeito. Começando com os metais, suspendendo-os no tubo pelo método mencionado anteriormente, primeiro com pequenas peças: como uma guinéu,²⁰ um xelim²¹ [*shilling*], um *half-penny*,²² uma peça de estanho, e [p.22] uma peça de chumbo. Em seguida, [utilizei] maiores quantidades de metal, suspendendo-os no tubo pelo barbante. Aqui utilizei uma pá de lareira [*fire-shovel*], uma pinça de lareira [*tongs*], um atizador de brasas de ferro [*iron poker*], uma chaleira de chá de cobre, a qual se comportou da mesma forma, tanto vazia quanto cheia de água gelada ou quente, e uma caneca de prata [*silver pint pot*]. Todos [esses objetos] ficaram fortemente elétricos, atraindo as lâminas de latão até a altura de várias polegadas. Depois que descobri que os metais ficaram elétricos dessa forma, continuei a fazer testes em outros corpos, como pederneira [*flintstone*], arenito [*sandstone*], imã natural,²³ tijolos [*bricks*], telhas, giz. E então, [fiz testes] em várias substâncias vegetais, tanto verdes quanto secas, e descobri que todas elas tinham uma virtude elétrica comunicada para elas, tanto sendo suspensas no tubo por uma linha [*line*],²⁴ quanto fixadas na extremidade dele pelo método mencionado anteriormente.

Em seguida, procedi para testar quais as maiores distâncias [a que] a virtude elétrica poderia ser levada, tendo comigo parte de uma bengala oca, a qual suponho [que] era parte de uma vara de pesca, de 2 pés e 7 polegadas [78 cm] de comprimento. Cortei a maior extremidade dela para encaixá-la dentro do buraco do tubo

20 Moeda de ouro inglesa.

21 Moeda inglesa.

22 Idem.

23 *Loadstone*, óxido de ferro com propriedades magnéticas.

24 Esta “linha” pode ser o barbante, uma vez que, em alguns trechos do texto (ver p.138 deste livro), Gray utiliza a expressão “linha de barbante” (*line of packthread*).

[de vidro], no qual ela entrou aproximadamente 5 polegadas [13 cm]. Então, quando a bengala foi colocada dentro da extremidade do tubo e este [foi] excitado [por atrito], ela atraiu as lâminas de latão para a altura de mais de 2 polegadas [5 cm], como também fez a bola de marfim, quando tinha sido fixada na extremidade da bengala por [meio de] uma rolha de cortiça e uma vareta. Uma bengala maciça teve o mesmo efeito quando inserida no tubo, da mesma forma que a [bengala] oca tinha tido. Então, peguei as duas juntas superiores de uma grande vara de pesca, uma de *spanish cane*,²⁵ [e] a outra parcialmente de madeira e osso de baleia (*whale-bone*) na extremidade superior, que, com o tubo, atingiram um comprimento de mais de 14 pés [4,2 m]. Na menor extremidade [p.23] do osso de baleia foi fixada uma bola de cortiça de aproximadamente 1 polegada e $\frac{1}{4}$ [3,2 cm] de diâmetro. Então, [com] a maior extremidade da vara sendo inserida no tubo, as lâminas de latão colocadas sobre a mesa, e o tubo excitado [por atrito], a bola [de cortiça] atraiu as lâminas de latão para a altura de aproximadamente 3 polegadas [7,6 cm], por estimativa. Posteriormente, com vários pedaços de *spanish cane* e varetas de abeto fiz uma vara, que, junto com o tubo [de vidro], tinha um pouco mais do que 18 pés [5,4 m] de comprimento, que era o maior comprimento que eu podia utilizar em meu quarto²⁶ convenientemente. [Com essa vara,] encontrei a atração muito próxima, se não completamente tão forte, quanto [aquela obtida] quando a bola foi colocada em varas menores. Até aqui, procedi antes de ir para o interior [da Inglaterra], [para onde fui] em 2 de maio de 1729, levando comigo vários bastões de vidro [*glass canes*], bem como outros materiais que pensei que seriam necessários e que não poderiam ser adquiridos lá. Agora, darei uma descrição dos experimentos que então fiz, alguns dos quais foram feitos em Norton-Court, próximo a Feversham, em Kent, [na casa do] meu honrado amigo e fiel es-

25 *Spanish cane* é uma espécie de gramínea cujo nome científico é *Arrundo donax*. Não encontramos sua denominação em português.

26 Gray, provavelmente, refere-se ao seu quarto na Charterhouse, em Londres.

cudeiro John Godfrey. Os outros [experimentos foram feitos] em OtterdenPlace, [na casa do] meu honrado amigo e fiel escudeiro Granvil Wheler [e] um ilustre membro da Royal Society, a quem tive a honra de conhecer recentemente. Colocarei abaixo cada experimento na ordem de tempo e lugar [em que] foram feitos, [tal] como os encontro em minhas anotações.

O primeiro experimento foi feito em Norton-Court, em 14 de maio de 1729, entre 6 e 7 horas da noite. Tendo providenciado uma vara de aproximadamente 24 pés [7,2 m], que consistia de uma vara de abeto, de *cane*,²⁷ e o topo de junco, sendo que em sua extremidade foi colocada a bola de cortiça. A extremidade maior da vara foi colocada aproximadamente 7 ou 8 polegadas [18 ou 20 cm] dentro do tubo [de vidro]. Então, sendo colocadas as [p.24] lâminas de latão embaixo [da bola] e o tubo atritado, a bola atraiu e repeliu as lâminas com vigor. Dessa forma, não há dúvida de que com uma vara mais comprida a eletricidade teria sido levada muito mais distante.

Em 16 de maio, fiz uma vara de 32 pés [9,6 m] de comprimento, incluindo o tubo. A maior parte dela era uma vara de abeto de aproximadamente 6,5 pés [2 m] de comprimento, o resto era de *cane*²⁸ e junco para a parte de cima dela.²⁹ Com todas as coisas preparadas como antes o efeito foi o mesmo, [tal] como no último experimento, apenas a vara, [que] se curvando muito e vibrando por causa do atrito do tubo, tornou mais difícil a realização do experimento. Isso me colocou a fazer os seguintes experimentos.

Em 19 de maio, por volta das seis da manhã, a bola de marfim foi suspensa no tubo por uma linha de barbante [*line of packthread*] de 26 pés [7,8 m] de comprimento, que era a altura de onde eu estava na sacada [*balcony*] até o pátio [*court*] onde ele³⁰ estava, [sendo que nesse pátio havia] uma tábua [*board*] com as lâminas de

27 Pode referir-se a *spanish cane* ou *walking cane* (bengala).

28 Idem.

29 Apesar de Gray dizer que a maior parte da vara era composta de abeto, o tamanho apresentado para a vara de abeto (2 m) não confirma isso.

30 Gray pode estar se referindo a John Godfrey ou a um dos criados de Godfrey que o auxiliava no experimento.

latão em cima. Então, [com] o tubo sendo atritado, [a bola de marfim] atraiu as lâminas de latão para a altura de aproximadamente 2 polegadas [5 cm], conforme aquele que [me] auxiliava informou. Isso foi repetido com a bola de cortiça com o mesmo sucesso.

Na manhã do dia 31 de maio, em uma vara de 18 pés [5,4 m] havia amarrado uma linha³¹ de 34 pés [10,2 m] de comprimento, de forma que a vara e a linha tivessem juntas 52 pés [15,6 m].³² Com a vara e o tubo fiquei em pé na sacada, o assistente [ficou] abaixo no pátio, onde ele mantinha a tábua com as lâminas de latão em cima dela. Então, [com] o tubo sendo excitado como de costume, a virtude elétrica passou do tubo até a vara e desceu pela linha para a bola de marfim, que atraiu as lâminas de latão. Como a bola passou [p.25] sobre elas [se movendo] com vibrações, as lâminas de latão seguiram-na até que fossem levadas para fora da tábua. Mas esses experimentos são difíceis de fazer ao ar livre, [pois] o vento mais suave leva as lâminas de latão para longe.

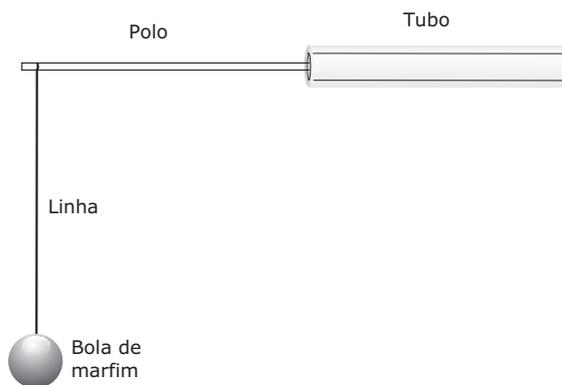


Figura 7.7 – Linha amarrada à vara fixada no tubo de vidro eletrizado, como se fosse uma grande vara de pesca.

31 Pode referir-se à linha de barbante (*line of packthread*) mencionada no parágrafo anterior.

32 Ver Figura 7.7.

Visto que não tive a oportunidade de levar [a virtude elétrica] perpendicularmente para maiores alturas [em Norton-Court], algum tempo depois, fiz várias tentativas para levá-la em uma linha³³ horizontalmente, mas [não tive] sucesso [por não ter] utilizado materiais adequados, como aparecerá na sequência [deste texto]. No primeiro método que testei, fiz um laço em cada ponta de uma linha e pendurei-a [por uma de suas pontas] em um gancho fixado em uma viga, [de forma] que a outra ponta [dessa linha ficasse] pendurada para baixo. Através do laço dessa ponta [inferior, passei uma segunda] linha com a bola de cortiça [presa em uma das extremidades dessa segunda linha], [sendo que] a outra ponta dessa [segunda] linha foi presa ao tubo [de vidro] por meio de um laço. De forma que a parte da linha próxima à bola [ficasse] pendurada na perpendicular e o restante dela na horizontal. Então, as lâminas de latão foram colocadas embaixo da bola e o tubo [foi] atritado; apesar disso não foi percebido nem o mínimo sinal de atração.³⁴ Diante disso, concluí que quando a virtude elétrica veio [do tubo] para o laço que estava suspenso na viga, ela subiu para essa mesma viga; de tal modo que nada, ou no mínimo muito pouco dela, desceu para a bola.³⁵ Isso foi confirmado posteriormente, [tal] como aparecerá pelos experimentos que serão mencionados a seguir. Diante disso, desisti de fazer tentativas adicionais de transportar a eletricidade horizontalmente. Planejei que no meu retorno a Londres, caso conseguisse auxílio, tentaria o experimento do topo da cúpula da [catedral de] St. Paul, não duvidando que a atração elétrica [p.26] seria levada para baixo perpendicularmente, desse lugar para o solo.

Em 30 de junho de 1729, fui para Otterden-Place, para aguardar o Sr. Wheler, levando comigo um pequeno bastão maciço

33 Pode referir-se à linha de barbante (*line of packthread*) mencionada anteriormente.

34 Ver Figura 7.8.

35 Do ponto de vista da Física atual, o sistema está aterrado pela linha condutora que está presa à viga, por isso não ocorre acúmulo de cargas elétricas na bola e ela não atrai as lâminas de latão (Assis, 2010, p.248-9).

de vidro de aproximadamente 11 polegadas [28 cm] de comprimento e $\frac{7}{8}$ de polegada [2,2 cm] de diâmetro, com alguns outros materiais necessários, planejando dar ao Sr. Wheler somente uma amostra dos meus experimentos. O primeiro foi [feito] a partir da janela na longa galeria que se abria para o salão, a uma altura de aproximadamente 16 pés [4,8 m]. O [experimento] seguinte foi [feito] a partir da ameia³⁶ da casa para baixo em frente ao pátio, [com a altura] de 29 pés [8,7 m]. Então [fizemos outro experimento] a partir da torre do relógio para o solo, o qual tinha 34 pés [10,2 m], [sendo que] essa foi a maior altura que pudemos conseguir. E apesar da pequenez do tubo [de vidro], as lâminas de latão foram atraídas e repelidas além do que eu esperava. Como não tínhamos maiores alturas aqui, o Sr. Wheler estava ansioso para verificar se não poderíamos levar a virtude elétrica horizontalmente. Então, contei-lhe das tentativas que havia feito com esse propósito, mas sem sucesso. Contei-lhe, [ainda,] o método e os materiais utilizados, como mencionado acima. Wheler, então, propôs uma linha de seda para sustentar a linha [presa ao tubo de vidro e à bola, provavelmente feita de barbante] pela qual passaria a virtude elétrica. Eu lhe disse que isso poderia melhorar [o experimento] em razão da pequena espessura [da linha de seda], de forma que haveria menos virtude [elétrica] levada da linha de comunicação,³⁷ com o que, junto com o método apropriado [que o] Sr. Wheler planejou, com [o] grande esforço que ele mesmo empregou e [com] a assistência de seus empregados, obtivemos sucesso muito além da nossa expectativa.

36 Ameia: “Parapeitos separados regularmente por merlões na parte superior das muralhas de fortalezas e castelos” (Houaiss, 2004).

37 Gray passa a chamar de linha de comunicação a linha que está conectada entre o tubo de vidro atritado e a bola. Essa linha de comunicação comumente é feita de *packthread*, isto é, de barbante. Tanto a linha de comunicação quanto a bola presa em sua extremidade comportam-se como materiais condutores nos experimentos de Gray.

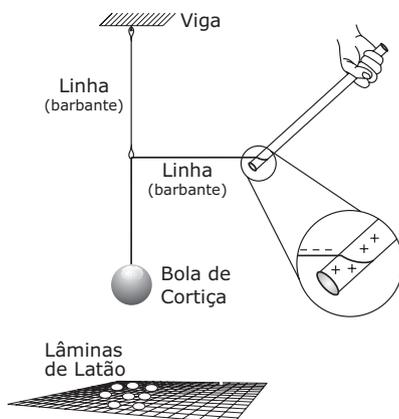


Figura 7.8 – Representação esquemática do experimento. A primeira linha (barbante) vertical superior está presa à viga por um gancho e tem um laço em sua extremidade inferior. A segunda linha (barbante) tem a bola de cortiça em uma extremidade e o tubo de vidro eletrizado na outra. Ela passa dentro do laço da extremidade inferior da primeira linha, ficando com a metade presa à bola de cortiça na vertical e com a metade presa ao tubo de vidro na horizontal. Em detalhe há uma representação qualitativa das cargas elétricas no tubo e na extremidade da segunda linha próxima ao tubo. Nessa configuração a bola de cortiça não atrai as lâminas de latão que estão abaixo dela. Figura adaptada de Assis (2010, p.248).

O primeiro experimento foi feito na galeria atapetada em 2 de julho de 1729, por volta das 10 [horas] da manhã. Aproximadamente a 4 pés [1,2 m] [p.27] da extremidade da galeria havia uma linha cruzada que foi fixada pelas [suas] pontas em cada lado da galeria por dois pregos. A parte do meio da linha era [de] seda, e o restante em cada extremidade [era de] barbante. Então, a linha [de comunicação] na qual a bola de marfim foi pendurada e pela qual a virtude elétrica seria transmitida até ela a partir do tubo, com comprimento de 80,5 pés [24,1 m], foi colocada sobre a linha de seda cruzada, de tal forma que a bola [ficasse] pendurada a aproximadamente 9 pés [2,7 m] abaixo dela. Então, a outra extremi-

dade da linha [de comunicação] foi suspensa no bastão de vidro por um laço, e as lâminas de latão colocadas sob a bola [e] sobre um pedaço de papel branco. Quando o tubo foi atritado, a bola atraiu as lâminas de latão e as manteve suspensas nela por algum tempo.^{38,39}

[Com] este experimento ocorrendo tão bem, e a galeria não nos permitindo ir mais longe em comprimento, o Sr. Wheler pensou em outro meio, pelo qual poderíamos aumentar o comprimento da nossa linha, o qual [consistia] em colocar uma outra linha cruzada próxima à outra extremidade da galeria.

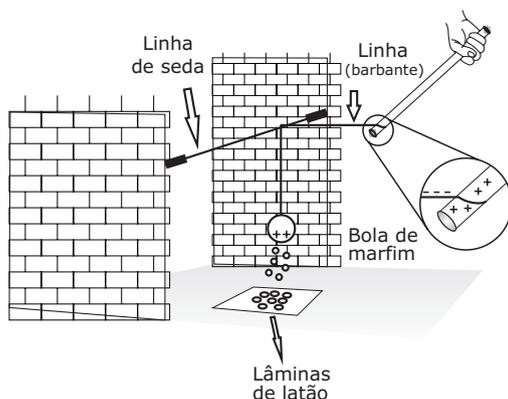


Figura 7.9 – Representação esquemática do experimento. A linha (barbante) amarrada ao tubo de vidro eletrizado está apoiada por uma linha de seda presa às paredes da galeria por pregos. Dessa forma, as lâminas de latão são atraídas pela bola de marfim que está eletrizada. Em detalhe há uma representação qualitativa das cargas elétricas no tubo, na extremidade da linha próxima ao tubo, assim como na bola de marfim. Figura adaptada de Assis (2010, p.250).

38 Ver figuras 7.9 e 7.10.

39 Nesse caso, o barbante está apoiado sobre uma linha de seda, que é um material isolante para esses experimentos, e por isso o sistema não está aterrado como no experimento anterior (Figura 7.8). O barbante e a bola de marfim comportam-se como condutores nesse experimento. Do ponto de vista da Física atual, o sistema composto pelo barbante e pela bola de marfim fica polarizado por causa da influência do tubo de vidro eletrizado. Como a carga

E sobre a parte de seda de ambas as linhas [cruzadas] foi colocada uma linha [de comunicação] suficientemente comprida para ser retornada até a outra ponta, onde a bola estava pendurada. Embora agora as duas pontas da linha estivessem na mesma extremidade da galeria,⁴⁰ foi tomado cuidado [para] que o tubo estivesse suficientemente distante [da bola e das lâminas de latão], para não ter qualquer influência sobre as lâminas de latão, exceto a [influência] que passasse pela linha de comunicação. Então, [com] o bastão [de vidro] sendo atritado e as lâminas de latão mantidas embaixo da bola de marfim, a virtude elétrica passou pela linha de comunicação para a outra extremidade da galeria e voltou novamente para a bola de marfim, a qual atraiu as lâminas de latão e suspendeu-as como antes. O comprimento total da linha [de comunicação] era de 147 pés [44,1 m].



Figura 7.10 – Esta figura ilustra Gray na galeria atritando um tubo de vidro que está sendo segurado por sua mão (Extraída de: Figuiier, 1867, p.441; Id., 1985, p.321; Ferreira; Maury, 1991, p.88; Borvon, 2006). Um barbante preso ao tubo está apoiado sobre cordões de seda.

elétrica resultante na bola é diferente de zero, ocorre a atração das lâminas de latão que estão sob ela (Assis, 2010, p.250). Note que é o primeiro experimento em que Gray consegue um material isolante para apoiar a linha de condução. Como veremos mais adiante, isso o levará à importante diferenciação entre os materiais atualmente denominados condutores e isolantes elétricos.

40 Com uma ponta da linha de comunicação presa ao tubo de vidro, enquanto sua outra ponta estava presa à bola de marfim.

[p.28] Então, pensamos em testar se a atração não seria mais forte sem dobrar ou retornar a linha. Encontramos meios de fazer isso no celeiro, onde tínhamos uma linha de 124 pés [37,2 m] de comprimento, 14 pés [4,2 m] dos quais pendurados perpendicularmente à linha de seda. Agora, a atração foi, como concluímos, mais forte do que quando a linha foi retornada, como na galeria atapetada.

Em 3 de julho, tendo agora trazido comigo o tubo de vidro grande, entre 10 e 11 [horas] da manhã, fomos novamente para o celeiro levando conosco o bastão maciço [de vidro] e repetimos o último experimento mencionado, tanto com o tubo quanto com o bastão. Mas a atração não foi tão forte quanto na noite anterior, nem foi tão grande a diferença na atração comunicada pelo bastão maciço e [pelo] tubo de vidro, como esperávamos, considerando a diferença de seus comprimentos e diâmetros.

Procedemos, então, [para levar a virtude atrativa] mais longe, adicionando muito mais linha [de comunicação] para fazer um retorno na outra extremidade do celeiro, [sendo que] agora o comprimento total da linha era de 293 pés [88 m]. Embora a linha [de comunicação] fosse muito alongada, não encontramos nenhuma diferença perceptível na atração, [pois] a bola atraiu tão fortemente quanto antes. Isso nos encorajou a adicionar outro retorno, mas, ao começarmos a atritar o tubo, nossa linha de seda se rompeu, não sendo forte o suficiente para suportar o peso da linha [de comunicação] quando chacoalhada pelo movimento dado a ela pelo atrito do tubo [de vidro]. Diante disso, tendo trazido comigo fios [ou arames] de latão e de ferro, colocamos um fio fino de ferro no lugar da [linha de] seda, mas esse [fio] era muito fraco para suportar o peso da linha [de comunicação]. Então, colocamos um fio de latão um pouco mais grosso do que [p.29] o [fio] de ferro. Esse fio suportou a nossa linha de comunicação, mas, embora o tubo fosse bem atritado, não houve o menor movimento ou atração [das lâminas de latão] dada pela bola, nem [mesmo] com o grande tubo [de vidro com 1 m de comprimento], que utilizamos quando notamos que o pequeno bastão maciço [de vidro com 28 cm de comprimento] era ineficaz. *Por isso, agora ficamos convencidos de que o sucesso que tivemos anteriormente dependia [do tipo] das linhas que sustentavam*

a linha de comunicação, que eram de seda, e não por elas serem finas, como eu imaginava que poderia ser antes de [realizar] o teste. O mesmo efeito ocorreu aqui, como quando a linha [de comunicação] que [deveria] transmitir a virtude elétrica foi sustentada por barbante [como no caso da Figura 7.8]; a saber, quando os eflúvios [elétricos] chegam ao fio [metálico] ou barbante que sustenta a linha [de comunicação], passam por eles [e vão] para a madeira na qual estão fixadas as pontas do fio ou do barbante, e assim [os eflúvios elétricos] não vão mais adiante [ao longo] da linha [de comunicação] que [deveria] levá-los para a bola de marfim.⁴¹

Ao descobirmos que as nossas linhas de seda eram muito fracas para suportar muitos retornos da linha [de comunicação], o Sr. Wheler pensou em outro modo de realizar [o experimento] com elas, de forma que poucos retornos pudessem ser [colocados] em cada linha de seda. Isso foi [feito] colocando duas outras linhas cruzadas alguns pés abaixo das linhas superiores, de modo que todas as outras voltas da linha [de comunicação] foram suspensas pela linha cruzada mais abaixo. Com esse método ficou metade do peso da linha [de comunicação] sobre cada [linha] de seda, em relação [ao peso] que havia quando somente duas linhas cruzadas foram utilizadas. Com esse artifício, conseguimos acrescentar um comprimento maior na linha [de comunicação], sem o risco de romper nossa [linha de] seda. Então, colocamos uma linha [de comunicação] que tinha 666 pés [200 m] de comprimento, com oito retornos. Em seguida, as lâminas de latão foram colocadas sobre um pedaço de papel branco embaixo da bola de marfim, e o tubo, com a outra ponta da linha [de comunicação] pendurada [p.30] nele, foi atritado por algum tempo. [Dessa forma,] as lâminas de

41 Neste trecho, Gray explicita duas importantes conclusões: 1) Existem materiais condutores de eletricidade (chamados à época de *não elétricos*) e materiais *não condutores de eletricidade* (chamados à época de *elétricos*). Alguns materiais (como barbante, fios metálicos, madeira etc.) permitem a dissipação ou condução da eletricidade quando utilizados como suporte para a linha de comunicação. Outros materiais (como a seda) não permitem essa dissipação; 2) A característica de o material permitir ou não a condução elétrica não está relacionada à espessura do fio, mas sim à natureza do material de que é feito esse fio (por exemplo, se é feito de metal ou de seda). Essas são as descobertas mais importantes deste artigo.

latão foram atraídas tão notoriamente quanto tinham sido com linhas [de comunicação] muito mais curtas. Repetimos então o experimento com o pequeno bastão maciço [de vidro], e notamos que havia uma certa atração, mas nem de perto tão grande quanto [a atração que ocorria] com o tubo maior.⁴²

Embora a ida e volta dos eflúvios elétricos fosse muito surpreendente, ainda queríamos testar quão distante a virtude atrativa poderia ser levada em uma linha reta contínua. Para isso, utilizamos o seguinte método: aquela ponta da linha onde a atração estava para ocorrer foi suspensa sobre uma linha de seda que estava fixada cruzada na janela do sótão, no lado norte da casa, [e] tinha, por estimativa, aproximadamente 40 pés [12 m] de altura. À aproximadamente 100 pés [30 m] desse ponto duas estacas ou postes de aproximadamente 10 pés [3 m] de comprimento foram fincadas na terra, a uma distância de 2 pés [0,6 m] entre elas, de forma que ficassem de pé quase na perpendicular.



Figura 7.11 – A linha de comunicação, feita de um material condutor, com vários retornos e apoiada sobre fios de material isolante (Extraída de: Gaudenzi; Satolli, 1989; Blondel; Wolff, 2005; Doppelmayer, 1774). Em uma das extremidades da linha de comunicação há uma bola atraindo corpos leves, e nas proximidades da outra extremidade há alguém segurando o tubo eletrizado.

Isso foi [feito] no grande jardim. Além dessas, foi fixado outro par de estacas no grande campo, que é separado do jardim por um

42 As figuras 7.11 e 7.12 ilustram os experimentos em que a linha de condução fazia retornos. No entanto, elas não representam exatamente os experimentos descritos aqui.

profundo fosso, aproximadamente à mesma distância do primeiro [par, isto é, cerca de 30 m]. Então, [foram fixados] quatro outros [pares] à mesma distância. Nas pontas dessas estacas foram amarradas linhas cruzadas de seda para sustentar a linha de comunicação. Estando a linha de comunicação apoiada sobre a linha de seda, a bola de marfim passando pela janela do sótão e a outra ponta da linha [de comunicação] pendurada no tubo por um laço, as lâminas de latão foram colocadas embaixo da bola. Depois que o tubo tinha sido atritado por algum tempo, eles me chamaram para informar que havia uma atração das lâminas de latão. Isso foi repetido várias vezes com sucesso. Então, o Sr. Wheler veio ao campo e atritou o tubo ele próprio, [p.31] [para] que eu pudesse ver que havia uma atração, a qual eu vi, embora notasse que ela não fosse tão forte como quando a atração foi levada por uma linha mais comprida [feita por meio] de retornos, como no experimento mencionado anteriormente. O comprimento da linha era de 650 pés [195 m]. Esse [experimento] foi repetido várias vezes, mas, como o experimento foi feito à noite, afinal o orvalho começou a cair. Começamos por volta das 7 horas, ou pouco tempo depois, mas antes das 8 [horas] a atração cessou. Mas se isso foi causado pela queda do orvalho, ou por estar muito quente,⁴³ não podemos dizer categoricamente, mas prefiro atribuí-lo à última causa. Esse experimento foi feito no dia 14 de julho de 1729.



Figura 7.12 – Linha de condução apoiada sobre fios isolantes. Em uma das extremidades da linha de comunicação há uma bola atraindo corpos leves, e nas proximidades da outra extremidade está o tubo eletrizado. Figura extraída de Doppelmayer (1774).

Note que, embora chamemos o transporte da virtude elétrica por linhas nessa posição como sendo horizontal, você não deve

43 No original: *Or by my being very hot.*

entender isso em um sentido estrito, como pode ser facilmente percebido pela descrição do método. Além disso, como a linha [de comunicação] encurvava [*swagged down*] muito abaixo das linhas de seda que a suportavam, na parte central entre essas linhas [de seda que funcionam como suporte]; a linha [de comunicação] era alguns pés maior do que a distância entre as estacas.⁴⁴

Alguns dias depois esse experimento foi repetido da janela do gabinete da pequena torre, quando a linha [de comunicação] tinha 765 pés [230 m], e a atração não foi menos perceptível do que no experimento mencionado anteriormente.

Mais experimentos feitos [na casa do] Sr. Wheler mostrando que grandes superfícies podem ser impregnadas com os eflúvios elétricos.

Um grande mapa-múndi de 27 pés quadrados [2,4 m²], e uma toalha de mesa de 59 pés quadrados [5,3 m²], foram pendurados no tubo [de vidro] por [p.32] barbantes e tornaram-se elétricos. Um guarda-chuva suspenso por um barbante amarrado ao seu cabo tornou-se fortemente elétrico.

Um experimento proposto pelo Sr. Wheler para verificar se a virtude elétrica seria de alguma forma impedida pelos eflúvios magnéticos de um ímã.

Esse [ímã] tinha uma pequena chave pendurada por um de seus braços de ferro,⁴⁵ e o ímã, junto com a chave pendurada a ele, foram suspensos no tubo [de vidro] por um barbante. Então, o tubo foi atritado e tanto a chave quanto o ímã atraíram as lâminas de latão, e a atração foi a mesma que a de outros corpos.^{46,47,48}

44 A curva formada por um fio preso em seus dois extremos e sujeito somente à ação do seu peso é denominada catenária.

45 *Arming irons.* Gray pode ter feito o experimento com um ímã na forma de ferradura.

46 Ver a Figura 7.13.

47 Do ponto de vista da Física atual, o tubo eletrizado positivamente polariza todo o conjunto formado pelo barbante, ímã e chave, que são todos condutores elétricos. Dessa forma, a parte superior do barbante em contato com o tubo fica eletrizada negativamente, enquanto a parte inferior da chave fica carregada positivamente. Essas cargas na parte inferior da chave são as responsáveis pela atração das lâminas de latão.

48 Nesse experimento, podemos questionar se as lâminas metálicas não foram atraídas magneticamente pelo próprio ímã. Para que tivesse ocorrido essa

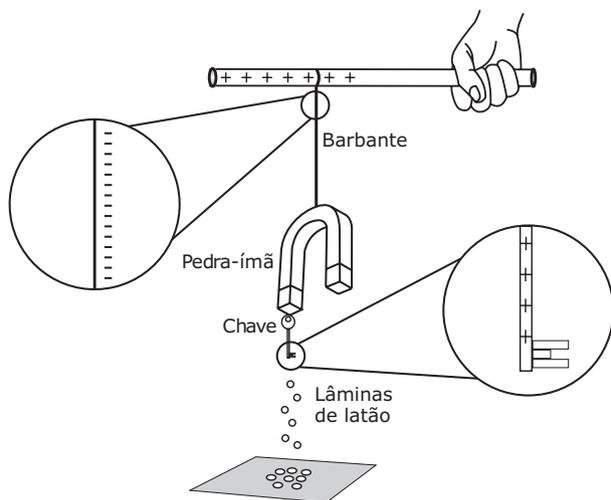


Figura 7.13 – Ilustração de uma possível conformação do sistema formado pelo tubo de vidro eletrizado, barbante, ímã e chave. Abaixo da chave estão as lâminas de latão sendo atraídas por causa da eletrização da parte inferior do ímã e da chave. Em detalhe há uma representação qualitativa das cargas elétricas na parte superior do barbante e na parte inferior da chave.

atração magnética, as referidas lâminas metálicas teriam que ser de ferro ou de material magnético. Apesar de, no texto, elas serem denominadas *latão*, não é possível dizer qual era a composição dessa liga à época de Gray. Portanto, tanto elas poderiam ser de algum material não magnético quanto de algum material magnético. Caso elas fossem feitas de algum material não magnético, a atração magnética exercida pelo ímã estaria descartada e a atração observada teria de ser elétrica. Vamos agora supor que essas lâminas fossem feitas de alguma material magnético. Nesse caso, se a atração fosse magnética e não elétrica, assim que o aparato fosse posicionado sobre as lâminas, a determinada distância delas, teria ocorrido a atração. Porém, o texto reporta que essa atração ocorreu somente após o atrito do tubo de vidro. Se supormos, ainda, que a distância entre as lâminas e a chave não variou durante a realização do experimento, podemos atribuir a atração das lâminas à eletrização da chave e do ímã. Ou seja, podemos descartar a hipótese de a atração das lâminas ter sido magnética.

Um experimento feito para mostrar que a virtude elétrica é transportada ao mesmo tempo por vários caminhos e pode ser transmitida para distâncias consideráveis.

Foram feitos três suportes, cada qual composto de duas peças verticais de abeto fixadas perpendicularmente, próximos às extremidades de uma grande tábua quadrada, distantes uma da outra perto de 1,5 pé [45 cm, sendo essa a distância entre as duas peças verticais que compõem cada suporte]. No topo delas foram amarradas linhas de seda para sustentar as linhas de comunicação com o tubo e os corpos de atração [*attracting bodies*]. Um desses suportes foi colocado na grande sala, próximo à extremidade mais distante, o outro [foi colocado] na pequena sala, e o terceiro no *hall*, que ficava entre as duas salas. Como os outros dois [suportes] foram [colocados] um deles à direita e o outro à esquerda, este último foi colocado próximo da janela do *hall* à frente. Os dois primeiros [suportes] tinham aproximadamente 50 pés [15 m], o outro, aproximadamente 20 pés [6 m] [de distância] do lugar onde [p.33] o tubo estava colocado. Então, pegamos três pequenos pedaços quadrados de madeira, que foram amarrados a três linhas de barbante, as quais tinham aproximadamente o comprimento mencionado acima. Elas foram colocadas sobre as linhas de seda, e as outras pontas foram presas ao tubo por um laço. Então, com as lâminas de latão colocadas embaixo dos pedaços de madeira e o tubo atritado, todos eles atraíram as lâminas de latão ao mesmo tempo. Algum tempo depois, na minha ausência, o Sr. Wheler testou um atiçador de brasas quente já vermelho [*red hot poker*] e descobriu que a atração era a mesma de quando [estava] frio. Ele também suspendeu no tubo um pintinho vivo pelas pernas e descobriu que o peito dele era fortemente elétrico.

[Na casa do] Sr. Godfrey fiz os experimentos a seguir, mostrando que a virtude elétrica pode ser transportada a partir do tubo sem tocar a linha de comunicação, apenas mantendo-o próximo a ela.

O primeiro desses experimentos foi feito em 5 de agosto de 1729. Mencionarei aqui alguns dos mais consideráveis, mas, como nem sempre anotei o dia do mês, alguns deles podem não ser rela-

tados na ordem temporal em que foram feitos; [da mesma forma] nem sempre menciono os comprimentos das linhas, [pois] pensei que estes não são absolutamente necessários.

Peguei um pedaço de linha muito fina,⁴⁹ como [aquelas] em que se secam roupas de linho, de aproximadamente 11 pés [3,3 m] de comprimento, a qual, por um laço em sua ponta superior, foi suspensa em um prego que estava fixado em uma das vigas do sótão, e tinha em sua ponta inferior [p.34] um peso de chumbo de 14 libras [6,3 kg] pendurado nela por uma argola de ferro. Então, as lâminas de latão foram colocadas embaixo do peso, e o tubo foi atritado, e ao ser mantido próximo da linha [mas] sem tocá-la, o peso de chumbo atraiu e repeliu as lâminas de latão várias vezes seguidas, à altura de no mínimo 3 [7,6 cm], se não 4 polegadas [10 cm]. Se o tubo fosse mantido 3 [90 cm] ou 4 pés [1,2 m] acima do peso, haveria uma atração, mas, se ele fosse mantido mais acima, de modo a ficar próximo à viga onde o peso estava pendurado pela linha muito fina, não haveria atração.^{50,51,52}

Um experimento mostrando que a virtude elétrica pode ser transportada ao mesmo tempo por vários caminhos, por uma linha de comunicação, sem tocar a referida linha.

Pegamos duas linhas muito finas, entre 4 [1,2 m] e 5 pés [1,5 m] de comprimento. Para cada uma dessas foi amarrado um pedaço qua-

49 *Hairline*, no original. Não fica evidente de que material essas linhas muito finas eram compostas, mas elas funcionavam como isolantes (Assis, 2010, p.256). Essas linhas podem ser de seda ou de crina de cavalo (Ibid., p.258). Sempre que nos referirmos a uma linha fina ou muito fina neste livro, estamos nos referindo a essa *hairline* de Gray.

50 Ver Figura 7.14.

51 Com este experimento, Gray evidencia uma forma de eletrização que até então não era conhecida, que é a eletrização sem que haja contato. Atualmente, esse tipo de eletrização é denominado *eletrização por indução*, *eletrização por influência*, *polarização por indução* ou *polarização por influência*.

52 Do ponto de vista da Física atual, o tubo eletrizado positivamente polariza, por indução, o peso de chumbo. Com isso, a parte superior do peso de chumbo fica carregada negativamente e sua parte inferior fica carregada positivamente. Então, as lâminas de latão são atraídas pela parte inferior do peso de chumbo, que apresenta cargas de mesma natureza que as cargas do tubo de vidro.

drado de cortiça por meio de barbante. As linhas foram suspensas por laços em suas pontas superiores em dois pregos, e próximo às suas extremidades inferiores foi amarrado um pedaço de barbante, pelo qual havia a comunicação entre as duas linhas muito finas. Então, as lâminas de latão foram colocadas sob as cortiças, o tubo foi atritado e mantido próximo a uma das linhas, [com isso] ambas as cortiças atraíram; mas aquela que estava mais distante [atraiu] muito mais forte do que aquela que estava próxima ao tubo.⁵³ [Colocando o tubo atritado] próximo ao meio da linha de comunicação [isto é, do barbante], ambas [as cortiças] atraíram com mesma força.

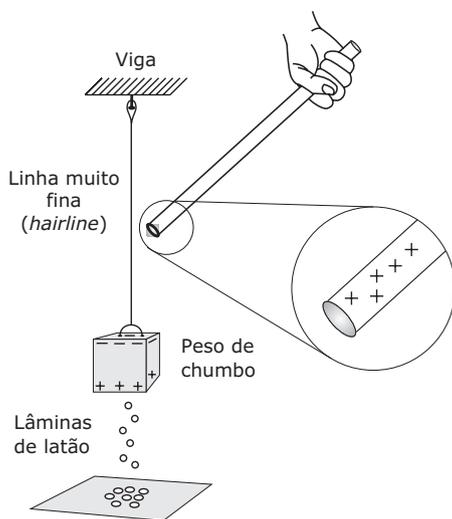


Figura 7.14 – Ilustração do sistema formado pelo peso de chumbo preso ao teto por uma linha muito fina. Na figura, o peso de chumbo preso a uma viga por uma linha muito fina atrai lâminas de latão sem o tubo eletrizado encostar na linha ou no peso. Em detalhe e no peso de chumbo há uma representação qualitativa das cargas elétricas.⁵⁴ Figura adaptada de Assis (2010, p.256).

53 Ver Figura 7.15.

54 O peso de chumbo foi feito em forma de cubo por opção dos tradutores.

[p.35]

Algum tempo depois, [na casa do] Sr. Wheeler, fizemos os experimentos a seguir, a fim de testar se a atração elétrica é proporcional à quantidade de matéria nos corpos.

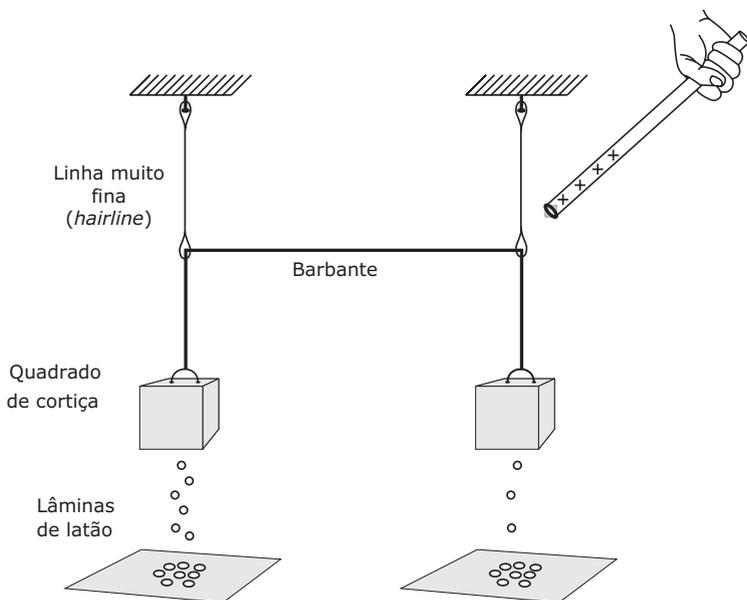


Figura 7.15 – Ilustração do sistema formado por dois quadrados de cortiça presos por um barbante. Esse barbante está preso ao teto por duas linhas finas verticais. Na figura é possível ver as lâminas de latão sendo atraídas devido à eletrização das cortiças. As lâminas que estão sob a cortiça mais afastada do tubo eletrizado são atraídas mais fortemente do que as lâminas abaixo da cortiça mais próxima do tubo. Figura adaptada de Assis (2010, p.262).

Foram feitos dois cubos de carvalho, de [faces com] aproximadamente 6 polegadas quadradas [$15,2 \text{ cm}^2$], um maciço e o outro oco. Esses [cubos] foram suspensos por duas linhas muito finas, quase da mesma maneira que no experimento mencionado acima. A distância entre os cubos era, por estimativa, de aproximadamente

14 [4,2 m] ou 15 pés [4,5 m]. A linha de comunicação foi amarrada a cada linha muito fina, e as lâminas de latão [foram] colocadas embaixo dos cubos. O tubo foi atritado e mantido acima da parte central da linha [isto é, acima da parte central do barbante horizontal que interligava as linhas finas verticais presas ao teto], e tão próximo quanto se possa imaginar, a iguais distâncias dos cubos, os quais atraíram e repeliram as lâminas de latão ao mesmo tempo e à mesma altura, *de forma que pareceu não haver mais atração no cubo maciço do que no oco*. Apesar disso, estou inclinado a pensar que os eflúvios elétricos passam através de todas as partes interiores do cubo maciço, *apesar de nenhuma parte, exceto a superfície, atrair*.^{55,56,57} *A partir de vários experimentos parece que se algum outro corpo tocar aquele que atrai, sua atração cessa até que o corpo seja removido, e [aquele que atraía] seja novamente excitado pelo tubo*.^{58,59}

55 Ver Figura 7.16.

56 Este trecho traz uma descoberta muito importante: a de que o excesso de cargas elétricas em um condutor sólido (no caso deste experimento, os cubos de carvalho) em equilíbrio eletrostático (sem movimento de cargas) distribui-se inteiramente sobre a superfície. (Clark; Murdin, 1979, p.396; Assis, 2010, p.262). “Embora esta propriedade elétrica fundamental de condutores em equilíbrio eletrostático seja atribuída a Michael Faraday (1791-1867), sua descoberta é na verdade devida a Gray” (Assis, 2010, p.262).

57 Do ponto de vista da Física atual, o tubo eletrizado positivamente quando aproximado do ponto médio do barbante, que é condutor, causa uma concentração de cargas negativas nessa região e uma concentração de cargas positivas nas superfícies inferiores dos dois cubos condutores. Então, as lâminas de latão são atraídas tanto pela parte inferior do cubo maciço quanto pela parte inferior do cubo oco, as quais apresentam, em igual quantidade, cargas de mesmo sinal que as cargas do tubo de vidro eletrizado.

58 Assis (2010, p.812) traduz o trecho em itálico da seguinte forma: “[...] pois a partir de várias experiências parece que se qualquer outro corpo [C] toca aquele [corpo B eletrizado por contato com o corpo A] que atrai, sua atração cessa até que esse corpo [C, que tocou o corpo eletrizado B] tenha sido removido, e o outro [corpo B, que estava inicialmente eletrizado e que foi descarregado pelo toque] tenha sido novamente excitado pelo tubo [de vidro A que era carregado pelo atrito]”.

59 Este trecho traz uma descoberta importante: o fato de um condutor eletrizado ser descarregado quando é aterrado (no caso de Gray, o aterramento ocorre

Uma continuação dos experimentos feitos [na casa do] Sr. Godfrey.

Prosegui com um experimento para verificar se a virtude eléctrica não poderia ser transmitida para uma vara, sem inseri-la no buraco do tubo, ou sem tocar a vara. Obtive êxito [p.36] suspendendo a vara ou por linhas de seda ou por pedaços de linha de pesca de crina de cavalo [horsehair fishinglines], [e] colocando uma bola de cortiça na extremidade menor da vara.

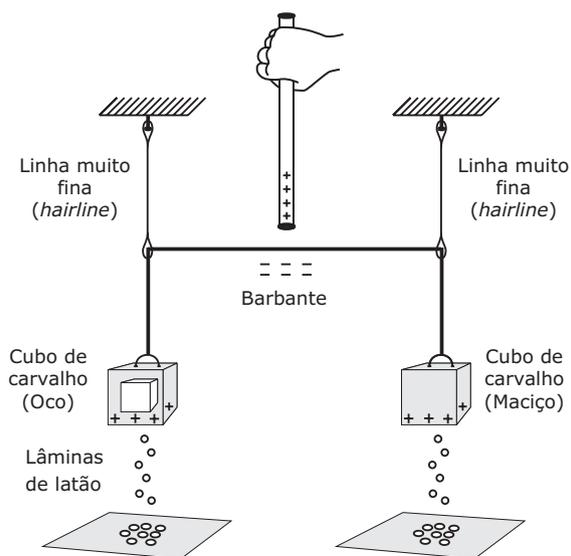


Figura 7.16 – Ilustração do sistema formado por dois cubos de carvalho presos por um barbante condutor. O barbante está preso ao teto por linhas muito finas. Na figura é possível ver as lâminas de latão sendo atraídas devido à eletrização dos cubos de carvalho. Apresenta-se também uma representação qualitativa das cargas elétricas. Figura adaptada de Assis (2010, p.262).

Em 13 de agosto, peguei uma grande vara que tinha 27 pés [8,1 m] de comprimento, 2,5 polegadas [6,3 cm] de diâmetro na

quando algum outro corpo condutor encosta no corpo que estava atraindo) (Assis, 2010, p.262).

extremidade maior, e cerca de 0,5 polegada [1,3 cm] [de diâmetro na extremidade] menor. Ela era de uma espécie de madeira chamada de faia [*horsebeech*], [e estava] com casca. Esta [vara] foi pendurada por duas linhas muito finas de aproximadamente 4,5 pés [1,4 m] de comprimento. A primeira linha estava a cerca de 2 pés [60 cm] da extremidade maior da vara, e a outra a cerca de 8 pés [2,4 m] da extremidade menor, de forma que a vara [ficasse] pendurada na horizontal. Na extremidade menor da vara foi pendurada uma bola de cortiça de aproximadamente 1,5 polegada [3,8 cm] de diâmetro, por um barbante de aproximadamente 1 pé [30 cm] de comprimento, e uma pequena bola de chumbo [foi colocada] na cortiça para manter o barbante estendido. Então, as lâminas de latão foram colocadas embaixo da cortiça, o tubo foi atritado e mantido próximo da maior extremidade da vara, [com isso] a bola de cortiça atraiu as lâminas de latão fortemente para a altura de 1 polegada [2,54 cm], se não mais. Em seguida, as lâminas foram colocadas embaixo de várias partes da vara e foram atraídas por ela, como o Sr. Godfrey observou, mas não foram atraídas tão fortemente quanto haviam sido pela [bola de] cortiça.^{60,61}

Aproximadamente no começo de setembro fiz o experimento a seguir, que mostra que os eflúvios elétricos serão transportados em um círculo e comunicados de um círculo para o outro.

Peguei um aro de aproximadamente 2 pés e 2 polegadas [65 cm] de diâmetro, e o suspendi por uma linha muito fina em um prego fixado em uma viga.⁶² A linha tinha aproximadamente 4 pés

60 Ver Figura 7.17.

61 Do ponto de vista da Física atual, o tubo eletrizado positivamente, quando aproximado da vara de madeira, que se comporta como um condutor, causa uma concentração de cargas negativas na região da vara que está mais próxima do tubo. Dessa forma, a parte inferior da bola de cortiça, na outra extremidade do conjunto, fica carregada positivamente, uma vez que o barbante e a cortiça também são condutores e há movimentação de cargas. Então, as lâminas de latão são atraídas pela parte inferior da bola, que apresenta cargas de mesma natureza que as cargas do tubo de vidro.

62 Gray não explicita de que material esse aro é composto, mas provavelmente é de um material condutor elétrico para experimentos de eletrostática, como madeira ou metal.

[1,2 m] de comprimento. As lâminas de latão foram colocadas embaixo do aro, o tubo foi atritado e mantido [p.37] dentro do aro, próximo à parte superior dele e sem tocá-lo por várias polegadas. Então, a parte inferior do aro atraiu e repeliu as lâminas de latão fortemente.^{63,64} Mas quando [o tubo foi] colocado próximo à parte inferior do aro, houve uma atração muito pequena, se [é que houve] alguma atração.^{65,66}

Se o tubo fosse mantido próximo ao lado de fora do aro, ele atraía; porém, mais fortemente quando ao mesmo tempo ele era mantido próximo ao nó da linha muito fina que suspendia o aro. Nesse aro foi amarrado um aro menor de aproximadamente 1,5 pé [45 cm] de diâmetro, que foi amarrado [ao aro maior] por um barbante, ficando pendurado abaixo dele por cerca de 2 polegadas [5 cm]. Eles foram suspensos, juntos, por uma linha muito fina, então as lâminas de latão e o tubo foram preparados, como já mencionado. O tubo foi mantido próximo ao aro de cima, então a parte inferior do aro de baixo atraiu fortemente, e quando [o tubo foi] mantido perto da parte de cima do aro de baixo, [a parte inferior do aro de baixo atraiu] muito pouco. Mas, quando [o tubo foi] mantido perto da parte inferior do aro de baixo, não houve atração. [Ver a Figura 7.19.]

63 Ver Figura 7.18a.

64 Do ponto de vista da Física atual, o tubo eletrizado positivamente, quando aproximado da parte superior do aro, causa uma concentração de cargas negativas nessa região, uma vez que a linha que o prende à viga é isolante. Dessa forma, a parte inferior do aro fica carregada positivamente. As lâminas de latão são essencialmente atraídas pelas cargas mais próximas a elas localizadas na parte inferior do aro.

65 Ver a Figura 7.18b.

66 Do ponto de vista da Física atual, nessa situação pode não ocorrer a atração das lâminas metálicas, porque o tubo eletrizado positivamente induz uma concentração de cargas negativas na parte inferior do aro, de tal forma que a presença de cargas positivas e negativas faz com que a carga líquida naquela região seja próxima a zero. Ver Figura 7.18b.

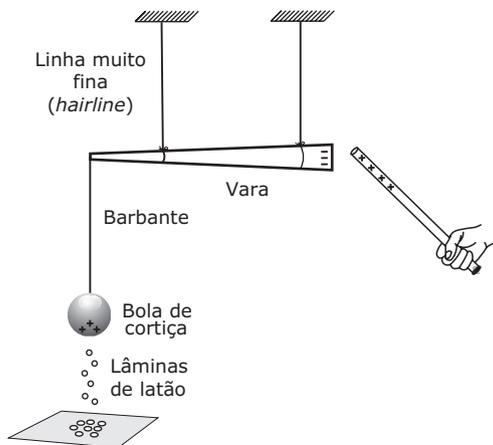
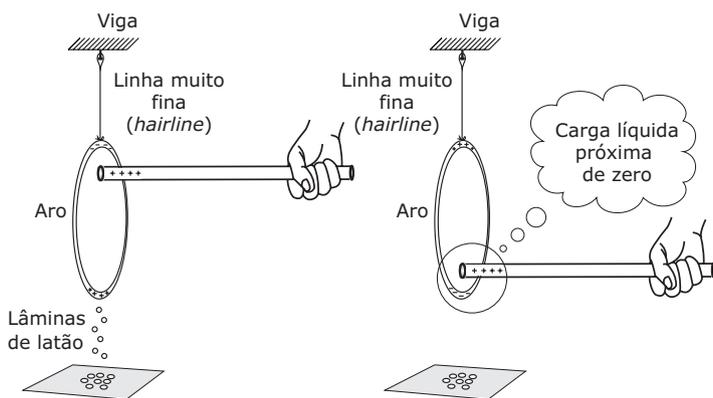


Figura 7.17 – Ilustração do sistema formado por uma vara presa ao teto por linhas muito finas e um barbante ligando uma bola de cortiça à vara. Na figura é possível ver as lâminas de latão sendo atraídas por causa da eletrização da bola de cortiça. É apresentada também uma representação qualitativa das cargas elétricas.



(a) O tubo de vidro eletrizado está colocado próximo à parte superior do aro.

(b) O tubo de vidro eletrizado está colocado próximo à parte inferior do aro.

Figura 7.18 – Ilustração do sistema formado por um aro preso à viga por uma linha muito fina. Na figura há uma representação qualitativa das cargas elétricas. Outra ilustração com aros pode ser vista na Figura 7.20 (Doppelmayer, 1774).

Em 15 de setembro fiz o experimento a seguir, o qual mostrou que os eflúvios elétricos têm o mesmo efeito em um círculo, quando sua posição é horizontal.

Peguei um grande aro, de um pouco mais do que 3 pés [90 cm] de diâmetro, e perto de 2,5 polegadas [6,4 cm] de largura. Nele foram amarradas quatro linhas em distâncias aproximadamente iguais. [Essas linhas] são o que chamam de *cordel*,⁶⁷ que é [composta] de três linhas de barbante [*threads of packthread*] torcidas, cada uma com aproximadamente 2 pés e 8 polegadas [80,3 cm] de comprimento. Esses [quatro cordéis] foram amarrados com suas extremidades juntas a uma linha muito fina de aproximadamente 2,5 pés [75 cm] de comprimento, pela qual o aro foi [p.38] pendurado em um prego, como em outros experimentos, de forma que o aro agora [estivesse] pendurado na posição horizontal.⁶⁸ Então, as lâminas de latão foram colocadas embaixo da borda do aro, entre 2 [5 cm] e 3 polegadas [7,6 cm] abaixo dela. O tubo foi atritado e colocado entre as cordas [*cords*] sem tocá-las, [com isso] as lâminas foram atraídas e repelidas várias vezes seguidas. Mas quando [o tubo foi] mantido próximo ao lado de fora do aro, na parte oposta àquela onde estavam colocadas as lâminas de latão, a atração foi muito mais forte.⁶⁹

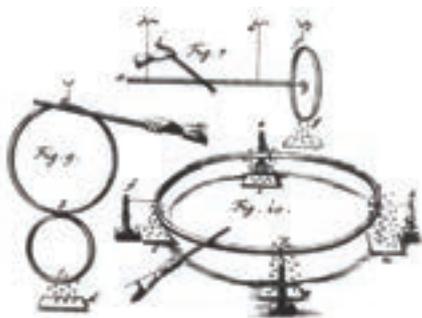


Figura 7.19 – Ilustração dos experimentos de Gray com aros suspensos. Figura extraída de Doppelmayer (1774); também disponível em Heilbron (1979, p.249).

67 *Twine*, no original.

68 Ver Figura 7.20.

69 *Idem*.

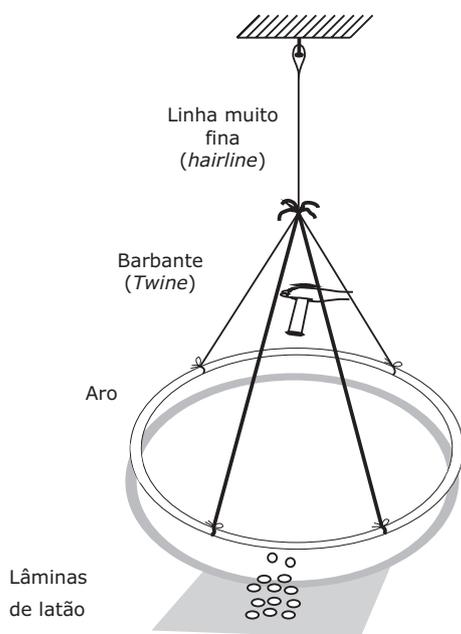


Figura 7.20 – Ilustração do aro na posição horizontal preso a um prego no teto por meio de uma linha muito fina e de quatro barbantes. O tubo eletrizado é colocado próximo do aro, na parte oposta àquela em que as lâminas metálicas estavam colocadas, abaixo de outra parte do aro. Essas lâminas são atraídas pelo aro. Outra ilustração com aro pode ser vista na Figura 7.20 (Doppelmayr, 1774).

Próximo ao fim do outono e começo do inverno de 1729, reiniciei minhas investigações atrás de outros corpos elétricos, para verificar qual adição eu poderia fazer ao catálogo daqueles mencionados anteriormente, nas páginas 21 e 22.⁷⁰ Encontrei muitos outros que têm a mesma propriedade e podem ser excitados para atrair pelo mesmo método. Como folhas secas do junco [*reed*] e da íris [*flag*], da grama e do milho, tanto folhas quanto palha; as folhas das

70 Essas páginas referem-se à paginação do artigo original, indicada, neste capítulo, entre colchetes.

árvores, como as de loureiro, carvalho, imbuia [*walnut*], castanheiro [*chesnut*], aveleira [*hazlenut*], macieira e folhas de árvore de pera. De forma que podemos concluir que as folhas de todos vegetais têm essa virtude atrativa.

Agora, darei uma descrição dos experimentos feitos em meu quarto⁷¹ no ano de 1730.

Em 23 de março, dissolvi sabão na água do [rio] Tâmis, então pendurei um cachimbo por uma linha muito fina, de forma que [ficasse] suspenso quase na horizontal, com a boca do forninho para baixo. Mergulhei o cachimbo em uma solução de sabão e assoprei uma bolha. As lâminas de latão [foram] colocadas em um suporte abaixo da bolha. O tubo foi então atritado e as lâminas de latão foram atraídas pela bolha, quando [p.39] o tubo foi colocado próximo da linha muito fina.⁷² Em seguida, repeti o experimento com outra bolha, mantendo o tubo próximo à extremidade pequena do cachimbo, e agora a atração foi muito maior, sendo que as lâminas de latão foram atraídas à altura de aproximadamente 2 polegadas [5 cm].

Em 25 de março, repeti esse experimento de maneira um pouco diferente. Agora, o cachimbo foi pendurado por duas linhas de costura de seda branca, de aproximadamente 5,5 pés [1,7 m] de comprimento. Essas [linhas] foram penduradas em dois pregos fixados na viga do meu quarto, distantes uma da outra cerca de 1 pé [30 cm], por laços na outra ponta das linhas, pelas quais o cachimbo foi pendurado. Então, a bolha foi assoprada, e, mantendo o tubo [próximo] à extremidade menor do cachimbo, a bolha atraiu as lâminas de latão à altura de aproximadamente 4 polegadas [10 cm]. Esse experimento foi feito para verificar se os corpos fluidos não teriam uma eletricidade comunicada para eles.⁷³

71 Provavelmente, Gray refere-se ao seu quarto na Charterhouse, em Londres.

72 Ver Figura 7.21a.

73 Ver Figura 7.21b.

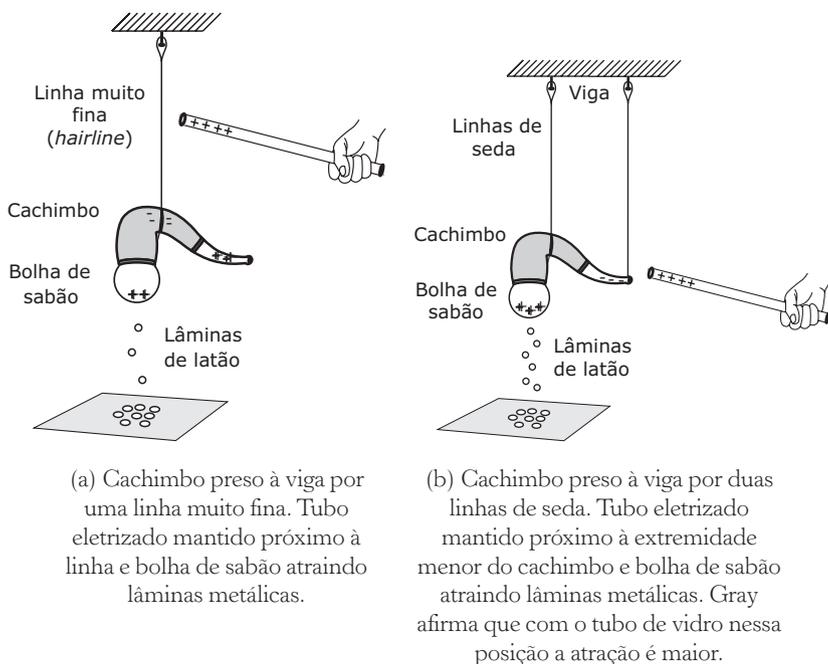


Figura 7.21 – Ilustração do cachimbo preso à viga por uma linha muito fina ou por duas linhas de seda. Na figura há uma representação qualitativa das cargas elétricas. Figura adaptada de Assis (2010, p.250; Figura B16).

Em 8 de abril de 1730, fiz o experimento a seguir com um garoto entre 8 e 9 anos de idade. Seu peso, com roupa, era de 47 libras e 10 onças [21,6 kg]. Pendurei-o na posição horizontal, por [meio de] duas linhas muito finas, como [aquelas] em que roupas são secas. Elas tinham aproximadamente 13 pés de comprimento [4 m], com laços em cada ponta. Havia fixado na viga do meu quarto, que tinha 1 pé [30 cm] de espessura, um par de ganchos [colocados] um de frente para o outro, e a 2 pés [60 cm] desses [foi colocado] outro par, da mesma maneira. As linhas foram penduradas nesses ganchos pelos seus laços, de modo a ficar na forma de dois balanços; a parte de baixo [estava] pendurada a cerca de 2 pés [60 cm] do chão

do quarto. Então, o menino foi pendurado nessas linhas com a face voltada para baixo, uma das linhas foi colocada embaixo do peito dele, e a outra [p.40] embaixo das suas coxas.⁷⁴ Em seguida, as lâminas de latão foram colocadas em um suporte, que era uma tábua redonda de 1 pé [30 cm] de diâmetro, com papel branco colado nela, apoiada sobre um pedestal de 1 pé [30 cm] de altura, o qual frequentemente utilizo em outros experimentos, embora ainda não o tenha mencionado. Ao atritar o tubo e mantê-lo próximo aos pés [do garoto] sem tocá-los, as lâminas de latão foram atraídas pela face do menino com muito vigor, de modo a subir até a altura de 8 [20,3 cm], algumas vezes 10 polegadas [25,4 cm]. Coloquei muitas lâminas juntas sobre a tábua, e quase todas subiram juntas ao mesmo tempo. Então, o menino foi colocado com a face voltada para cima, [dessa forma] a parte de trás da cabeça dele, que tinha cabelos curtos, atraiu [as lâminas], mas não a tão grande altura como sua face tinha atraído. Em seguida, as lâminas de latão foram colocadas embaixo dos seus pés; ele estava com sapatos e meias. O tubo foi colocado perto da cabeça dele, e seus pés atraíram, mas não, em geral, a tão grande altura quanto a sua cabeça. Então, as lâminas de latão foram colocadas novamente sob a sua cabeça, e o tubo [foi] mantido sobre ela, mas não houve nenhuma atração, nem houve qualquer [atração] quando as lâminas de latão foram colocadas embaixo dos seus pés e o tubo mantido sobre eles.

Em 16 de abril, repeti o experimento com o garoto, mas agora a atração não foi tão forte quanto inicialmente, as lâminas não subiram mais do que 6 polegadas [15,2 cm], aproximadamente. As mãos [do garoto] foram esticadas quase na horizontal; coloquei um pequeno suporte com lâminas de latão embaixo de cada mão, e embaixo de sua face [coloquei] o suporte grande, montado como os outros. Quando o tubo excitado foi colocado próximo aos pés [do garoto], houve uma atração pelas suas mãos e face ao mesmo tempo. Então, dei a ele a ponta de uma vara de pesca para que seguisse; havia uma [p.41] bola de cortiça presa na extremidade menor dela, sob a qual as lâminas de latão foram colocadas. O tubo foi atri-

74 Ver Figura 7.22.

tado e colocado próximo aos seus pés; a bola atraiu as lâminas para a altura de 2 polegadas [5 cm] e repeliu-as, atraindo-as várias vezes seguidas com bastante vigor.

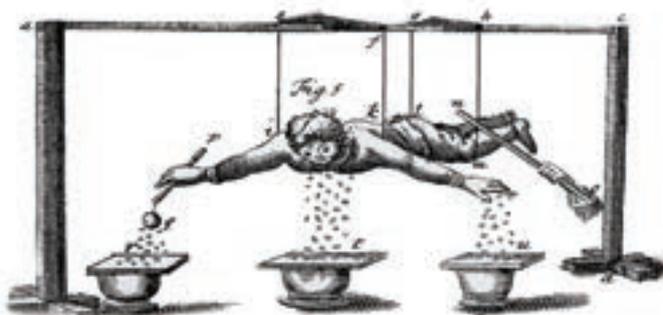


Figura 7.22 – Ilustração dos experimentos de Gray com o garoto suspenso por linhas muito finas. Um tubo de vidro atritado é mantido próximo a suas pernas. As mãos e o rosto do garoto atraem lâminas de latão. Figura extraída de Doppelmayer (1774); também disponível em Heilb (1979, p.247).

Em 21 de abril, repeti o experimento com o garoto, e agora ele atraiu muito mais forte do que antes. As lâminas de latão subiram para sua face a uma altura de mais de 12 polegadas [30,5 cm]. Então, dei ao garoto para segurar, em cada mão, a ponta de duas varas de pesca, com uma bola de cortiça em cada uma das extremidades menores. Um pequeno suporte foi colocado sob cada bola, com as lâminas de latão sobre eles [isto é, sobre cada um dos suportes]. O tubo foi atritado e mantido próximo aos pés do garoto; ambas as cortiças atraíram e repeliram juntas fortemente. O comprimento de cada uma das varas era de aproximadamente 7 pés [2,1 m]. Então, o garoto foi colocado em seu lado esquerdo, e foi dada a ele uma vara de pesca, de aproximadamente 12 pés [3,6 m] de comprimento, para segurar com as duas mãos. Na ponta da vara havia uma pequena bola de cortiça, que tinha 1 polegada e $\frac{3}{4}$ [4,4 cm] de

diâmetro. Todas as coisas foram preparadas e o tubo [foi] mantido próximo aos pés do garoto, [com isso] a bola de cortiça atraiu e repeliu as lâminas de latão com força à altura de no mínimo 2 polegadas [5 cm].

Note que, quando falei em manter o tubo próximo aos pés do garoto, quis dizer defronte à sola dos pés; e, quando [disse] próximo a sua cabeça, deve ser entendido a coroa da sua cabeça. Pois quando o tubo é mantido acima [*above*], ou sobre [*over*] suas pernas, a atração não é tão fortemente comunicada para as outras partes do seu corpo.⁷⁵



Figura 7.23 – Representação do experimento de Gray. Figura extraída de Nollet (1754).

75 Estes experimentos de Gray ficaram famosos na época. Uma ilustração sobre eles foi utilizada por Jean Antoine Nollet (1700-1770) no frontispício de seu livro *Essai sur l'Électricité des Corps* (Assis, 2010, p.259). Ver Figura 7.23.

[p.42] Por [meio] desses experimentos, verificamos que animais recebem uma grande quantidade de eflúvios elétricos e que eles podem ser transmitidos a partir [dos animais] por vários caminhos diferentes ao mesmo tempo e por distâncias consideráveis, onde quer que eles encontrem uma passagem adequada para suas transmissões, e lá exercem o seu poder de atração.

Nesses experimentos, além do grande suporte mencionado anteriormente,⁷⁶ [também] utilizei dois suportes pequenos, os quais, como os julgo muito úteis, não pode ser inapropriado descrever. As extremidades superiores deles têm 3 polegadas [7,6 cm] de diâmetro; são sustentados por uma coluna de aproximadamente 1 pé [30 cm] de altura; e suas bases têm aproximadamente 4,5 polegadas [11,4 cm]. Eles foram feitos de *lignum vitae*.⁷⁷ Suas extremidades superiores e suas bases [foram] feitas para parafusar, por causa da conveniência para o transporte. Sobre as extremidades superiores foi colado papel branco. Quando as lâminas de latão são colocadas sobre qualquer um desses suportes, percebo que elas são atraídas para uma altura muito maior do que quando [são] colocadas sobre uma mesa, e no mínimo três vezes mais alto do que quando colocadas no chão de um quarto.^{78,79}

Em 20 de junho, fiz o experimento a seguir, mostrando que a atração e a repulsão são tão fortes, se não mais fortes, e que os eflúvios podem ser levados para grandes extensões sem tocar a linha pelo tubo.

Pegamos uma linha de barbante [*line of packthread*] de 231 pés [69,3 m] de comprimento, que foi apoiada em duas linhas cruzadas de seda azul, [sendo que] a distância [entre] essas linhas [de seda] era de aproximadamente 18 pés [5,4 m]. Aproximadamente 4 pés

76 Tábua com 30 cm de diâmetro apoiada sobre um pedestal com 30 cm de altura.

77 Espécie de madeira, também conhecida como *guáiaaco*.

78 Gray está apresentando aqui o que talvez seja a descrição mais antiga do chamado “poder das pontas” ou “efeito das pontas” (Assis, 2010, p.262-264, “Seção B.9: Descoberta do Efeito das Pontas”).

79 Aqui, Gray não reporta o material de que a mesa e o chão são feitos, por isso não é possível uma discussão acerca dessa diferença de atração descrita.

[1,2 m] abaixo de uma dessas linhas [de seda] foi colocada outra linha de seda da mesma cor, sendo que nessa [última linha de seda] foi amarrada uma das pontas do barbante [e] na outra ponta [do barbante foi] pendurada a bola de marfim. A linha [de comunicação] foi retornada sobre [p.43] as linhas cruzadas treze vezes,⁸⁰ então as lâminas de latão foram colocadas embaixo da bola [de marfim], em um dos pequenos suportes, e o tubo [foi] excitado. A bola atraiu e repeliu à altura de um diâmetro seu, que era de aproximadamente 1 polegada e $\frac{1}{4}$ [3,2 cm].

Tenho encontrado, em vários testes realizados ultimamente, que atritando o tubo e colocando-o em vários lugares entre os retornos da linha, antes de ir com o tubo para a extremidade da linha, isso facilita bastante e provoca atração muito mais rápido do que quando alguém fica com o tubo e o aplica apenas na extremidade da linha.

Em meados de julho, fui para o interior do país [Inglaterra] e, em primeiro de agosto, [na casa do] Sr. Wheeler [em Otterden-Place], fizemos o experimento a seguir, que foi uma tentativa de verificar quão distante a virtude elétrica poderia ser levada adiante em uma linha sem tocá-la.

Este experimento foi feito levando a linha [de comunicação] para fora da janela da grande sala para o jardim e ao longo do grande campo em frente a ele. A linha estava apoiada por quinze pares de estacas; cada par tinha uma linha de seda azul amarrada de uma estaca até a outra, [com] o comprimento de aproximadamente 4 pés [1,2 m], igual à distância [entre] as duas estacas. Aproximadamente 10 pés [3 m] da janela havia uma linha de seda colocada de forma cruzada na sala, na qual [estava] aquela parte pendurada da linha [de comunicação] que tinha a bola de marfim. Abaixo da linha cruzada do par de estacas mais distante foi colocada outra linha cruzada, 4 pés [1,2 m] acima da terra, na qual foi presa a outra ponta da linha de comunicação, como mencionado no experimento anterior. Então, as lâminas de latão e o tubo foram preparados [p.44] como de costume. O tubo foi mantido sobre a linha em várias distâncias, começando

80 Isto é, foram feitos treze retornos na linha de comunicação.

por aquela extremidade onde a bola [estava] pendurada e prosseguindo em direção à extremidade mais distante da linha. As lâminas de latão foram atraídas muito fortemente nas posições que não excediam 200 [60 m] ou 300 pés [90 m], mas [a atração] tornou-se mais fraca à medida que nos dirigíamos à extremidade mais distante da linha. No entanto, mesmo na extremidade da linha as lâminas de latão eram levantadas pela bola quando o tubo tocava a linha, cujo comprimento era de 886 pés [266 m].

Deveria fornecer agora alguma descrição da descoberta que fiz no ano passado a respeito da atração de corpos coloridos, mostrando que eles atraem mais ou menos, de acordo com suas cores, embora o material seja o mesmo, e tenha o mesmo peso e tamanho. Só observarei que descobri que o vermelho, laranja ou amarelo atraem no mínimo três ou quatro vezes mais fortemente que o verde, o azul ou o violeta. Mas, tendo recentemente descoberto um método novo e mais preciso para fazer estes experimentos, devo pedir licença para prosseguir com eles antes de comunicá-los. Eu sou,

Senhor, Seu Humilde Servidor,

Stephen Gray.

Charterhouse, 8 de fevereiro de 1730/1.

8

ARTIGO 4 – UMA CARTA A RESPEITO DA ELETRICIDADE DA ÁGUA, DO SR. STEPHEN GRAY PARA CROMWELL MORTIMER, M. D. SECR. R. S.

Senhor,^{1,2,3}

A aprovação recebida pela comunicação anterior [sobre] meus experimentos elétricos para a Royal Society (*Philosophical Transactions* n. 417) [Gray, 1731c, p.18-44], pelos seus mais generosos encorajamentos, foi um grande incentivo para que eu desse continuidade a eles, para verificar quais descobertas adicionais posso fazer sobre o assunto dessa espécie de atração. Neste momento, comunicarei somente dois experimentos. O primeiro mostrando que a água pode ter uma virtude atrativa comunicada para ela a partir de um corpo elétrico. O outro, [mostrando] que a água é não apenas atraída pelo tubo [de vidro eletrizado] ou por qualquer outro corpo totalmente elétrico, mas que essa atração ocorre com várias circunstâncias notáveis.

1 Tradução de Gray (1731-2a, p.227-230).

2 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

3 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p.] indicam a página original do texto em inglês.

I. Na apresentação anterior dos meus experimentos, descrevi uma maneira de comunicar uma atração para uma bolha de água com sabão.⁴ Mas agora encontrei que até mesmo um corpo de água recebe uma virtude atrativa e também uma virtude repulsiva pela aplicação do tubo excitado próximo a ele, da mesma maneira que adquirem os corpos sólidos.⁵ Para executar este experimento girei um prato [*dish*] de madeira [para fazer] um buraco com rosca no fundo, de forma que [o buraco] não atravessasse a madeira. Este [prato] foi parafusado na extremidade superior de um dos suportes que tenho mencionado em outros experimentos, sendo retirada a outra extremidade superior.⁶ O prato tinha aproximadamente [p.228] 4 polegadas [10,2 cm] de diâmetro e 1 polegada [2,54 cm] de profundidade. Então, o suporte foi fixado sobre um pedaço de resina, ou sobre uma placa de vidro, ou sobre a borda de um copo [*drinking-glass*], ou sobre um copo cilíndrico, tais como são utilizados para copos de água [*water glasses*]. O vidro deve ser inicialmente aquecido, então o prato é enchido com água. O tubo atritado é movimentado embaixo do prato e em cima da água três ou quatro vezes, sem tocá-los.⁷ Depois de ter sido excitado, não só o prato, mas também a água

4 Gray pendurou um cachimbo por meio de uma linha isolante, de forma que ficasse suspenso na posição horizontal e com a boca do forninho para baixo. Então, mergulhou o cachimbo em uma solução de sabão e água e assoprou uma bolha, colocando lâminas de latão em um suporte abaixo dela. O tubo de vidro eletrizado foi colocado próximo à linha isolante; dessa forma, as lâminas foram atraídas (ver Figura 8.1a). Em outro experimento, o cachimbo foi pendurado por meio de duas linhas de seda e o tubo atritado foi colocado próximo à extremidade menor do cachimbo, sendo que as lâminas também foram atraídas (ver Figura 8.1b). Esse experimento foi descrito por ele no artigo Gray (1731-2c, p.389; neste livro encontra-se à no capítulo anterior).

5 Grifo do autor. Ou seja, assim como um sólido pode receber uma virtude atrativa ou repulsiva pela aproximação de um tubo de vidro eletrizado, o mesmo pode ocorrer com um volume de água.

6 *Top*, no original em inglês. Gray parece estar se referindo a algum outro objeto que estava preso à parte superior do suporte nas experiências anteriores.

7 Uma ilustração desse procedimento pode ser vista na Figura 8.2.

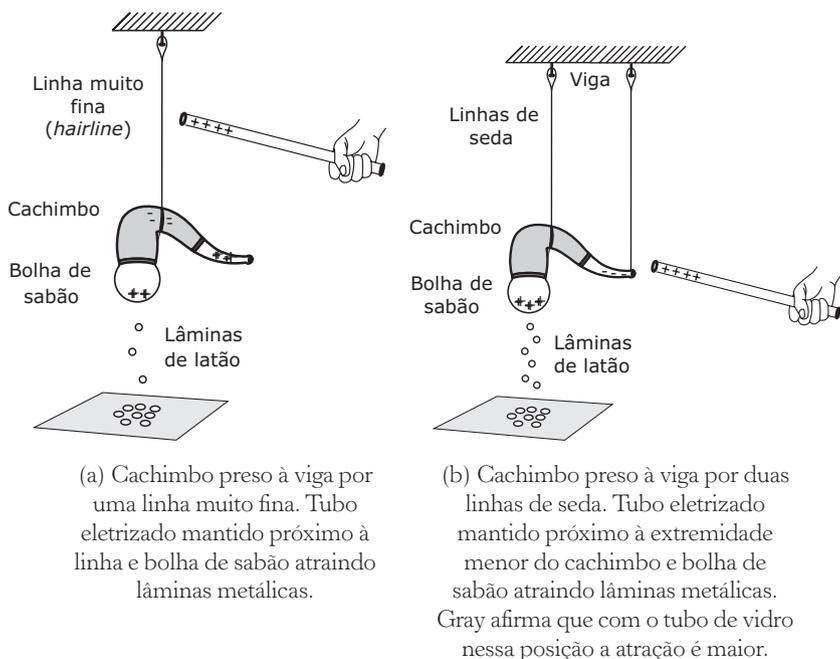


Figura 8.1 – Ilustração do cachimbo preso à viga por uma linha muito fina ou por duas linhas de seda. Na figura há uma representação qualitativa das cargas elétricas. Figura adaptada de Assis (2010, p.258; Figura B16).

torna-se elétrica.⁸ E se um pequeno pedaço de linha,⁹ ou uma estreita tira de papel fino, ou um pedaço de folha de latão [*sheet-brass*], geralmente chamado de ouropel,¹⁰ for mantido sobre a água em uma posição horizontal,¹¹ dentro de aproximadamente 1 polegada

8 Uma ilustração de como Gray pode ter concluído que o prato com água havia se eletrizado encontra-se na Figura 8.3.

9 *Thread*, no original. Provavelmente trata-se de um pequeno pedaço de uma linha de algodão ou de linho. Esses materiais comportam-se como condutores nas experiências de eletrostática usuais.

10 *Tinsel*, no original. Uma tira ou folha delgada de latão.

11 Provavelmente, esses materiais (pedaço de linha, tira de papel ou folha de latão) são mantidos na horizontal ao ficarem presos por algum isolante elétrico.

[2,54 cm] ou algumas vezes mais, qualquer um dos corpos citados¹² será atraído para a superfície da água e será repellido, mas não tão frequentemente como por [corpos] sólidos. Se uma *linha pendular*¹³ for colocada a certa distância do lado de fora do prato, ela será atraída e repelida [pelo prato] muitas vezes seguidas com um movimento muito rápido,¹⁴ mas não a uma distância tão grande como quando o prato está vazio.¹⁵

12 Todos os corpos aqui citados (linha de algodão, tira de papel e lâmina de latão) comportam-se como condutores.

13 O que estamos traduzindo como linha pendular aparece como *pendulous thread* no original.

14 Gray não especificou de que material foi feita essa linha pendular. Contudo, nesse exemplo em particular, afirma que a linha pendular “será atraída e repelida [pelo prato] muitas vezes seguidas com um movimento muito rápido”. Para que ocorra esse movimento repetido de atração e repulsão, o que nos parece mais provável é que essa linha pendular seja similar ao pêndulo elétrico que descreveu em 1720 (Gray, 1720-1, p.107; ver Capítulo 6 deste livro). Isto é, uma vareta de madeira tinha uma fina linha de seda presa a sua ponta. Na extremidade inferior da linha de seda era presa uma penugem. Gray segurava a vareta com a mão, e a linha de seda ficava na vertical, com a penugem na extremidade inferior. Embora a vareta de madeira comporte-se como um condutor, isso não é relevante nesse caso. Os aspectos cruciais são que a linha de seda comporta-se como um isolante, enquanto a penugem comporta-se como um condutor. Pode ser obtida uma sequência de atrações e repulsões com um pêndulo elétrico ao colocá-lo entre um corpo eletrizado e um condutor aterrado (Assis, 2010, p.88-89; Experiência 4.15). No caso específico desta experiência de Gray, a penugem de seu pêndulo elétrico seria mantida na mesma altura do prato eletrizado pela linha de seda. A penugem ficaria entre o prato eletrizado e um corpo aterrado, que vamos supor que seja um dedo de uma das mãos de Gray. Ao aproximar o pêndulo do prato eletrizado, a penugem é atraída pelo prato, toca nele, adquire uma carga de mesmo sinal que o prato, passa a ser repelida por ele, toca no dedo de Gray que está do outro lado da penugem, sendo então descarregada nesse aterramento. Ela, então, volta a ser atraída pelo prato eletrizado, e todo o procedimento se repete. Esse movimento vibratório de atração e repulsão continuará até que o prato tenha sido descarregado, quando então deixará de atrair a penugem (ver Figura 8.3).

15 Nesse experimento, provavelmente, o suporte é de madeira. Sendo assim, a não ser pela base de resina, que é isolante, os outros corpos, isto é, a água, o prato e o suporte, são condutores elétricos. Com isso, é possível que o tubo tenha eletrizado não somente a água, mas todo o conjunto. A eletrização provavelmente ocorreu devido a faíscas ou pequenas descargas elétricas entre o tubo de vidro eletrizado e a água.

II. Um experimento mostrando que a água é atraída pelo tubo e que a atração é acompanhada de vários fenômenos notáveis e surpreendentes.

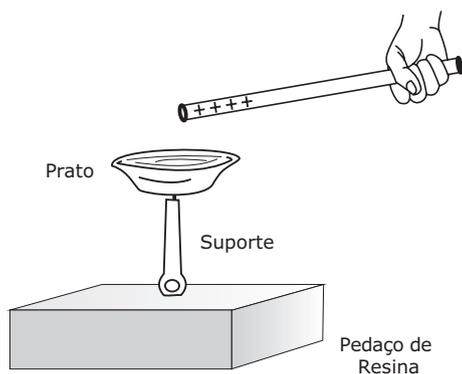


Figura 8.2 – Prato com água fixado ao suporte que está sobre um pedaço de resina. Movimenta-se o tubo eletrizado tanto por cima da água quanto por baixo do prato, sem que o tubo toque o prato ou a água.

Esse experimento deve ser feito com pequenas quantidades de água. Primeiro, usei algum dos pequenos pratos côncavos de latão, em que anteriormente poli [lentes de] microscópios. Desde então fiz um aparato mais conveniente, que consiste em um pequeno pedestal de aproximadamente 4,5 polegadas [11,4 cm] de comprimento, e base de marfim com aproximadamente 2 polegadas [5 cm] de diâmetro. Sobre a extremidade superior, como no suporte maior, há uma rosca, [p.229] sobre a qual é parafusado um dos pequenos pratos (*dishes*) que são feitos de marfim. Destes tenho vários tamanhos, com diâmetros [que variam] de $\frac{3}{4}$ a 0,1 de polegada [2 a 0,2 cm]. Quando qualquer um desses pequenos recipientes é enchido com água, de modo que ela possa ficar acima da borda do copo [*cup*]¹⁶ e tenha adquirido uma superfície esférica (como ela fará nos copos menores), deixe-o imóvel

16 Aparentemente, Gray está se referindo ao mesmo objeto quando diz prato (*dish*) e copo (*cup*).

sobre a mesa com o pequeno suporte ao qual tinha sido parafusado anteriormente. Ou [ainda], [o] que é melhor, sobre o suporte maior mencionado anteriormente, sendo retirado o prato grande¹⁷ e sendo parafusado [no suporte] a pequena extremidade superior plana [*small plain top*]. Estando tudo preparado dessa forma, seja o tubo excitado e colocado sobre a água à distância de aproximadamente 1 polegada [2,54 cm] ou mais.¹⁸ Se for um tubo grande, inicialmente levantará uma pequena montanha de água a partir do topo da água que está acima da borda do recipiente [*top of the drop*], tendo uma forma cônica. A partir do vértice [da montanha de água] procede uma luz (muito visível quando o experimento é realizado em um quarto escuro) e um barulho [estalido], quase como aquele [emitido] quando os dedos são colocados próximos ao tubo, mas não tão alto, e de um som mais grave [*flat sound*]. Logo após isso acontecer, a montanha, se posso chamá-la assim, cai dentro do restante da água, e a coloca em movimento trêmulo e ondulatório. Alguns dias depois repeti esse experimento de dia, enquanto a luz do Sol ainda brilhava. Percebi que pequenas partículas de água eram lançadas para fora do topo da montanha e que, às vezes, surgia uma corrente muito fina de água a partir do vértice do cone, na forma de uma fonte, da qual saía uma fina exalação, ou vapor, cujas partículas eram tão pequenas que não podiam ser vistas. Mas é certo que tem de ser assim, já que a parte de baixo do tubo estava molhado, como percebi quando fui atritá-lo novamente. Notei, desde então, que embora não surja [p.230] sempre aquele filete de água, ainda assim sempre há um vapor de partículas invisíveis lançadas sobre o tubo, e às vezes [em uma] intensidade para serem visíveis sobre ele. Quando são utilizados alguns dos grandes copos, eles devem ser preenchidos o mais alto possível sem derramar. A superfície será plana aproximadamente na parte central [do grande recipiente]. Mas, quando o tubo é colocado sobre ela [isto é, sobre a superfície], a parte central é comprimida [de forma a ficar] côncava, e as partes

17 Supõe-se que seja o prato citado no Experimento I e que ainda estivesse preso ao suporte.

18 Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 8.4. Supomos que sobre o plano é colocado um dos pequenos pratos de marfim.

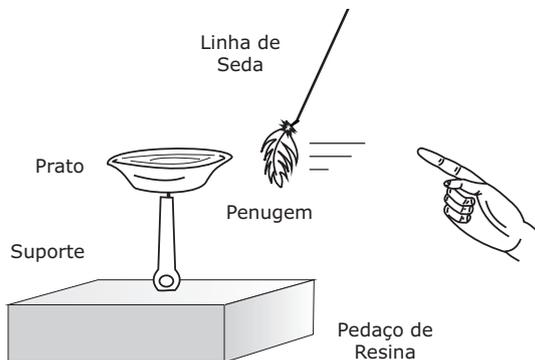


Figura 8.3 – Depois que o prato com água estiver eletrizado, uma penugem condutora presa a uma linha de seda isolante é colocada nas proximidades do prato, ficando entre o prato e um dedo aterrado do outro lado. A penugem será então atraída pelo prato, ficará eletrizada ao tocar nele, sendo repelida. Ela é descarregada ao tocar no dedo do outro lado, sendo então todo o procedimento repetido até que o prato tenha sido descarregado.

na direção da borda são levantadas.¹⁹ E quando o tubo é colocado de frente à borda da água [*over against the side of the water*], a pequena protuberância cônica de água sai com seu eixo na horizontal.²⁰ Depois do barulho [estalido], [a protuberância cônica] retorna para o restante da água, e às vezes saem dela pequenas partículas, como a partir das menores porções de água mencionadas anteriormente. Eu sou,

o mais obediente servidor
do Senhor e da Sociedade.

Stephen Gray.

Charterhouse, 20 de janeiro de 173½.

19 Provavelmente, o tubo eletrizado foi colocado sobre a borda do copo cheio de água. A água das bordas é atraída pelo tubo, fazendo com que a água na parte central se abaixe em relação à sua altura normal quando o tubo está afastado.

20 Provavelmente, o tubo foi colocado na mesma altura que a borda. Ao aproximar horizontalmente o tubo do copo, a protuberância passa a apontar lateralmente para o tubo ao ser atraída por ele.

Adendo²¹

O último experimento foi repetido com água quente, quando a água foi atraída muito mais fortemente e a uma distância muito maior. O vapor saindo do vértice foi, nesse caso, visível, e o tubo foi pulverizado com grandes gotas de água. Testei o experimento da mesma maneira com mercúrio, o qual foi da mesma forma levantado, mas, devido ao seu grande peso, não a uma altura tão grande quanto a água. O barulho [estalido] foi mais alto e durou muito mais do que na água.

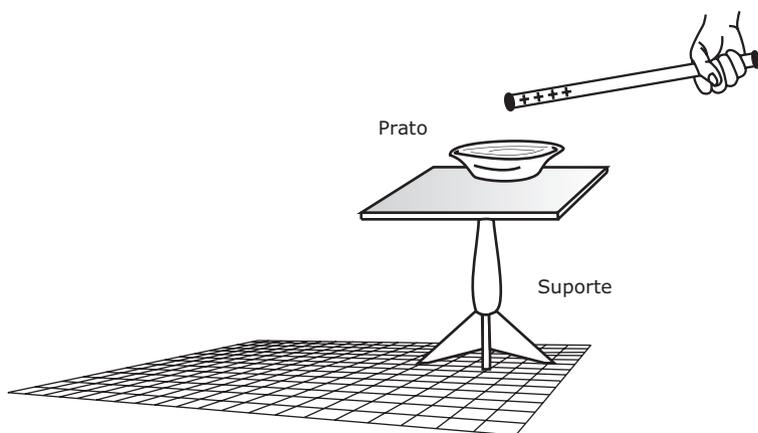


Figura 8.4 – Suporte com base de marfim e com o pequeno plano parafusado na parte superior. Sobre o plano está o pequeno prato de marfim preenchido com água; sobre a água, o tubo de vidro eletrizado.

21 Na página 260 do periódico há um adendo relativo à página 230.

9

ARTIGO 5 – UMA CARTA DO SR. STEPHEN GRAY PARA O DR. CROMWELL MORTIMER, SECR. R. S. CONTENDO DESCRIÇÕES ADICIONAIS DE SEUS EXPERIMENTOS A RESPEITO DA ELETRICIDADE

Charterhouse, 7 de junho de 1732.^{1,2,3}

Senhor,

Desde meu último [artigo] (*Philosophical Transactions*, n. 422) [Gray, 1731-2a, p.227-30], no qual dei uma descrição de meus experimentos mostrando [que a] água é atraída por corpos elétricos e que ela pode ter uma virtude elétrica comunicada para ela, de forma a atrair corpos sólidos, tenho [me dedicado] a outra investigação, [a saber:] não poderia ser encontrado um meio para tornar mais permanente nos corpos essa propriedade de atração elétrica? O quanto tenho tido sucesso nessa tentativa [será] mostrado pelos experimentos [que] tenho feito sobre vários corpos mencionados na tabela a seguir.⁴ E, como todos eles foram preparados da mesma maneira, exceto os de número 18 e 19, que serão descritos posteriormente,

1 Tradução de Gray (1731-2b, p.285-291).

2 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

3 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p.] indicam a página original do texto em inglês.

4 Ver Tabela 9.1, ao final do capítulo.

pode ser suficiente uma descrição geral do método de preparo e de preservação deles no estado de atração.

Os corpos em que os experimentos foram feitos eram: resina [*rosin*] (ambas, preta e branca), asfalto pétreo [*stone-pitch*],⁵ goma-laca em folhas [*shell-lac*]⁶ ou goma-laca [*gum-lac*], cera de abelhas [*bees-wax*] e enxofre. Adquiri três conchas de ferro de vários tamanhos, nas quais derreti essas substâncias, utilizando aquela que pensava [ser] mais conveniente para a quantidade que planejei derreter. Quando qualquer um desses corpos era derretido, ele era [p.286] retirado do fogo e colocado de lado na concha, para esfriar e endurecer. Então, voltava-o ao fogo, onde permanecia até que eram derretidos o fundo e as laterais [em contato com] a concha, a fim de ficarem móveis, de modo que, pela inversão da concha, ele poderia ser retirado, tendo quase a forma da seção de uma esfera, sendo a superfície convexa, bem como a plana, naturalmente polidas (se assim posso dizer). A exceção é o enxofre, que esfria sem manter seu polimento, exceto quando fundido em recipiente de vidro, como será mostrado posteriormente. Agora, prosseguirei para os experimentos e observações feitos sobre esses corpos elétricos.

Quando qualquer um [dos corpos] era retirado da concha e sua superfície convexa endurecida, a princípio ele não atraía, até que o calor [*heat*] fosse reduzido ou até chegar a um certo grau de aquecimento [*warmth*], e então havia uma pequena atração. Estimei esse aquecimento como sendo próximo àquele de um ovo de galinha quando posto há pouco. A atração ia aumentando assim até que, quando frio, [o corpo era capaz de] atrair no mínimo dez vezes mais distante do que inicialmente.

A maneira de preservá-los no estado de atração foi embrulhá-los em qualquer coisa que os manteria [isolados] do ar externo. Inicialmente para os corpos menores utilizei papel branco, mas para os maiores [utilizei] flanela branca. Mais tarde, descobri que meias de

5 *Pitch* ou *piche* é uma resina preta obtida a partir de diversas árvores coníferas, como os pinheiros.

6 *Shell-lac* ou *goma-laca* em folhas é uma resina em camadas feita da secreção de alguns insetos, como a cochonilha-da-laca.

lã preta funcionavam igualmente bem. Sendo assim revestidos, eles foram colocados dentro de uma grande caixa de abeto,⁷ [e] ali permaneceram até que tive a oportunidade de utilizá-los.

O cilindro de enxofre, número 18,⁸ foi feito pelo derretimento de enxofre e, [então] derramando-o dentro de um recipiente cilíndrico de vidro, que havia sido previamente aquecido para evitar que se quebrasse. Quando o enxofre foi endurecido, ele [p.287] estava um pouco menor do que o vidro, de forma que, pela inversão do vidro, ele saiu facilmente; tinha uma superfície polida quase tão lisa quanto o vidro no qual ele fora fundido. O cone grande de enxofre, número 19,⁹ foi feito da mesma maneira, a saber, sendo fundido em um grande copo de vidro.

Agora, estou para dar uma descrição das observações feitas sobre os vários corpos mencionados na tabela,¹⁰ mas devo primeiro dar uma descrição da própria tabela. A primeira coluna contém o número, que, em um pequeno pedaço de papel, é fixado em cada um dos vários corpos. O nome é dado na segunda coluna [e indica] se eles são substâncias simples ou compostas. A terceira coluna mostra que peso eles tinham quando [eram] derretidos, em onças e dracmas¹¹ [no sistema] de peso Averdupois.¹² Na quarta coluna você tem os dias do mês em que o corpo foi derretido e recebeu sua forma e, conseqüentemente, quando começou a atrair.

Por trinta dias continuei a observar cada um desses corpos e descobri que, no final desse período, eles atraíam tão vigorosamente quanto no primeiro ou no segundo dia, como eles fazem agora na escrita deste [texto]. Pelos tempos mencionados na tabela, sendo subtraído de qualquer tempo posterior, será encontrado por quanto tempo qualquer um dos corpos tem mantido sua virtude atrativa.

7 Madeira de um tipo de pinheiro.

8 Ver Tabela 9.1.

9 Idem.

10 Idem.

11 Uma onça é equivalente a 28,35 g. Um dracma é equivalente a um oitavo de onça, ou 3,54 g.

12 *Averdupois*, agora grafado *Avoirdupois*, é um sistema de medidas.

Por esse procedimento aparecerá que alguns deles não têm perdido sua atração por mais de quatro meses.¹³ De modo que temos alguma razão para acreditar que agora descobrimos que existe um poder perpétuo de atração em todos os corpos elétricos, sem [a necessidade de ser] excitado por fricção, batidas etc. ou qualquer outro [tipo de] atrito. Mas isso aparecerá de forma mais evidente pelas descrições que vou dar agora dos dois [p.288] últimos corpos mencionados na tabela. O cone de enxofre, número 19, que foi fundido em um grande copo de vidro, atraiu aproximadamente duas horas depois de ter sido retirado do vidro, e o vidro atraiu também, mas a uma distância pequena. No dia seguinte, o enxofre foi retirado do vidro, e então ele atraiu fortemente, mas agora não existia nenhuma atração perceptível do vidro. O cone de enxofre foi então colocado com sua base sobre a tampa da caixa de abeto, dentro da qual estavam os outros corpos elétricos, e o vidro sobreposto a ele.¹⁴ Verifiquei-o todos os dias depois [disso], e ainda o encontrei a atrair.¹⁵ Mas não achei

13 Esta carta é datada de 7 de junho de 1732. Com base nesse parágrafo, temos a impressão de que a Tabela 9.1 refere-se a 1732, já que Gray afirma que as substâncias mantiveram seu poder atrativo por mais de 4 meses (isto é, de 31 janeiro de 1732, dia em que as primeiras substâncias foram derretidas de acordo com a tabela, a 7 de junho de 1732, dia em que a carta foi escrita). De outro lado, Du Fay (1734, p.342), ao discutir esses experimentos, diz que os corpos nos experimentos que Gray aborda nesta carta mantiveram seu poder atrativo por um ano e meio após os primeiros experimentos. Ele diz: “O Sr. Gray embrulhava esses diferentes corpos em papel, em flanela ou qualquer outro material similar, e, assim, eles mantiveram sua eletricidade por vários meses, e até mesmo até a época em que ele escreveu [a carta], que foi cerca de um ano e meio após suas primeiras experiências” (Du Fay, 1734, p.342, tradução nossa). Logo, ele interpretou que a tabela refere-se a 1731. Provavelmente a interpretação de Du Fay deveu-se à data em que o artigo saiu publicado, a saber, no volume 37 da *Philosophical Transactions*, relativo aos anos 1731-1732. Apesar disso, entendemos que o ano correto da tabela é 1732, tendo em vista a declaração de Gray, segundo a qual o poder atrativo durou mais de 4 meses.

14 Isto é, Gray colocou novamente o copo de vidro sobre o cone de enxofre.

15 Gray está se referindo ao enxofre.

o lugar tão conveniente, tendo de examinar dentro da caixa frequentemente.¹⁶ Eu o transferi para a mesa que fica entre as duas janelas do meu quarto, onde tem continuado até o momento. E, sempre que o vidro é retirado, [o enxofre que estava coberto por ele] atrai quase a tão grande distância quanto o enxofre, que está revestido e fechado dentro da caixa [de abeto] mencionada acima. E, embora na primeira [tentativa] não tenha ocorrido atração [pelo vidro] quando o vidro foi retirado [do enxofre que envolvia], encontro que com tempo bom o vidro também atrai.¹⁷ Mas não a tão grande distância quanto o enxofre, que nunca falha em atrair, podendo o vento ou o clima ser bem variáveis, assim como atraem todos os outros corpos mencionados na tabela. Apenas em tempo úmido as atrações não são produzidas a tão grande distância como em tempo bom.

O número 20 é um bolo de enxofre que foi derretido, e, como os outros corpos tomou a forma de uma seção convexa de uma esfera.¹⁸ Este, quando frio, foi colocado com o lado plano da sua superfície para baixo, sobre a mesma mesa com o cone de enxofre. Ambos foram colocados bem perto da parede, a fim de evitar a luz do Sol brilhando sobre eles. Isso ocorreu, como a tabela mostra, no dia 18 [p.289] de abril.¹⁹ E, embora não estivesse coberto ou revestido de qualquer maneira, tem atraído desde então. E neste, como em outros corpos, a atração será de acordo com o clima.²⁰ Mas quando ele atrai da forma mais intensa, isso não é mais do que a décima parte do que atrai o cone de enxofre que está coberto.

16 Provavelmente, Gray continuava testando os corpos que havia deixado dentro da caixa para ver se ainda atraíam corpos leves. Logo, o cone de enxofre em cima da caixa atrapalhava um pouco essa atividade, motivo pelo qual resolveu retirar o cone dali.

17 Isto é, ao retirar, depois de alguns dias, o vidro que estava ao redor do enxofre, Gray descobriu que o vidro conseguia atrair corpos leves ao se aproximar deles.

18 Obteve essa forma por ter sido fundido em uma das três conchas de ferro.

19 Na tabela consta dia 29 de abril.

20 Estado atmosférico (*weather*).

A melhor maneira de observar essas atrações é segurando o corpo que atrai em uma mão e uma fina *linha branca*²¹ amarrada à extremidade de uma vareta na outra [mão]. Dessa forma, serão percebidos graus de atração muito menores do que utilizando lâminas de latão. Quando a linha é segurada à máxima distância, ela pode ser atraída. O movimento dela é, a princípio, muito lento, mas ainda acelera na medida em que se aproxima mais do corpo [que está] atraindo.

Estou, agora, [trabalhando] sobre o tema da atração permanente no vidro, e depois em outros corpos, mas ainda não completei esses experimentos, [pois acabei] encontrando mais interrupções em razão do clima.²²

Com uma pequena bomba de ar manual que me foi emprestada por um amigo, tenho feito experimentos com vários corpos, e percebo que eles atraem no vácuo. E isso quase que a mesma distância como no ar ambiente (pleno), desde que o experimento seja feito no mesmo recipiente preenchido com ar, como aparecerá nos experimentos a seguir.

Peguei uma esfera de vidro oca, de um pouco mais de 2,5 polegadas [6,4 cm] de diâmetro, sendo inicialmente excitada [pelo atrito]. Ela foi suspensa por um laço de seda que passou por uma pequena rolha de cortiça, com a qual o buraco na bola de vidro, por onde ela era soprada,²³ foi interrompido, e pelo laço suspensa em um pequeno gancho que foi preso ao fio de latão,²⁴ que vinha através [p.290] do colar de couro na placa de latão que cobria a parte superior do recipiente aberto, assim como no experimento de deixar cair o guinéu²⁵ e a pena no vácuo.²⁶ A bola foi então presa na parte superior

21 *White thread*, no original. Provavelmente, trata-se de uma linha de algodão ou de linho. Esses materiais comportam-se como condutores nas experiências de eletrostática usuais.

22 Estado atmosférico (*weather*).

23 Processo de fabricação de uma esfera oca de vidro por um vidreiro.

24 Uma ilustração da conformação desse experimento pode ser vista na Figura 9.1.

25 Moeda inglesa de ouro que valia 21 xelins.

26 Gray está se referindo aqui às famosas experiências nas quais uma moeda e uma pena caem com a mesma aceleração no vácuo. Elas foram feitas logo após as

[interna] do recipiente, e a parte superior do pequeno suporte, coberta com papel, foi colocada sobre o couro úmido sobre a placa da bomba [de ar], e lâminas de latão colocadas sobre o mesmo.²⁷ Então, o ar foi sugado [para fora do recipiente]. Quando a bola de vidro foi abaixada até cerca de 1 polegada [2,5 cm], ou um pouco mais, em direção aos pedaços de lâmina de latão, muitos deles foram atraídos por ela.²⁸ Então, deixou-se o ar entrar no recipiente, e lâminas de latão foram colocadas sobre o suporte, a bola estando suspensa como antes. Quando ela foi abaixada, como antes, aproximadamente à mesma distância das lâminas de latão, pareceu haver pouquíssima diferença na atração.

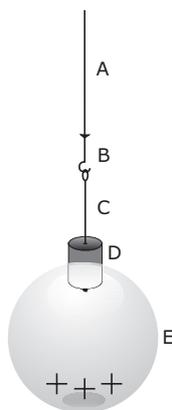


Figura 9.1 – Representação esquemática da descrição apresentada por Gray. A = fio de latão; B = gancho; C = fio de seda com laço na parte superior; D = rolha; E = esfera oca de vidro. Essa esfera foi eletrizada positivamente na parte inferior, por causa do atrito.

construções das bombas de ar para mostrar que dois corpos em queda livre caem juntos da mesma altura, levando o mesmo tempo para percorrer uma mesma distância, embora tenham pesos, formatos e composições químicas diferentes.

- 27 Uma ilustração da conformação desse experimento pode ser vista na Figura 9.2.
- 28 A distância de aproximadamente uma polegada mencionada aqui é entre a parte inferior da esfera de vidro eletrizada e as lâminas de latão.

Tenho feito os mesmos experimentos com enxofre, goma-laca em folhas, resina, e cera branca de abelhas. Estas [lâminas de latão] seriam atraídas para a altura de 1,5 polegada [3,8 cm] por estimativa. E, quando o experimento foi realizado com o recipiente cheio de ar, houve pouquíssima, se [é que houve] alguma diferença na altura da atração, quando o tempo gasto antes de a atração começar no ar ambiente foi igual [ao tempo] necessário para esvaziar o recipiente.

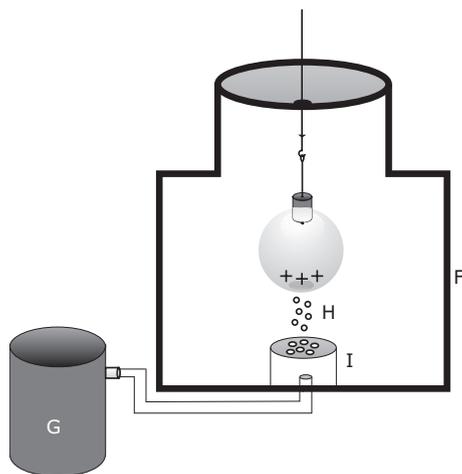


Figura 9.2 – Representação esquemática da descrição apresentada por Gray. F = recipiente que pode ser evacuado; G = bomba de ar (ou bomba de vácuo); H = pequenas lâminas de latão sendo atraídas pela esfera de vidro eletrizada quando há uma pequena distância entre a esfera e as lâminas; I = suporte coberto com papel sobre o qual são colocadas as lâminas de latão.

Senhor,

Sinta-se à vontade para comunicar estes [experimentos] à Royal Society, a quem espero que eles não serão menos aceitáveis do que algumas das minhas descobertas anteriores, que sou, Senhor, o mais obediente servidor do Senhor e da Sociedade,

Stephen Gray.

Tabela 9.1 – Vários corpos elétricos mencionados no discurso anterior

N ^o	Corpos	Peso		Mês	Dia
		onças	dracmas		
1	Resina preta fina	2	0	janeiro	31
2	Asfalto pétreo (<i>stone pitch</i>) e resina preta	2	2	janeiro	31
3	Resina fina e cera de abelhas	2	1	fevereiro	1
4	Asfalto pétreo	1	7	fevereiro	1
5	Enxofre endurecido	3	6	fevereiro	4
6	Goma-laca em folhas	10	0	fevereiro	10
7	Resina preta fina	10	4	fevereiro	11
8	Cera de abelhas e resina	9	0	fevereiro	12
9	Resina 4 <i>partes</i> e goma-laca 1 <i>parte</i>	10	0	fevereiro	12
10	Enxofre	18	0	fevereiro	15
11	Asfalto pétreo	10	12	fevereiro	16
12	Resina preta	23	0	fevereiro	23
13	Resina branca	7	12	fevereiro	25
14	Goma-laca	11	14	fevereiro	26
15	Goma-laca e resina preta <i>em partes iguais</i>	9	12	fevereiro	26
16	Goma-laca 4 <i>partes</i> , resina 1 <i>parte em partes iguais</i>	17	8	fevereiro	28
17	Goma-laca em folhas e resina preta fina <i>em partes iguais</i>	28	4	março	2
18	Um cilindro de enxofre endurecido	19	4	março	20
19	Um grande cone de enxofre endurecido	30	0	março	29
20	Um bolo de enxofre	11	4	abril	29

10

ARTIGO 6 – DUAS CARTAS DO SR. STEPHEN GRAY F. R. S. PARA C. MORTIMER, M. D. SECR. R. S. CONTENDO DESCRIÇÕES ADICIONAIS DE SEUS EXPERIMENTOS A RESPEITO DA ELETRICIDADE

10.1 Carta I

Senhor,^{1,2,3}

Conforme a minha promessa, nesta [carta] faço um relato daquilo que descobri a mais com relação à atração elétrica. Eu deveria ter feito isso mais cedo, no entanto, estava disposto a ver que outros aprimoramentos poderia fazer àqueles experimentos [após o] meu retorno a Londres, os quais foram iniciados no interior do país.

Por volta do final de agosto, estava [na casa] do Sr. Wheler. Depois de ter repetido o experimento de fazer enxofre atrair lâminas de latão no vácuo,⁴ [como o] Sr. Wheler tinha uma bomba de ar

1 Tradução de Gray (1731-2d, p.397-407).

2 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

3 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p.] indicam a página original do texto em inglês.

4 Provavelmente, Gray está se referindo ao experimento descrito no final do Artigo 5 (ver Capítulo 9), em que alguns materiais eletrizados são colocados dentro de um recipiente, no qual se faz vácuo, para verificar a atração, nessa condição, exercida por esses materiais eletrizados sobre pequenas lâminas de latão.

muito boa de formato maior, feita pelo Sr. Hauksbee,⁵ suspendemos a partir da parte de cima de um recipiente [*receiver*],⁶ o qual foi inicialmente esvaziado de ar, uma linha branca⁷ que [foi] pendurada aproximadamente no meio dele. Então, o recipiente foi bem atritado, [e] a linha foi atraída vigorosamente por ele.^{8,9} Quando ela

- 5 Note que a bomba utilizada foi feita por Hauksbee. A bomba de ar que ele desenvolveu é descrita no livro *Physico-mechanical experiments on various subjects. Containing an account of several surprizing phenomena touching light and electricity, producible on the attrition of bodies* (1709, p.14). A Figura 10.1 apresenta a bomba de ar de Hauksbee.
- 6 Boyle denominou *receiver* ao recipiente de vidro que era parcialmente evacuado por sua bomba de ar e dentro do qual eram conduzidos os experimentos (West, 2005, p.33). Como Gray não especifica o formato desse recipiente, o fizemos no formato cilíndrico nas ilustrações a seguir, mas poderíamos ter utilizado qualquer outro formato. O texto também não informa qual é o tipo de material do recipiente. Supomos que seja de vidro, do tipo daqueles utilizados comumente por Gray, o que permitiria a visualização dos fenômenos ocorridos no seu interior. Esse recipiente de vidro poderia comportar-se como um isolante elétrico.
- 7 *White thread*, no original. O texto não especifica o tipo de material dessa linha, e isso acaba gerando certa dificuldade para explicar os experimentos e fenômenos descritos aqui. Essa informação é importante, porque nos revelaria se ela é isolante ou condutor elétrico. Sendo assim, há duas possibilidades. 1) É possível que a linha seja de seda, portanto, isolante. No artigo Gray (1731-2b), último parágrafo da página 289, Gray utilizou uma linha de seda presa a uma cortiça para pendurar uma pequena esfera de vidro (ver capítulo anterior). Então, pode ser que a linha utilizada aqui seja do mesmo material. 2) Também é possível que se trate de uma linha de algodão ou de linho, que são materiais que se comportam como condutores nos experimentos de eletrostática usuais.
- 8 A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 10.2. Vamos supor que a linha seja de seda, portanto, um isolante elétrico. Nesse caso, também supomos que ela fique carregada negativamente pelo atrito com a mão de Gray, ao manuseá-la para fazer o dispositivo. Portanto, a linha está negativa antes de o vidro ser atritado, como ilustra a Figura 10.2a. Na medida em que o recipiente de vidro é atritado, ficando carregado positivamente, a linha é atraída para a parte atritada, como mostra a Figura 10.2b. Estamos supondo que o recipiente de vidro tenha sido atritado apenas em uma região, uma vez que é possível eletrizar, por meio de atrito, somente uma parte de um material isolante, mantendo-a carregada eletricamente por algum tempo. O texto não informa se a linha toca o recipiente quando é atraída por ele; entretanto, acreditamos que isso não ocorra.
- 9 Uma segunda hipótese para explicar o comportamento da linha encontra-se na Figura 10.3. Vamos supor que a linha seja de algodão ou de linho, portanto, um condutor elétrico para experimentos de eletrostática. Inicialmente, a linha está descarregada, como ilustra a Figura 10.3a. Na medida em que parte do re-

estava parada e pendurada perpendicularmente, o tubo foi atritado e segurado próximo ao recipiente, [então] a linha foi atraída em direção àquele lado dele. Se o tubo [eletrizado] fosse removido lentamente, a linha retornava ao centro do recipiente, mas quando [era] movido rapidamente, a linha [p.398] era atraída pelo lado oposto do recipiente.^{10,11} Se a mão fosse colocada próxima ao recipiente e movida apressadamente [para longe] dele, a linha era atraída pelo lado

cipiente de vidro é atritada, ficando carregada positivamente, a linha é atraída para aquela região eletrizada, como mostra a Figura 10.3b. Estamos supondo que apenas uma parte do recipiente de vidro tenha sido atritada. Nesse caso, a atração da linha ocorreria pela indução de cargas exercida sobre ela pela parte do vidro carregada positivamente, ocasionando sua atração. Supomos, ainda, que não houve perda de cargas elétricas da linha para o tubo, a eletrização dela deve-se apenas à indução elétrica. Na hipótese de haver perda de cargas elétricas para o tubo, com o tempo a linha descarregaria e voltaria para a posição vertical. Essa perda da eletrização poderia se dar, por exemplo, pelo ponto onde ela está presa no recipiente. Caso o recipiente se descarregue com o tempo, também a linha condutora vai perdendo as cargas induzidas nela.

- 10 A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 10.4. Uma hipótese para explicar o comportamento da linha, caso seja de seda. Supomos que o recipiente ainda esteja positivo do lado direito, isto é, na região atritada, porém com menos carga do que anteriormente. A linha ainda estaria carregada negativamente, mas estaria na vertical, por causa da força elétrica ser pequena. Ao aproximar o tubo carregado positivamente do lado esquerdo, a linha negativa seria atraída por ele, que estaria mais eletrizado do que o lado direito do recipiente. Ao retirar o tubo devagar, a linha volta para a vertical. Porém, ao retirá-la com pressa, ela passaria da vertical com um movimento pendular ao cair, aproximando-se do lado direito positivo do recipiente, sendo então atraída por ele, já que agora haveria uma pequena distância entre eles.
- 11 Vamos agora analisar a hipótese em que linha seja de algodão ou de linho, portanto condutora. A Figura 10.5 ilustra esta situação. Com a perda de carga da região atritada do recipiente, a força elétrica entre a linha e o vidro diminui e ela volta à posição vertical. O recipiente ainda estaria eletrizado na região atritada, porém com menos carga que anteriormente. A linha também poderia estar polarizada sob a ação do vidro, mas esta polarização seria menor e a força elétrica não seria suficiente para movê-la da vertical. Na medida em que o tubo eletrizado positivamente é aproximado do lado esquerdo do recipiente, ocorre a polarização nas cargas elétricas da linha, que passa a ser atraída pelo tubo, como ilustra a Figura 10.5. Ao retirar o tubo devagar, a linha volta para a vertical. Porém, ao retirá-la com pressa, ela passaria da vertical com um movimento pendular ao cair, se aproximando do lado direito positivo do recipiente, sendo então polarizada novamente (ou seja, como mostra a Figura 10.3b) e atraída por ele, já que agora haveria uma pequena distância entre eles. Estamos supondo a eletrização da linha apenas pela indução elétrica.

oposto, como antes.^{12,13} Isso parecia, a princípio, difícil de explicar, mas em consideração adicional, concluímos que isto ocorria a partir do movimento do ar feito pelo tubo, e no outro caso por aquele da mão, que tirou a atração daquele lado, mas não do outro lado. De modo que, como o Sr. Wheler muito bem expressou, por esse meio seria rompido o equilíbrio da atração.

-
- 12 Uma hipótese para esse fenômeno, no caso em que a linha é de seda. Com o fio negativo inicialmente na vertical, vamos supor que a mão aproxime-se do lado esquerdo do recipiente. Então, a linha será atraída pela mão, como ilustra a Figura 10.6. O texto não diz que a linha é atraída pela mão, diz apenas que ela é atraída pelo lado oposto do recipiente quando a mão é retirada apressadamente. Apesar disso, supomos que ela seja atraída pela mão antes de ser atraída pelo lado oposto. Na medida em que a mão fosse movida com pressa para longe do recipiente, a linha se movimentaria e passaria da vertical com um movimento pendular ao cair, aproximando-se do lado direito positivo do recipiente, sendo então atraída por ele, já que agora haveria uma pequena distância entre eles. Nesse caso, a atração pela mão ocorreria pela indução de cargas exercida sobre ela pela linha isolante carregada negativamente, de tal forma que a parte da mão próxima à linha ficaria positiva, ocasionando uma atração da linha pela mão. O fato de um corpo carregado eletricamente ser atraído por outros corpos, como o dedo, por exemplo, foi utilizado por Gray (1720-1) para descobrir novos materiais que se comportavam como o âmbar. Uma discussão sobre esse fenômeno pode ser encontrada em Assis (2010, p.52-3).
- 13 Uma hipótese para esse fenômeno, no caso em que a linha é condutora. Supomos que a mão que se aproxima estivesse eletrizada, já que nosso corpo não é um condutor perfeito. A mão poderia estar eletrizada, por exemplo, por ter atritado o tubo ou o recipiente de vidro. Então, a mão eletrizada ocasionaria a polarização da linha e a consequente atração, como ilustra a Figura 10.7. No entanto, o efeito de eletrização da mão, em geral, é pequeno e difícil de ser observado, a não ser a distâncias muito pequenas. Em experimentos de eletrostática, a mão consegue atrair visivelmente outro corpo apenas quando esse corpo está eletrizado. É o caso dos experimentos descritos por Gray (1720-1) e discutidos no livro *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade* (Assis, 2010, p.52-3). Nesse caso, teríamos, então, isolantes eletrizados por atrito (ou condutores eletrizados, estando estes isolados eletricamente e não aterrados). Esses isolantes eletrizados seriam atraídos por algum condutor aterrado que se aproximasse deles (como uma mão, um pedaço de madeira ou metal segurados pela mão). Essa atração ocorreria por causa das cargas opostas que são induzidas no condutor pelas cargas do isolante eletrizado. Dessa forma, a hipótese de que a mão estivesse eletrizada não é tão plausível, mas é uma possibilidade.

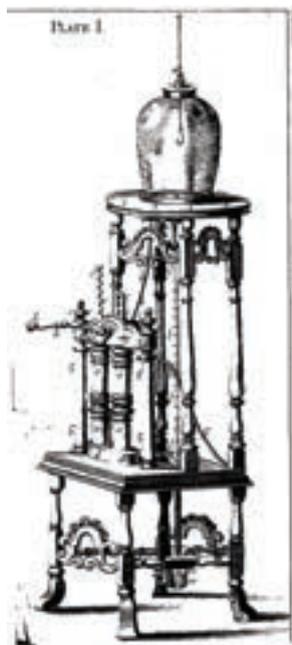


Figura 10.1 – Gravura da bomba de ar desenvolvida por Francis Hauksbee. Figura extraída de Hauksbee (1709).

Fizemos outro experimento, suspendendo uma linha na parte superior de um pequeno recipiente e emborcando um grande [recipiente] sobre ele. Então, atritando primeiro este e segurando o tubo atritado próximo a ele, a linha no meio do recipiente foi atraída para aquele lado dele onde o tubo foi colocado.¹⁴

Um experimento mostrando que a atração é comunicada através de corpos opacos bem como de transparentes, não no vácuo.

Peguei um grande sino de mão; o badalo foi inicialmente retirado e uma cortiça [foi] suspensa por uma linha¹⁵ a partir da parte superior do sino. A cortiça foi coberta com mel. Então, o sino foi

14 Uma ilustração da conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.8.

15 *Thread*, no original.

colocado sobre um pedaço de vidro,¹⁶ o qual tinha sido bem atritado e sobre o qual as lâminas de latão foram colocadas. Em seguida, o tubo [de vidro] foi atritado e colocado próximo ao cabo do sino, depois, perto da parte superior e da lateral do mesmo. O sino sendo retirado, havia vários pedaços de lâminas de latão aderidas ao mel da cortiça, os quais tinham sido atraídos por ela.¹⁷ Parece também que algumas lâminas [p.399] tinham sido atraídas pelo sino, sendo removidas dos lugares que foram deixadas [antes de serem] cobertas por ele.



(a) Recipiente com a linha isolante carregada negativamente no seu interior.

(b) Recipiente atritado na lateral direita, com a linha no seu interior sendo atraída para a região atritada.

Figura 10.2 – Recipiente com a linha no seu interior.

Algum tempo depois, o Sr. Wheler contou-me sobre um experimento que ele tinha feito no vácuo quando eu havia partido. Ele pegou um pequeno recipiente e suspendeu dentro dele uma linha. Sobre este [colocou] quatro outros recipientes, todos esvaziados [de ar]. A linha foi atraída através de todos os cinco recipientes e ele achou que a atração foi muito mais forte do que anteriormente, quando apenas um recipiente foi utilizado.¹⁸ Mas, em vez

16 *Coach-glass*, no original.

17 Uma ilustração da conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.9.

18 O texto não nos informa o que fez com que a linha fosse atraída. No entanto, de acordo com os experimentos anteriores, podemos supor que pode ter sido por meio da aplicação do tubo eletrizado ou pelo atrito do recipiente mais externo. Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 10.10.

de couro úmido, ele utilizou um preenchimento [*cement*] que eu tinha recomendado, a saber, cera de abelha e terebentina, os quais o Sr. Boyle utilizou em seus experimentos com bomba de ar.¹⁹ E, como eu tinha contado a ele, na minha opinião a atração seria muito mais forte, [pois] o vapor do couro úmido tirava parte da força atrativa [*attracting force*].²⁰

19 A bomba de ar desenvolvida por Robert Boyle (ver Figura 10.11) era diferente daquela construída por Hauksbee. Boyle (1725, p.408) dividiu a sua descrição em duas partes. Primeiro, descreve o recipiente de vidro superior no qual o vácuo parcial era feito. Depois, descreve o cilindro oco junto ao pistão que compõe a parte inferior do aparelho. No fundo do recipiente de vidro tem uma torneira (que na Figura 10.11 tem a letra N). Segundo West (2005), a conexão entre essa torneira e o fundo do recipiente foi um desafio. O problema foi resolvido com a instalação de uma fina placa metálica em formato cônico entre a torneira e o recipiente. A fixação foi feita por meio de uma mistura de piche (*pitch*), resina (*rosin*) e cinza de madeira (*wood-ashes*), derramada ainda quente na cavidade da placa. Atualmente, os vidreiros conseguem fazer encaixes no vidro para a torneira, que é o que foi feito em modernas reconstruções do dispositivo (West, 2005, p.35).

Já o aparelho desenvolvido por Hauksbee era montado de outra forma (ver Figura 10.1). Também podemos dividi-lo em duas partes: a superior, composta pelo recipiente de vidro em que se faz o vácuo parcial, e a inferior, composta pelo mecanismo responsável pela sucção do ar e o barômetro (Hauksbee, 1709, p.14). O recipiente de vidro fica apoiado sobre uma placa (que na Figura 10.1 tem a letra “i”), ele é vedado por meio de um pedaço de couro úmido: “Sobre a placa da bomba sempre é colocado um couro úmido, sobre o qual os recipientes são colocados. Esse couro úmido impede que o ar entre nos [recipientes de] vidro, cujas bordas são bem polidas [...]” (Ibid., p.3). Tendo em vista o exposto, a sugestão de Gray para Wheler foi de substituir o couro úmido como meio de vedação pela mistura utilizada por Boyle. Lembramos que no segundo parágrafo deste texto há a informação de que a bomba utilizada por eles foi construída pelo Sr. Hauksbee (ver a nota 5 deste capítulo). No entanto, Gray diz que a mistura era feita de “cera de abelha e terebentina”, que são substâncias diferentes daquelas mencionadas por Boyle (piche, resina e cinza de madeira), mas que podem ter sido citadas em outro texto.

20 Essa hipótese de Gray é bastante interessante, pois, de fato, a umidade pode atuar nos objetos eletrizados, descarregando-os.

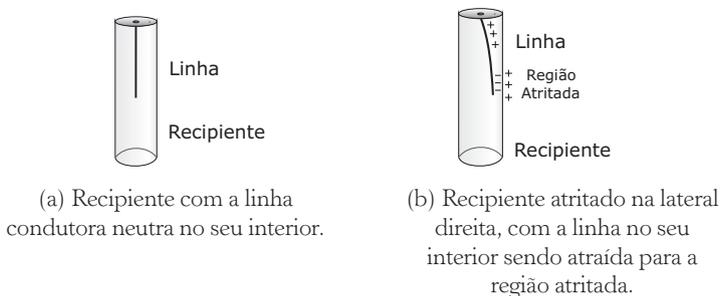


Figura 10.3 – Recipiente com a linha no seu interior.

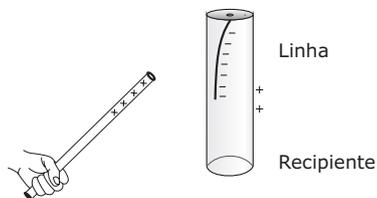


Figura 10.4 – Recipiente com a linha isolante negativamente carregada no seu interior. Com a aproximação do tubo de vidro eletrizado, a linha é atraída em direção a ele.

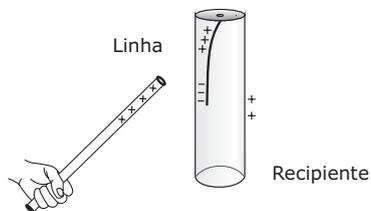


Figura 10.5 – Recipiente com a linha condutora neutra em seu interior. Com a aproximação do tubo de vidro eletrizado, a linha é atraída em direção a ele.

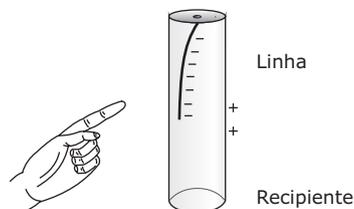


Figura 10.6 – Recipiente com a linha isolante negativamente carregada em seu interior. Com a aproximação da mão, a linha é atraída em direção a ela.

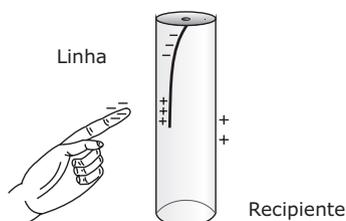


Figura 10.7 – Recipiente com a linha condutora neutra no seu interior. Com a aproximação da mão eletrizada, a linha é atraída em direção a ela. Supomos que a mão tenha se eletrizado ao atritar o vidro, portanto, sua carga é negativa.

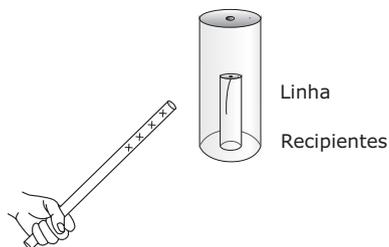
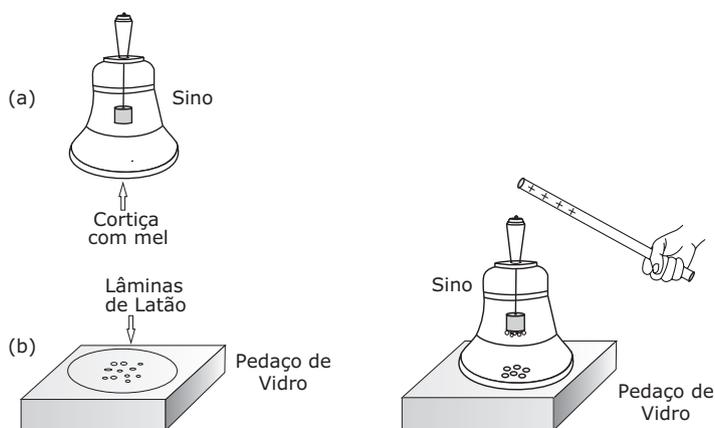


Figura 10.8 – Recipiente menor com a linha branca em seu interior e recipiente maior sobre ele. Após o atrito do recipiente maior e a aproximação do tubo eletrizado, a linha movimenta-se em direção ao tubo.

Agora, farei alguns relatos dos experimentos feitos [na casa] do Sr. Godfrey. O primeiro deles foi dar atração para um garoto suspenso em linhas finas [*hairlines*]²¹ por meio [da aplicação] do tubo [de vidro]; pela intervenção de uma linha de comunicação, a virtude atrativa passou para outro garoto que estava em pé a vários pés de distância dele. Mas, antes de continuar, pode ser apropriado dar uma descrição daquele experimento da força atrativa [*attractive power*] que é comunicada para o garoto em pé sobre resina.²² Embora a Sociedade²³ tenha visto o experimento, não fiz para vocês qualquer descrição dele por escrito.



- (a) Separadamente a ilustração mostra: i) o sino com a linha pendurada no seu interior e uma cortiça no lugar do badalo; ii) pedaço de vidro com lâminas de latão sobre ele.

- (b) Sino sobre o vidro com a linha pendurada em seu interior e uma cortiça no lugar do badalo. Com a aproximação do tubo de vidro eletrizado, algumas lâminas metálicas aderem à cortiça.

Figura 10.9 – Sino sobre o vidro com a linha pendurada em seu interior e uma cortiça no lugar do badalo.

21 Como discutido no livro *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*, essas *hairlines*, ou linhas finas, eram certamente feitas de um material isolante, provavelmente de seda (Assis, 2010, p.256-7).

22 A resina vai funcionar neste experimento como um isolante.

23 Gray refere-se aos membros da Royal Society.

No dia 16 de junho de 1731, de manhã, fiz o experimento a seguir com o garoto, [como] mencionado, fazendo-o tornar-se atrativo ao suspendê-lo [p.400] em linhas muito finas.²⁴ Peguei dois bolos de resina branca no formato de cilindros achatados, de pouco mais de 8 polegadas [20,3 cm] de diâmetro e 2 polegadas [5 cm] de espessura. Estes foram colocados no chão do meu quarto, tão próximos entre si que o garoto podia ficar em pé com um pé em um e [com] o outro [pé] no outro bolo de resina. Então, estando as lâminas de latão colocadas sob as mãos [do menino], [sendo] o tubo atritado e colocado próximo às pernas dele, as mãos atraíram e repeliram as lâminas de latão à altura de várias polegadas.²⁵ Ou, se as lâminas de latão fossem colocadas sob uma mão e o tubo colocado próximo da outra mão, haveria uma atração comunicada para a mão mais distante. Quando o tubo foi aplicado ou nas mãos ou nos pés dele, houve uma atração dada para as suas roupas. Se um pedaço de linha branca fosse segurado por uma de suas extremidades, a outra seria atraída aproximadamente à distância de 1 pé [30 cm] pelas roupas. De forma que a atração é, em geral, tão forte, se não mais forte, do que quando o garoto estava suspenso em linhas muito finas.

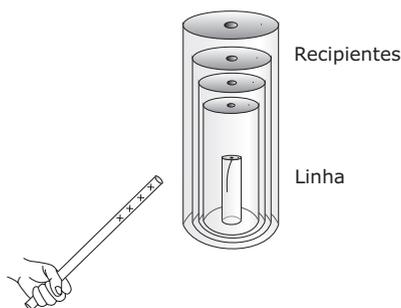


Figura 10.10 – Recipiente menor com a linha branca em seu interior e outros quatro recipientes em seu entorno. Com a aproximação do tubo eletrizado, a linha movimenta-se em direção a ele.

- 24 Apesar de o parágrafo iniciar falando sobre o experimento em que um garoto é suspenso em linhas muito finas, ele não será descrito aqui.
- 25 Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 10.12. O texto não menciona onde as lâminas metálicas estavam apoiadas; sendo assim, supomos que estejam sobre algum suporte.

Agora, vou para o experimento mencionado anteriormente, [em que] um dos garotos foi suspenso em linhas muito finas e o outro ficou em pé nos dois bolos de resina. [Estando] os garotos de mãos dadas um com o outro, sob a [outra] mão do garoto que ficou em pé sobre a resina foram colocadas as lâminas de latão.



Figura 10.11 – Gravura da bomba de ar desenvolvida por Robert Boyle. A bomba de ar completa é mostrada ao centro, e algumas de suas partes estão ao redor dela Figura extraída de West (2005).

Então, o tubo sendo atritado e colocado próximo ao pé do garoto pendurado nas linhas muito finas, a mão do garoto que ficou em pé sobre a resina atraiu fortemente.²⁶ Então, peguei uma régua²⁷ de 4 pés [1,2 m] e dei para os garotos segurarem em cada extremidade, [com a aproximação do tubo] houve a mesma virtude de atração dada para o outro garoto, como antes.²⁸ Depois disso,

26 Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 10.13. Supomos que as lâminas de latão estejam sobre algum suporte.

27 Provavelmente feita de madeira, que se comporta como um condutor.

28 Uma ilustração da conformação desses experimentos pode ser vista na Figura 10.14.

uma linha de barbante [*packthread*]²⁹ foi dada a eles para segurarem pelas extremidades, e houve uma atração [p.401] comunicada a partir de uma extremidade para a outra, com tanto vigor quanto por qualquer dos outros métodos mencionados anteriormente.³⁰ Esse experimento foi realizado no dia 13 de setembro de 1732.³¹

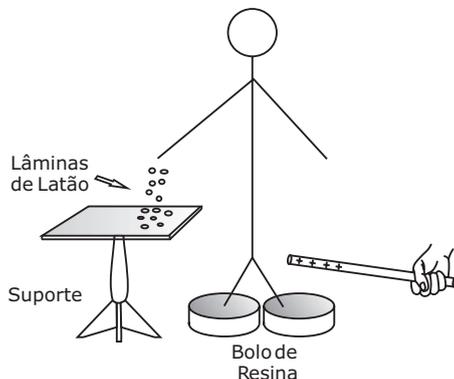


Figura 10.12 – Garoto sobre resina. Quando o tubo eletrizado é colocado próximo ao seu pé, sua mão atrai e repele as lâminas de latão que estão sob ela.

29 Novamente, esse material comporta-se como um condutor.

30 Uma ilustração da conformação desses experimentos pode ser vista na Figura 10.14.

31 A linha muito fina e a resina são materiais isolantes. Isso é fundamental para o funcionamento desses experimentos, para que os garotos fiquem isolados. Do ponto de vista da Física atual são possíveis duas interpretações para a eletrização do sistema composto pelos dois garotos: 1) O tubo de vidro eletrizado positivamente seria colocado próximo a um dos garotos; isso geraria uma descarga elétrica entre ambos (tubo e menino), eletrizando o sistema formado pelos dois meninos. Depois disso, o tubo seria afastado e o sistema manteria sua carga, pois está isolado. 2) O tubo eletrizado positivamente seria colocado próximo a um dos garotos (mão, perna etc.); com isso haveria um acúmulo de cargas elétricas negativas naquela região e um acúmulo de cargas positivas nas partes que estavam mais distantes do tubo, deixando o sistema formado pelos dois garotos polarizado eletricamente. Nesse caso, o experimento seria sempre realizado com o tubo próximo a um dos meninos, pois, caso fosse afastado, o sistema perderia sua polarização elétrica. Acreditamos que a primeira interpretação é possível, mas o efeito seria pequeno. Dessa forma, parece-nos que a segunda interpretação é mais plausível para explicar os fenômenos descritos.

No dia 14 de setembro, inicialmente fiz o experimento a seguir. Peguei uma vara que era composta parcialmente de madeira e parcialmente de cana [*cane*]. [Ela] tinha 24 pés [7,2 m] de comprimento e de forma não muito diferente de duas varas de pesca, que supomos unidas por suas extremidades maiores. Essa vara foi suspensa horizontalmente por duas linhas de seda. Sobre ela, a aproximadamente 2 pés [60 cm] da extremidade, foi suspensa uma varinha de aveleira, de aproximadamente 5 pés [1,5 m] de comprimento, perpendicularmente a ela, mas sem tocá-la.³² Então, fui até a outra extremidade da vara, o tubo foi excitado e colocado próximo a ela, [sendo] repetido o mesmo [procedimento] três ou quatro vezes, como de costume.^{33,34} [Em seguida,] fui até a varinha de aveleira com uma pequena linha branca³⁵ [e] descobri que ela foi atraída para [a varinha] quando colocada próxima a qualquer parte dela.³⁶

32 Não está claro, na descrição de Gray, se a varinha está em sentido horizontal ou vertical. Nos dois casos é possível que ela fique perpendicular em relação à grande vara horizontal.

33 A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 10.15. Estamos supondo que a varinha (*hazel wand*) também está suspensa por meio de alguma linha ou fio isolante. Nessa figura, colocamos a varinha na vertical, mas ela também poderia estar na horizontal, perpendicularmente à grande vara.

34 É interessante notar que Gray atritava e aproximava o tubo do objeto várias vezes para conseguir a eletrização do mesmo. Em nossos experimentos com materiais de baixo custo, muitas vezes, é preciso seguir esse procedimento com os canudos de refresco ou tubos de PVC para poder eletrizar algum objeto por meio da aproximação deles.

35 *White thread*, no original. Provavelmente, trata-se de uma linha de algodão ou de linho. Esses materiais comportam-se como condutores nos experimentos de eletrostática usuais.

36 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.16. Estamos supondo que a varinha (*hazel wand*) também está suspensa por meio de alguma linha ou fio isolante.

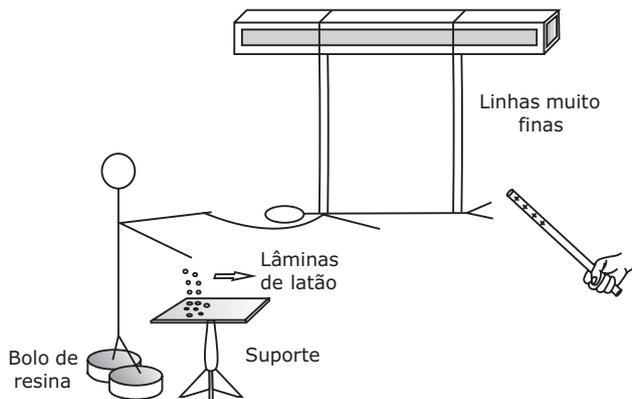


Figura 10.13 – Um dos garotos está suspenso em linhas muito finas, o outro está em pé sobre bolos de resina. Quando o tubo eletrizado é aproximado do pé do garoto pendurado, uma das mãos do garoto em pé atrai as lâminas de latão.

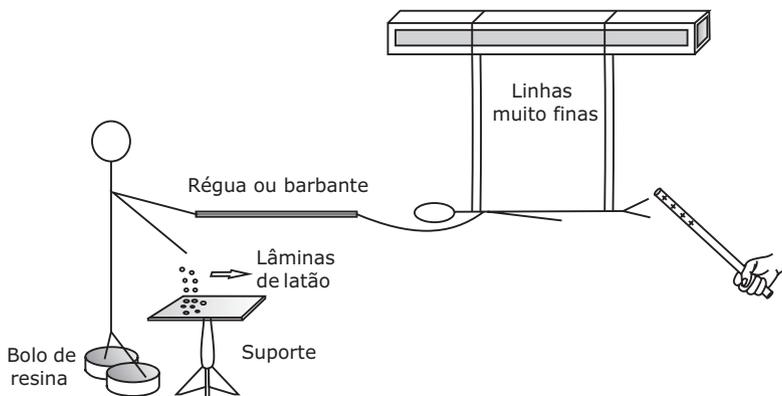


Figura 10.14 – Um dos garotos está suspenso em linhas muito finas, o outro está em pé sobre bolos de resina. Ambos os garotos seguram uma régua (ou um barbante) com uma de suas mãos. Quando o tubo eletrizado é aproximado do pé do garoto pendurado, uma das mãos do garoto em pé atrai as lâminas de latão.

No dia seguinte, o Sr. Wheler veio para [a casa] do Sr. Godfrey, e agora, com a assistência deles, repeti o experimento; ao suspender a varinha a várias alturas, pudemos perceber que havia uma atração, [inclusive] quando ela estava à altura de mais de 12 polegadas [30,5 cm]. Agora, farei alguns relatos [dos experimentos que] refiz e quais as melhorias adicionais [que acrescentei] em alguns [deles] desde o meu retorno a Londres.

No dia 29 de setembro, repeti o experimento com dois garotos. Inicialmente, coloquei um deles sobre os bolos de resina e o outro suspenso em linhas muito finas; o efeito foi o mesmo como [aquele] relatado acima. Então, fiz ambos os garotos ficarem em pé sobre os bolos de resina, dando a eles uma parte de uma vara de pesca de *spanish cane* para segurarem [p.402], a qual tinha 8 pés [2,4 m] de comprimento, [sendo que] um garoto segurava uma extremidade da vara e o outro menino a outra extremidade.

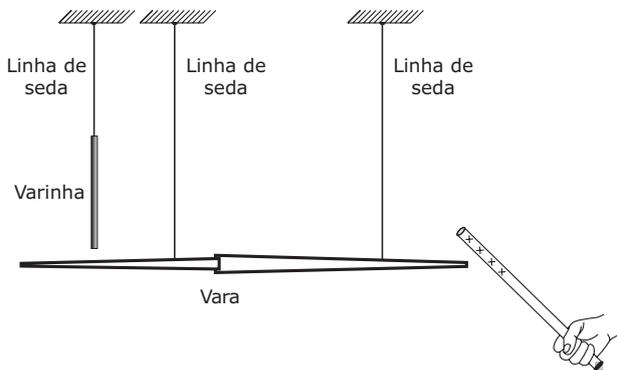


Figura 10.15 – A vara (composta de madeira e cana) está na horizontal, suspensa por duas linhas de seda; a varinha está colocada perpendicularmente sobre ela, sem tocá-la. O tubo eletrizado é aproximado da extremidade oposta àquela em que está a varinha.

Então, [com] as lâminas de latão colocadas sobre o suporte e um dos garotos mantendo sua mão sobre elas, fui até o outro garoto e excitei o tubo [de vidro] colocando-o próximo à palma da

mão dele. [Dessa forma,] a mão do primeiro garoto atraiu e repe-
liu as lâminas de latão fortemente.³⁷

Depois, peguei um pedaço de barbante e dei a eles para segurar em cada extremidade, tendo aproximadamente o mesmo comprimento da vara, a saber, 8 pés [2,4 m]. Sob cada uma das mãos deles³⁸ foram colocadas lâminas de latão. Então, fui para o meio do barbante [e] segurei o tubo próximo a ele; [desta maneira,] a mão mais distante de ambos os garotos atraiu as lâminas com muito vigor.³⁹ [De forma] que não é de duvidar que, se a linha fosse muito mais comprida, eles teriam atraído a uma distância muito maior. Então, fiz os garotos ficarem em pé sobre os bolos de resina de modo a deixar as lapelas dos seus casacos se tocarem.

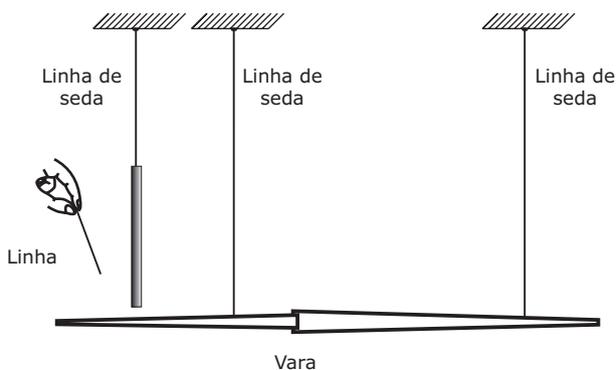


Figura 10.16 – Após aplicar o tubo eletrizado três ou quatro vezes na extremidade da vara, uma linha branca é colocada próxima a varinha e é atraída por ela.

Em seguida, colocando o tubo [próximo de] uma das suas mãos, a outra mão atraiu, mas não com mais força do que quando eles estavam distantes o comprimento da linha [isto é, 8 pés –

37 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.17.

38 As mãos que não seguravam o barbante.

39 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.18.

2,4 m].⁴⁰ Então, eles ficaram em pé muito mais distantes para não deixarem seus casacos se tocarem por aproximadamente 1 polegada [2,54 cm]. Assim, excitando um deles para atrair,⁴¹ o outro não recebeu o mínimo grau de atração. Em seguida, pedi a um dos garotos que colocasse seu dedo no pulso do outro e, então, imediatamente, ele tornou-se elétrico.⁴²

No dia 4 de outubro, fiz o experimento a seguir. Uma vara de pesca de aproximadamente 10 pés e 8 polegadas [3,2 m] de comprimento [foi colocada] horizontalmente, e, sobre ela, em direção à extremidade menor, [foi colocada] uma pequena vara, a qual era a extremidade superior de outra vara de pesca. Na extremidade menor [da pequena vara], que era [feita] de osso de baleia [*whale-bone*], foi colocada uma bola de cortiça de 2 polegadas [5 cm] de diâmetro, [p.403] [sendo que] as varas se tocavam.

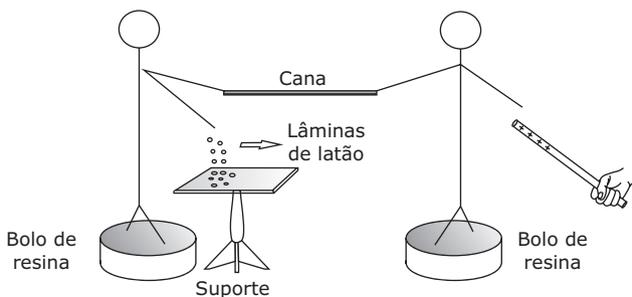


Figura 10.17 – Dois garotos sobre blocos de resina segurando uma cana com uma das mãos. Quando o tubo eletrizado é aplicado na mão de um deles, a mão do outro atrai e repele as lâminas metálicas.

40 Nesse experimento, supomos que o tubo tenha sido aproximado da mão de um dos garotos e a verificação da atração das lâminas tenha sido feita em uma das mãos do outro garoto, tal como no experimento descrito a seguir. A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 10.19.

41 Isto é, colocando o tubo eletrizado próximo a ele.

42 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.20.

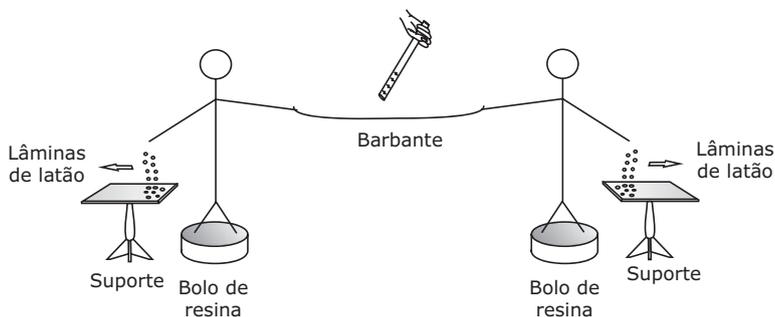


Figura 10.18 – Dois garotos sobre blocos de resina segurando um barbante com uma das mãos. Quando o tubo eletrizado é aplicado no meio do barbante, as mãos dos garotos atraem as lâminas metálicas.

Então, o tubo foi excitado e colocado próximo à grande extremidade da vara maior, aplicado como de costume.⁴³ Em seguida, fui para a cortiça com uma linha pendular [*pendulous thread*] [e] percebi que [a bola] atraiu a linha à distância de, no mínimo, 2 polegadas [5 cm].

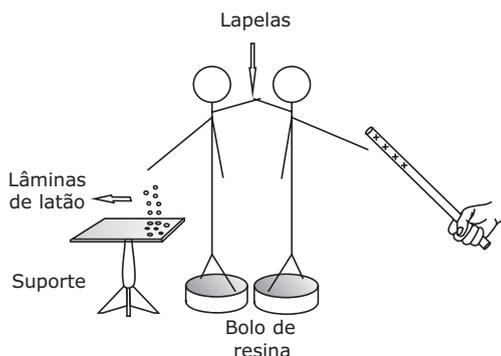


Figura 10.19 – Dois garotos sobre blocos de resina com as lapelas de seus casacos encostadas uma na outra. Quando o tubo eletrizado é aplicado na mão de um deles, a mão do outro atrai as lâminas metálicas.

43 Uma ilustração da conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.21. O texto não apresenta a forma como as varas foram suspensas no ar.

Então, a vara [menor] foi movida para o alto, de forma que não tocasse na extremidade da vara comprida, [estando afastada dela] por cerca de 1 polegada [2,54 cm]. Depois de várias tentativas houve uma visível atração,⁴⁴ quando a pequena vara que segurava a bola ficou acima da grande 34 polegadas [86,4 cm].

No dia 5 de outubro, peguei uma linha de barbante de 17 pés e 4 polegadas [5,2 m] de comprimento, com linhas de seda amarradas nas suas extremidades, [sendo] uma delas de cerca de 4 pés [1,2 m], e a outra de 2 pés [0,6 m] de comprimento.⁴⁵

Próximo aos dois cantos opostos do meu quarto, em cada um deles, tinha um gancho de aproximadamente 3,5 pés [1 m] de altura, aos quais as extremidades de seda foram presas, puxando bem apertado para suportar o barbante quase na [posição] horizontal.

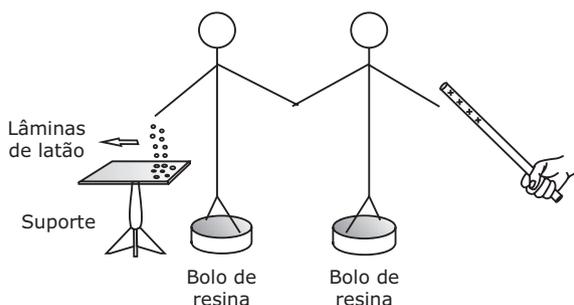


Figura 10.20 – Dois garotos sobre blocos de resina, um dos garotos com uma de suas mãos no pulso do outro. Quando o tubo eletrizado é aplicado na mão de um deles, a mão do outro atrai as lâminas metálicas.

Mas, de acordo com os outros experimentos descritos, supomos que elas poderiam ser suspensas por linhas muito finas feitas de material isolante, ou por suportes colocados sobre blocos isolantes de resina ou de vidro. Na ilustração optamos por mostrar apenas a disposição das varas, sem colocar aquilo que as sustentava.

- 44 O fato de ter havido várias tentativas pode ser fundamental neste experimento. Podemos supor que, em cada tentativa, o tubo de vidro era atritado e aproximado da vara. Esse processo de eletrizar o tubo e colocá-lo próximo à vara faz com ela aumente sua eletrização pouco a pouco. De tal forma que, em determinado momento, seja possível a atração da linha pendular.
- 45 As linhas de seda são fundamentais nesse experimento para isolar o barbante, que é um condutor elétrico.

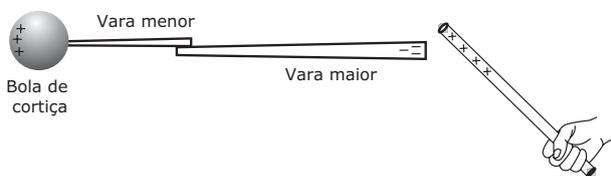


Figura 10.21 – Duas varas em contato e o tubo de vidro eletrizado sendo aplicado na parte maior da vara mais comprida.

Então, a pequena parte da vara de pesca foi suspensa sobre o barbante a cerca de 4 pés [1,2 m] da extremidade. Em seguida, o tubo foi aplicado na outra extremidade do barbante, [e] a bola de cortiça da extremidade da pequena vara ficou atrativa. [Isso ocorreu] a vários afastamentos; até a altura de 47 polegadas [1,2 m] houve uma visível atração da linha pendular.⁴⁶

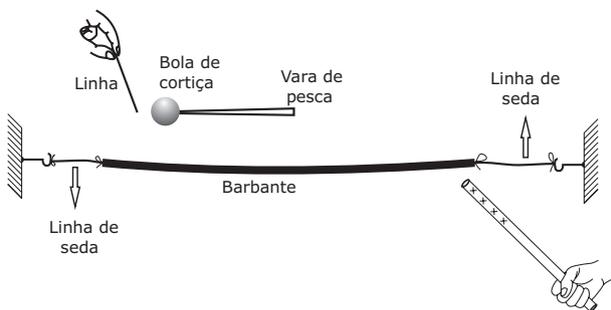


Figura 10.22 – Vara de pesca com bola de cortiça na ponta sobre um barbante. A bola eletrizada atrai a linha pendular.

46 Há duas possibilidades para a posição da vara com a bola sobre o barbante. As figuras 10.22 e 10.23 apresentam possíveis conformações para esse experimento. O texto não menciona, mas supomos que a vara com bola esteja suspensa por linhas de seda. Do ponto de vista da Física atual, em ambas as situações o tubo de vidro eletrizado colocado próximo a uma das extremidades do barbante o polariza eletricamente. Dessa forma, o barbante polarizado também polariza a vara com a bola, o que leva à atração da linha pendular. A distribuição das cargas na vara com a bola depende de sua posição sobre o barbante.

No dia 6 de outubro, em vez de uma pequena vara, peguei um barbante de cerca de 4 pés [1,2 m] de comprimento. Nas suas extremidades [foram] amarradas linhas de seda, pelas quais [ele] foi suspenso sobre a linha⁴⁷ horizontal mais longa, perpendicularmente e próximo à referida linha.⁴⁸ [Ou seja,] estava amarrado pelas extremidades perpendicularmente à linha de barbante que estava presa aos ganchos. O barbante cruzado tinha nós deslizantes, de tal forma que pudesse ser [p.404] movido para cima ou para baixo, conforme a ocasião. Em uma extremidade desse barbante coloquei uma bola de cortiça e descobri que, quando o primeiro barbante tinha sido excitado [por meio do tubo eletrizado], a virtude [atrativa] foi levada para o segundo barbante e fez a bola de cortiça atrair.⁴⁹ Então, tirei a bola de cortiça e coloquei uma de marfim em seu lugar, e esta atraiu da mesma maneira.

Depois, pendurei duas bolas de marfim, uma em cada extremidade do barbante [de cima], e descobri que havia uma sensível atração quando o barbante que as sustentava estava levantado 38 polegadas [96,5 cm] acima da linha de comunicação.

47 *Line*, no original.

48 É importante o leitor atentar que, nesse parágrafo, aquele barbante preso aos ganchos e já utilizado no experimento anterior está sendo chamado de *linha horizontal* ou *linha de barbante*, o qual, na ilustração do experimento mostrado na Figura 10.24, chamaremos de *barbante 1*. De outro lado, há um segundo barbante colocado sobre aquele preso aos ganchos, o qual nesse parágrafo está sendo chamado de *barbante*, e que, na ilustração do experimento, na Figura 10.24, chamaremos de *barbante 2*.

49 Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 10.24. Chamamos a atenção do leitor para o fato de que os barbantes estão separados entre si por uma certa altura, apesar de a Figura 10.24a representá-los como se estivessem encostados.

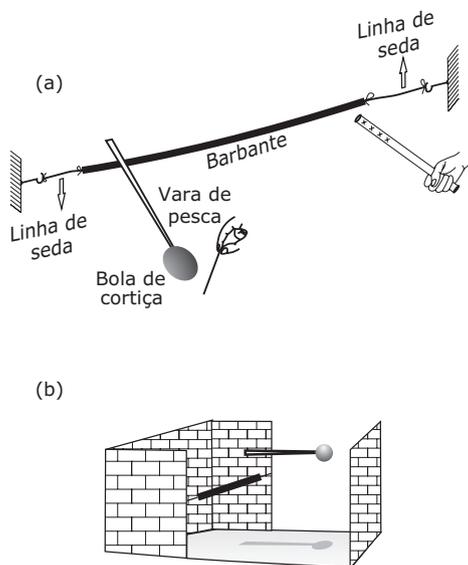


Figura 10.23 – (a) Vara de pesca com bola de cortiça na ponta sobre um barbante. A bola eletrizada atrai a linha pendular. (b) Mostra-se a disposição do barbante e da vara no quarto.

No dia 30 de outubro, repeti esse experimento. Agora, quando a linha que sustentava as bolas de marfim foi elevada cerca de 1 polegada [2,54 cm] acima da linha de comunicação, cada bola atraiu a linha [pendular] à distância de mais do que um semidiâmetro da bola, e à altura de 10 polegadas [25,4 cm], pelo menos metade da mesma distância.

Por meio desses experimentos, descobrimos que a virtude elétrica pode não apenas ser carregada a partir do tubo por uma vara ou linha até corpos distantes, mas que a mesma vara ou linha comunicará aquela virtude para outra vara ou linha que está a uma distância dela, e [que], por aquela outra vara ou linha, a força atrativa [*attractive force*] pode ser levada até outros corpos distantes.⁵⁰

50 Do ponto de vista da Física atual, o que Gray destaca nesse parágrafo é o fenômeno conhecido hoje em dia como indução elétrica de condutores por meio

O mais obediente e
humilde servidor
do Senhor e da Sociedade,
Stephen Gray.
Charterhouse,
15 de outubro de 1732.

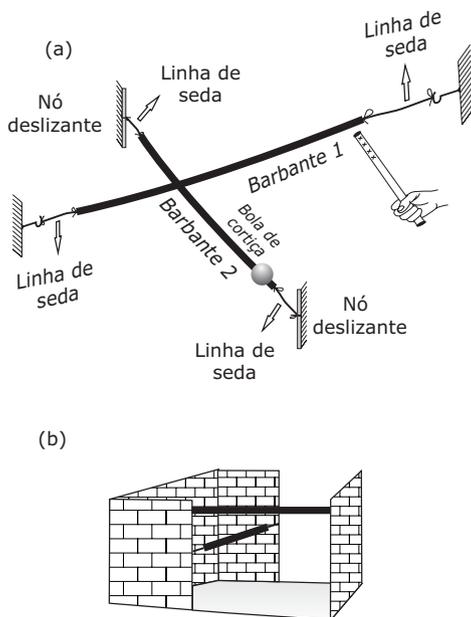


Figura 10.24 – (a) Dois barbantes cruzados. O barbante 1 está preso aos ganchos, o barbante 2 está preso por meio de nós deslizantes. Em uma das extremidades do barbante 2 está a bola de cortiça. (b) Mostra-se a disposição dos barbantes no quarto.

da aproximação de outro corpo eletrizado. Essa aproximação ocasiona uma polarização de cargas elétricas nos condutores. Nesse caso, o tubo de vidro é eletrizado por meio de atrito, e, na medida em que está carregado, ele eletriza outros corpos por indução, quando colocado próximo a eles. Os experimentos descritos aqui destacam bem dois processos de eletrização, a saber, por contato (por atrito) e sem contato (por indução).

10.2 Carta II

[p.405]

Senhor,

O assunto da atração elétrica a distância, sem qualquer contato da linha de comunicação pelo tubo, ou de a referida linha não tocar no corpo que atrai, é muito surpreendente. Presumo que o relato a seguir dos experimentos que tenho [feito] desde a minha última [carta] sobre o assunto pode ser aceitável para a Royal Society.

Um pequeno aro⁵¹ de aproximadamente 20 polegadas [51 cm] de diâmetro e 1,5 polegada [3,8 cm] de largura foi suspenso por duas linhas de seda, de forma que ele [ficasse] pendurado perpendicularmente e em um plano perpendicular à linha horizontal de comunicação,⁵² a qual atravessou, ou no mínimo [ficou] muito próxima, ao centro do aro. Fui até a extremidade da linha mencionada e apliquei o tubo excitado próximo a ela; houve uma influência atrativa comunicada ao aro em todas as suas partes.^{53,54} Então, por um buraco de rosca feito no lado do aro para aquele propósito, parafusei-o na parte superior de um pedestal, que tinha cerca de 2,5 pés [0,75 cm] de altura, colocando-o em um bolo de resina, de modo que a linha [horizontal] mencionada anteriormente pudesse passar através do centro do aro. Descobri que, se o aro fosse colocado de forma que seu plano estivesse perpendicular ou em qualquer outro ângulo com a linha de comunicação, o aro atrairia da mesma maneira como tinha feito quando fora suspenso em linhas de seda.⁵⁵

51 Provavelmente, feito de madeira.

52 Refere-se ao barbante amarrado aos ganchos, descrito na “Carta I”.

53 Supõe-se que, para verificar a atração no aro, Gray tenha aproximado a linha pendular de todo o aro, tal como nos experimentos descritos na “Carta I”.

54 Uma ilustração da conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.25.

55 Uma ilustração da conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.26.

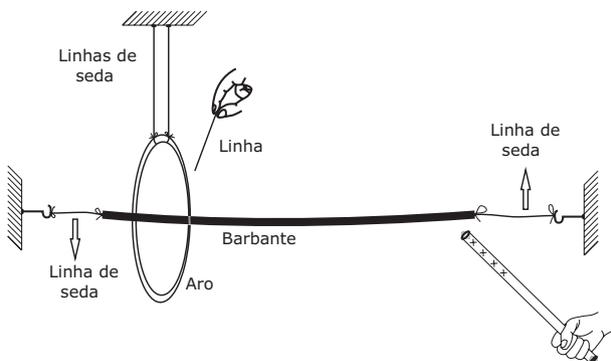


Figura 10.25 – Barbante horizontal preso aos ganchos passando pelo centro do aro (ou ficando próximo deste centro), preso por linhas de seda. À direita da figura está o tubo eletrizado e, junto com o aro, a linha pendular.

Algum tempo depois, fiz o seguinte experimento. Dentro do bico de um funil de vidro coloquei a maior [p.406] extremidade da parte superior de uma pequena vara de pesca, e na menor extremidade [da vara de pesca coloquei] uma bola de cortiça. Então, o funil foi colocado no chão do quarto de modo que a vara ficasse algumas polegadas distante da linha de comunicação. Em seguida, o tubo foi excitado e aplicado próximo da extremidade da linha; [com isso] a virtude elétrica foi transmitida por ela para a bola de cortiça, a qual atraiu fortemente quando estava, por estimativa, não menos do que 2 pés [60 cm] de distância da linha supramencionada.^{56,57}

56 Supõe-se que, para verificar a atração na bola de cortiça, Gray tenha aproximado a linha pendular da bola de cortiça. Nesse experimento, provavelmente o funil de vidro comporta-se como um isolante, tal como o tubo de vidro.

57 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 10.27.

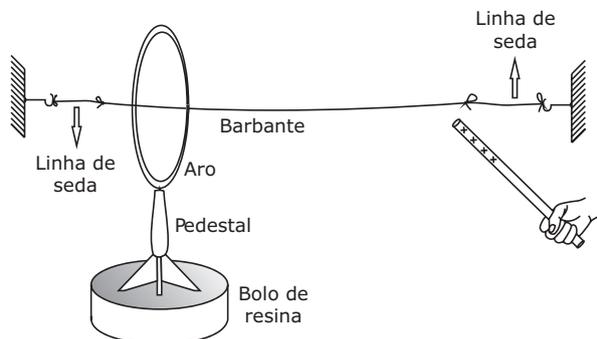


Figura 10.26 – Barbante horizontal preso aos ganchos passando pelo centro do aro (ou ficando próximo desse centro), preso ao pedestal que está sobre um bolo de resina.

Em 11 de dezembro, fazia um frio intenso e um belo dia. Repeiti o experimento utilizando um grande aro que tinha cerca de 40 polegadas [1 m] de diâmetro, e colocando-o perpendicularmente sobre um cilindro oco de vidro, que tinha 6 polegadas [15,2 cm] de comprimento e 5,5 polegadas [14 cm] de diâmetro.⁵⁸ Coloquei o aro de forma que a linha de comunicação pudesse atravessá-lo, ou no mínimo [ficar] muito próximo do seu centro. Então, ao aplicar o tubo na extremidade da linha, houve uma atração comunicada para todas as partes do aro, atraindo uma linha pendular branca à distância, por estimativa, de cerca de 0,5 polegada [1,2 cm].⁵⁹ Então, coloquei o aro de forma que a superfície interna dele pudesse tocar a linha. Dessa forma, comunicando uma atração por meio do tubo excitado para o barbante, a virtude atrativa foi levada pelo [barbante] para o aro, fazendo-o atrair com aquela força, tal como a parte mais remota do aro atraindo a linha a uma distância, por estimativa, de cerca de 4 polegadas [10 cm].

58 Não fica claro, no texto, de que forma Gray utiliza o cilindro de vidro. Apesar disso, tendo em vista a descrição do experimento, supomos que ele sirva de apoio para o aro, tal como o pedestal. Novamente, temos que esse cilindro de vidro vai comportar-se como um isolante nesse experimento.

59 Uma possível conformação para esse experimento pode ser vista na Figura 10.28.

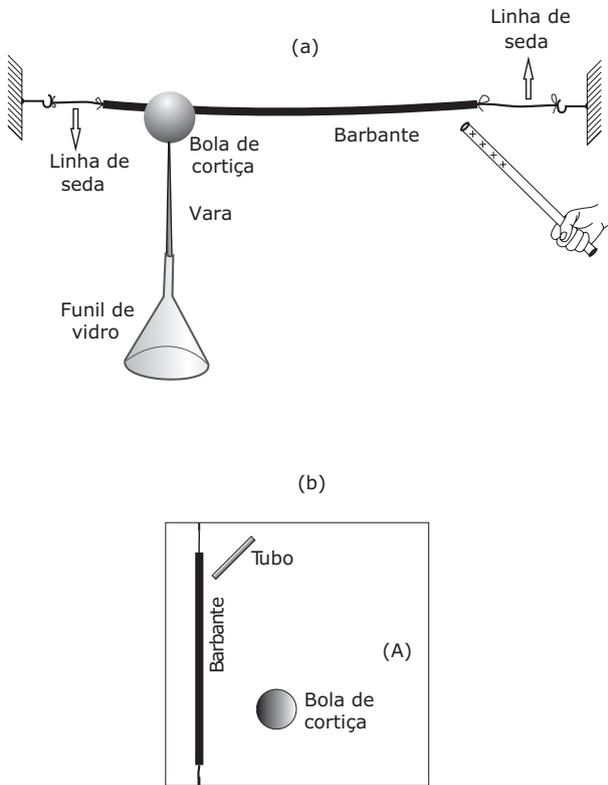


Figura 10.27 – (a) Barbante na horizontal preso por ganchos. Na vertical, temos o funil de vidro, a vara de pesca e a bola de cortiça. À direita, temos o tubo eletrizado. (b) Visão de cima do quarto mostrando a disposição do experimento, sendo que em (a) vemos o experimento como visto por um observador que está em (A).

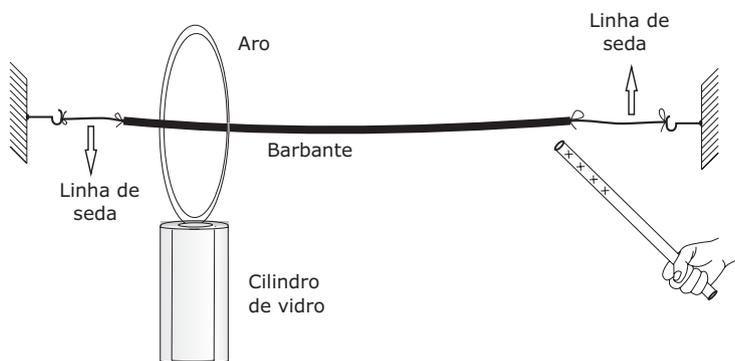


Figura 10.28 – Barbante na horizontal, aro colocado sobre o cilindro de vidro, e o tubo eletrizado.

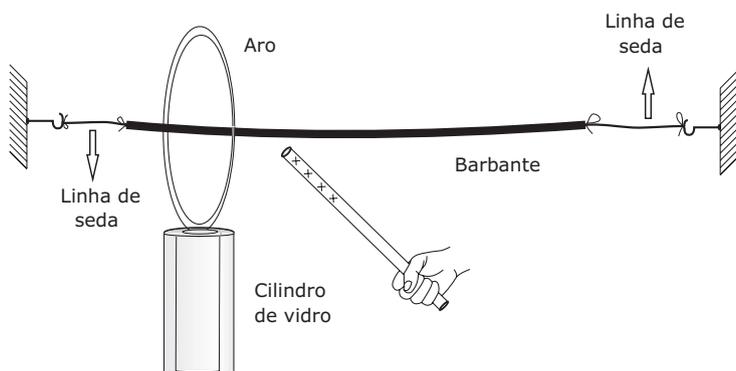


Figura 10.29 – Barbante na horizontal, aro maior sobre o cilindro oco de vidro e o tubo eletrizado próximo ao aro. O tubo está sendo aplicado no barbante e próximo ao aro.

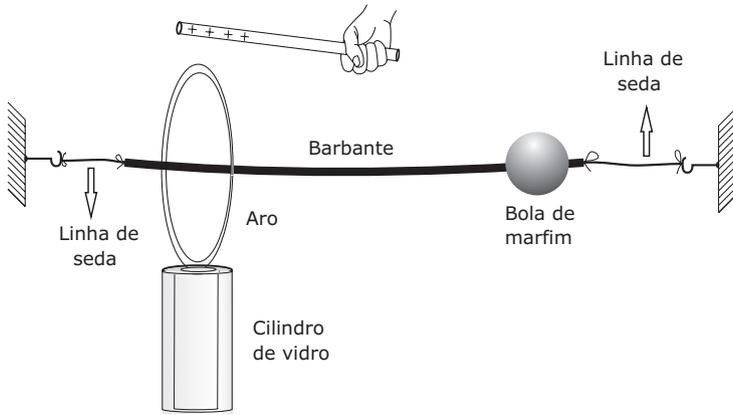


Figura 10.30 – Barbante na horizontal, aro maior sobre o cilindro oco de vidro e o tubo eletrizado próximo ao aro.

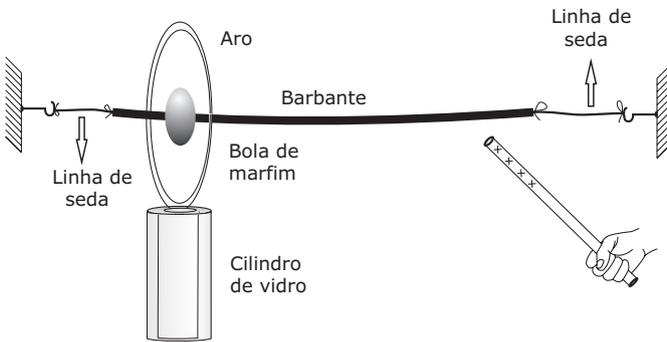


Figura 10.31 – Barbante na horizontal, aro maior sobre o cilindro oco de vidro, bola de marfim no centro do aro, e o tubo eletrizado próximo ao barbante.

Alguns tempos depois do que acabou de ser descrito, fiz o seguinte experimento. O grande aro foi colocado sobre o cilindro de vidro e o barbante atravessando o seu centro, ou [ficando] próximo dele. Ao aplicar o tubo [p.407] próximo ao aro, [o tubo] forneceu-lhe uma forte atração, de forma que ele atraía a linha [pendular] à distância de 7 ou 8 polegadas [17,7 ou 20,3 cm].⁶⁰ E, ao mesmo tempo, havia uma atração comunicada para o barbante. Então, suspendi uma bola de marfim, de 2 polegadas [5 cm] de diâmetro, na outra extremidade do barbante. Aplicando o tubo no aro, houve uma virtude atrativa levada para a bola, e ela atraiu a linha pendular à distância de cerca de 1 polegada [2,54 cm].⁶¹ Então, coloquei a bola no centro do aro, ou próxima a esse centro, e agora ela⁶² estava tão longe de ser atraída que foi repelida pela bola, mas foi atraída pelo barbante passando por ela⁶³ no arco de um círculo, cujo centro parecia ser aquele da bola.⁶⁴

Isto é tudo o que tenho para comunicar no momento. Eu sou o mais obediente servidor do Senhor e da Sociedade,
Stephen Gray.

60 Uma possível conformação para esse experimento pode ser vista na Figura 10.29.

61 Uma possível conformação para esse experimento pode ser vista na Figura 10.30.

62 Aparentemente, Gray está se referindo à linha pendular.

63 Aparentemente, Gray está se referindo ao barbante passando pela bola de marfim.

64 Uma possível conformação para esse experimento pode ser vista na Figura 10.31.

11

ARTIGO 7 – EXPERIMENTOS E OBSERVAÇÕES SOBRE A LUZ QUE É PRODUZIDA PELA COMUNICAÇÃO DA ATRAÇÃO ELÉTRICA PARA CORPOS ANIMADOS OU INANIMADOS, COM ALGUNS DOS SEUS MAIS SURPREENDENTES EFEITOS; COMUNICADO EM UMA CARTA DO SR. STEPHEN GRAY, F. R. S. PARA CROMWELL MORTIMER, M. D. SECR. R. S.

Charterhouse, 28 de janeiro de 1734^{1,2,3}

Senhor,

[Há] alguns meses atrás, prometi apresentar para a Sociedade⁴ um relato dos experimentos que eu tinha feito então. Mas logo depois ocorreram-me vários outros pensamentos, os quais estava

1 Tradução de Gray (1735-6b, p.162-4).

2 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

3 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p.] indicam a página original do texto em inglês.

4 Refere-se aos membros da Royal Society.

disposto a ver se conseguia realizar com sucesso. Os experimentos requeriam novos instrumentos para que eu pudesse realizá-los de forma mais completa. Espero que [essa] seja uma justificativa suficiente para esse atraso.

Vi que você⁵ publicou uma carta do Sr. Dufay⁶ para o Duque de Richmond na *Philosophical Transactions* [p.17] n. 431.⁷ Isso me traz uma satisfação que não é pequena, [já] que minhas descobertas elétricas foram não apenas confirmadas por um filósofo⁸ tão sábio como o Sr. Dufay, mas que ele tenha feito várias novas descobertas por si próprio, mais especificamente aquela experiência luminosa importante, que me colocou a fazer os experimentos que vou relatar agora.

Inicialmente, farei alguns relatos dos experimentos realizados na última primavera, logo depois [que] recebi a tradução da carta do Sr. Dufay. Esses [experimentos] foram feitos [na casa] do meu honrado amigo Granvill Wheler Esq.⁹ F. R. S.,¹⁰ nos meses de julho e agosto. E, por fim, prosseguirei [para relatar] aqueles [experimentos] realizados desde o meu retorno a Londres, que ocorreu no último [mês] de setembro.

Como não tinha comigo linhas de seda fortes o suficiente para sustentar o garoto, fiz com que ele ficasse em pé sobre algum dos corpos elétricos.¹¹ E, como concluí, descobri o mesmo efeito, tal como mencionado pelo Sr. Dufay. Não precisarei mencionar as

5 Refere-se ao Sr. Cromwell Mortimer, que era secretário da Royal Society à época e para quem a carta está endereçada.

6 Na tradução, esse termo será grafado como no texto original (Dufay), mas em nossos comentários grafaremos Du Fay.

7 Ver Du Fay (1733-4). Uma tradução dessa carta pode ser encontrada em Boss e Caluzi (2007).

8 Refere-se à expressão “filósofo natural”.

9 Escudeiro.

10 *Fellow of the Royal Society*, ou seja, Membro da Royal Society.

11 Como já discutido neste livro, corpos elétricos são aquelas substâncias que atualmente denominamos isolantes elétricos. Por exemplo, no artigo Gray (1731-2d, p.397) utiliza um bolo de resina como base isolante para o garoto e um cilindro de vidro como base isolante para um aro de madeira.

particularidades do experimento, mas prossegurei para aqueles que foram sugeridos a mim pelos dizeres do Sr. Dufay, que aqueles estalidos ou faíscas não são excitados se um pedaço de madeira, ou qualquer outra substância que não seja um corpo vivo, for passada sobre a pessoa suspensa nas linhas [isolantes], a menos que seja um pedaço de metal.¹² A partir disso, concluí que, se suspendesse o metal em linhas de seda, ou o colocasse [apoiado] em qualquer um dos corpos elétricos, o efeito deveria ser o mesmo.¹³ Quando o metal foi tornado elétrico pelo [aproximação do] tubo [de vidro eletrizado] e a mão de qualquer um foi colocada próxima a ele [isto é, próxima ao metal], descobri [que o experimento] ocorreu de acordo [com o que disse acima].¹⁴ Iniciei com alguns utensílios comuns que estavam

12 Du Fay (1733-4, p.261-2) relata que refez o experimento descrito por Gray no artigo 1731-2c, p.39, no qual Gray pendurava um garoto em linhas isolantes.* Inicialmente, Du Fay suspende uma criança em linhas de seda, depois suspende a si próprio nas linhas. Com esse experimento, verificou que, quando uma pessoa aproximava-se dele enquanto estava pendurado nas linhas e eletrizado pelo tubo de vidro atritado, havia emissão de faíscas e estalos. No entanto, não havia tal emissão se um pedaço de madeira, tecido ou qualquer outro material, que não fosse um corpo vivo, fosse aproximado da pessoa suspensa nas linhas, mas a emissão ocorria se fosse aproximado um metal da pessoa pendurada. Du Fay também descreve outra observação interessante que Gray não havia verificado. Quando suspenso nas linhas de seda e eletrizado pelo tubo, se ele segurasse em uma de suas mãos uma tábua, ou um suporte, com lâminas de ouro em cima, nem sua outra mão nem sua face atraíram as lâminas. No entanto, se outra pessoa aproximasse a mão ou a face das lâminas metálicas, ela as atrairia. Uma explicação “moderna” para isso é que as lâminas sobre a tábua estavam sob o mesmo potencial elétrico a que Du Fay estava submetido, portanto, não eram atraídas por ele próprio, mas por outra pessoa que não estivesse nesse mesmo potencial (Du Fay, 1733-4, p.261; Boss; Caluzi, 2007, p.639 e 642).

* O experimento mencionado pode ser visto na página 163 deste livro. No texto Gray, (1731-2d; ver Seção 10.1 deste livro), Gray também reporta experimentos feitos com garotos pendurados em linhas. A Figura 11.1 ilustra o experimento.

13 A impressão que temos é a de que Gray, a partir dos experimentos relatados por Du Fay, teve a ideia de que, ao suspender um metal em linhas isolantes, ele emitiria faíscas e estalos como o corpo humano, quando eletrizado.

14 Isto é, havia emissão de faíscas entre o metal e a mão de uma pessoa que se aproximava do metal, havendo também a produção de estalidos.

à mão, tais como atizador de brasas de ferro [*iron poker*], pinças de lareira [*tongs*] e pá de lareira [*fire-shovel*]. Qualquer um desses [objetos] sendo suspenso nas linhas de seda de costura mais espessas, e [p.18] o tubo excitado sendo aplicado inicialmente no punho do atizador e em seguida à mão [sendo aproximada dele], houve o estalo e senti [a] picada, como esperado.^{15,16} O efeito foi o mesmo de quando o tubo foi primeiro aplicado na outra extremidade do atizador. Eu tinha comigo um instrumento de ferro de três pontas, que foi feito há muitos anos. Ele foi projetado para sustentar a mesa do observatório, quando observei as manchas no Sol.¹⁷ As pontas tinham cerca de 0,5 polegada [1,2 cm] de diâmetro, duas delas tinham cerca de 22 polegadas [56 cm] e a terceira tinha cerca de 8 polegadas [20,3 cm] de comprimento; elas eram afiadas em direção às extremidades e pontiagudas. Esse [instrumento] era colocado sobre cilindros de vidro, pedaços de resina e cera de abelha, ou sobre um pedaço de enxofre. O tubo sendo aplicado à extremidade de qualquer uma das pernas, a mão ou a face sendo aplicada próxima à outra [ponta], ambas as pernas tinham o mesmo efeito como aquela na qual o tubo havia sido aplicado.¹⁸ Mas colocando meu rosto próximo a qualquer

-
- 15 A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista nas figuras 11.2 e 11.3
- 16 O atizador de brasas é metálico e, portanto, possui cargas livres. Quando o tubo de vidro eletrizado positivamente é colocado próximo a ele, ocorre a polarização das suas cargas livres. Com isso, a região mais próxima do tubo fica carregada negativamente, e a mais distante positivamente. Na medida em que a mão aproxima-se da ponta carregada positivamente, há uma descarga elétrica entre a mão e atizador. Uma vez que ocorra a descarga elétrica, a região do atizador próxima ao tubo eletrizado continua carregada com cargas negativas enquanto o tubo permanecer ali perto, mas a região oposta, onde houve efetivamente a transferência de cargas, passa a ficar neutra eletricamente. Uma discussão sobre essa questão pode ser vista em Assis (2010, p.203-5).
- 17 Como já foi mencionado neste livro, a primeira área de pesquisa em que Gray trabalhou foi a Astronomia. Ele realizou observações de “eclipses do Sol e da Lua, de eclipses dos satélites de Júpiter, e de manchas solares” (Chipman, 1958, p.425).
- 18 A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 11.4. Como Gray não reporta detalhes sobre o instrumento metálico e sobre a disposição do experimento, apresentamos apenas uma possibilidade.

uma das pontas das pernas, a picada ou a dor de queimadura foi sentida muito mais sensivelmente, e algumas vezes foi sentida por vários minutos depois. Não estava tão curioso, naquele momento, em fazer o experimento no escuro, [de forma] que pudesse ver a luz proceder do ferro, não pensando que a eletricidade comunicada para os metais produziria fenômenos tão surpreendentes, como será descrito a seguir pelos relatos dos experimentos.

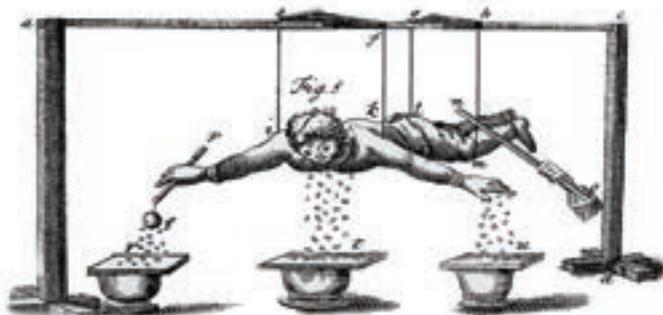


Figura 11.1 – Ilustração dos experimentos de Gray com o garoto suspenso em linhas muito finas. Um tubo de vidro atritado é mantido próximo a suas pernas. As mãos e o rosto do garoto atraem lâminas de latão. Figura extraída de Doppelmayer (1774); também disponível em Heilbron (1979, p.247).

1. Agora, farei alguns relatos dos experimentos que fizemos [na casa] do Sr. Wheler. Começarei com o sucesso que obtivemos em repetir o experimento do Sr. Dufay. O Sr. Wheler, logo após a minha chegada [à sua casa], conseguiu linhas de seda fortes o suficiente para sustentar o peso de seu jovem criado [*footboy*], um bom rapaz robusto. Então, tendo suspenso-o nas linhas, o tubo sendo [p.19] aplicado nos seus pés ou mãos, e o dedo de qualquer um que estivesse em pé colocado próximo a suas mãos ou face, ele¹⁹ encon-

19 Provavelmente, Gray refere-se à pessoa que está em pé com sua mão próxima ao garoto suspenso. O mesmo efeito é sentido pelo garoto suspenso. Isso foi

trava-se picado ou queimado, como se fosse por uma faísca de fogo, [tal] como o Sr. Dufay havia relatado, e o estalido foi ouvido ao mesmo tempo. Mas isso não aconteceu conosco quando aplicamos nossas mãos a qualquer parte do seu corpo através das suas roupas, exceto sobre suas pernas, quando ele sentia a dor através de suas meias, embora elas fossem muito grossas.²⁰

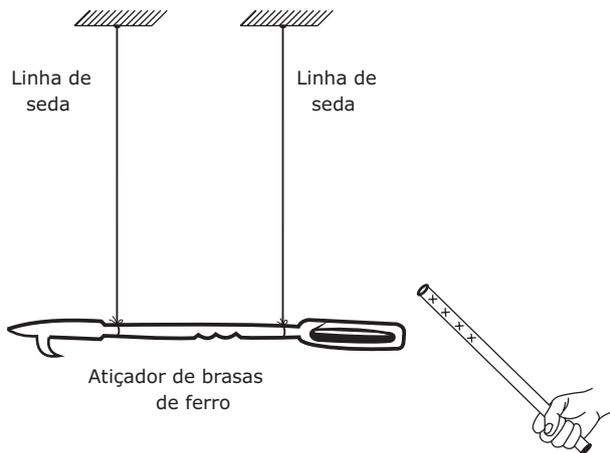


Figura 11.2 – Atizador de brisas de ferro pendurado em linhas isolantes, com o tubo eletrizado sendo aproximado do punho do atizador.

2. Estávamos ansiosos para realizar o experimento em outras espécies de animais. [Então,] pegamos um grande galo branco e o suspendemos nas linhas [de seda], inicialmente vivo. [Após a aplicação do tubo eletrizado] os efeitos foram os mesmos que ocorreram com o garoto, quer aproximássemos nossos dedos de qualquer parte do seu corpo ou nossa face de seu bico, crista ou garra. Em seguida, o galo foi morto e colocado sobre as linhas novamente.

afirmado explicitamente por Du Fay (Du Fay, 1733-4, p.261; Boss; Caluzi, 2007, p.642).

20 Em seu artigo, Du Fay reporta que as picadas eram tão perceptíveis sobre a pele nua quanto com roupa (Du Fay, 1733-4, p.261-2; Boss; Caluzi, 2007, p.642).

Encontramos muito pouca diferença do efeito que tinha sobre nós quando o galo estava vivo, se é que houve alguma [diferença]. Então, deparamos o galo, e a diferença para o que já foi dito antes não foi muito grande.

3. Pegamos um grande lombro de carne bovina, o qual veio de um boi que tinha sido morto dois dias antes, e o suspendemos nas linhas de seda. Então [após a aplicação do tubo eletrizado], os dedos [foram] colocados próximos a qualquer parte dele, houve um estalo e os dedos foram empurrados ou picados. Mas penso que o estalo não foi tão alto como quando o experimento foi feito com o galo.

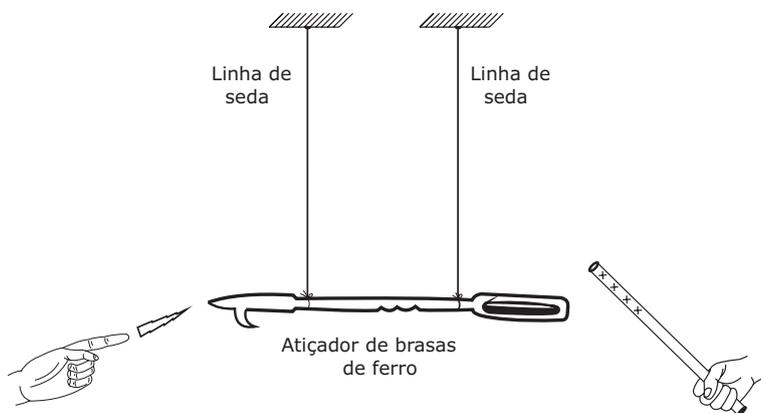


Figura 11.3 – O tubo eletrizado é mantido próximo ao punho do atizador. Quando uma mão é aproximada da ponta do atizador, surgem faíscas e estalidos entre a mão e a ponta.

4. Providenciamos para que fosse feita uma vara de ferro que tinha 4 pés [1,2 m] de comprimento e cerca de 0,5 polegada [1,3 cm] de diâmetro, pontiaguda em cada extremidade mas não afiada, sendo deixada com o tamanho da cabeça de um pino, e essa [vara] sendo suspensa nas linhas [de seda isolantes]. Então, o tubo foi atritado e mantido próximo de uma extremidade da [p.20] vara, e depois o dedo ou a face foi colocada próxima a qualquer

uma das extremidades da vara.²¹ O efeito foi o mesmo como quando um animal foi suspenso nas linhas, com relação à dor da picada que sentimos.

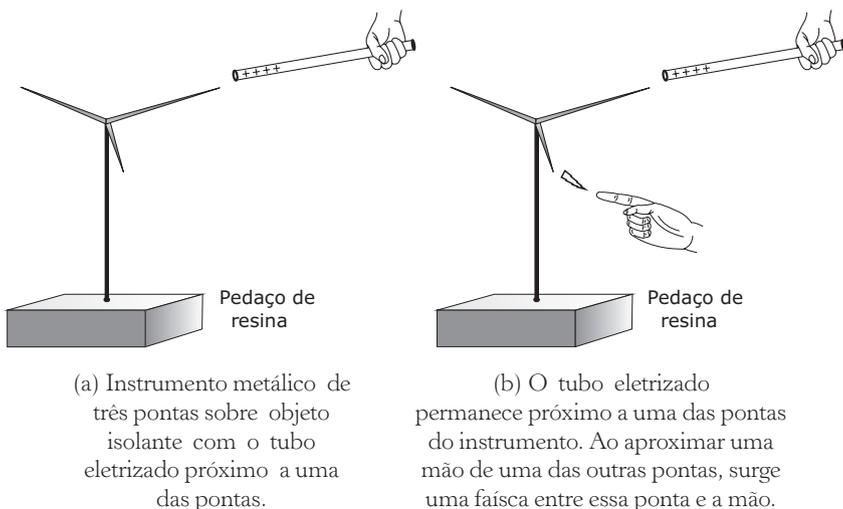


Figura 11.4 – Instrumento metálico de três pontas sobre objeto isolante com o tubo eletrizado e a mão próximos das pontas.

5. À noite, fizemos a parte luminosa do experimento, suspendendo a vara de ferro nas linhas de seda. Então, aplicando uma das extremidades do tubo [de vidro eletrizado] a uma das extremidades da vara; não apenas essa extremidade tinha luz sobre ela, mas ao mesmo tempo procedia uma luz da outra extremidade,²² estendendo em forma de cone, cujo vértice era a extremidade da vara. Pudemos ver claramente que ela [a luz] consistia de linhas, ou raios de luz, divergindo a partir da ponta da vara, e os raios exteriores sendo

21 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.5.

22 Supomos que a luz aparecia nas pontas da vara metálica quando algo era aproximado a ela, por exemplo, uma mão, após a aplicação do tubo eletrizado.

encurvados.²³ Essa luz era acompanhada de um pequeno assobio [*hissing noise*].²⁴ Toda pancada que damos no tubo faz com que a luz apareça. O assobio parece começar naquela extremidade da vara próxima ao tubo, aumentando sua intensidade desde [o momento] em que surge, mas é tão baixo que não é ouvido sem boa atenção, e apenas por aqueles que estão em pé na extremidade da vara de onde a luz mencionada procede.

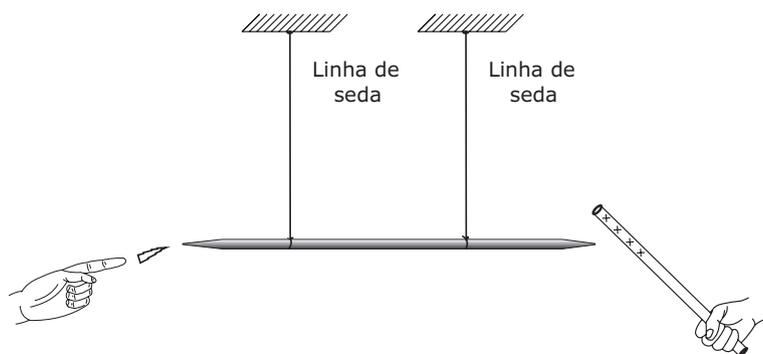


Figura 11.5 – Vara de ferro dependurada em linhas de seda. À direita, o tubo eletrizado próximo a uma das pontas da vara. Quando se aproxima um dedo da outra ponta, surge uma faísca entre essa ponta e o dedo.

Como o Sr. Godfrey estava ansioso para ver esses experimentos, eu os repeti, colocando uma vara de ferro sobre um pedaço de goma-laca [*shell-lake*], que foi colocado sobre um recipiente de vidro.²⁵ Mas como os efeitos foram os mesmos que aqueles men-

23 Talvez essa descrição de Gray refira-se a raios semelhantes àqueles emitidos por geradores de Van der Graaff ou por bobinas de Tesla durante a descarga elétrica, que ocorreriam entre a vara metálica eletrizada e a mão próxima a ela.

24 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.6.

25 A ideia de colocar a vara metálica sobre um pedaço de goma-laca e de vidro é para deixá-la isolada eletricamente. Esse isolamento foi obtido nos experimentos anteriores suspendendo-a em linhas de seda.

cionados anteriormente, não preciso mencionar qualquer outra particularidade.

1. Agora, farei alguns relatos dos experimentos que tenho realizado desde o meu retorno a Londres, que ocorreu no último mês de setembro. Providenciei para que fossem feitas três varas de ferro, uma com 4 pés [1,2 m] de comprimento, e duas com 3 pés [90 cm] de comprimento cada. Uma delas foi feita [de forma que] se afilava em direção às extremidades e era pontiaguda, como aquela de 4 pés [1,2 m]. [p.21] A outra [vara era] pontiaguda [apenas] em uma extremidade, [sendo que] a outra extremidade não era pontiaguda. O diâmetro das varas tinha aproximadamente 0,5 polegada [1,3 cm]. Elas foram inicialmente forjadas, então [foram] limadas e polidas. Com estas [varas] fiz os experimentos a seguir. Quando qualquer uma delas foi colocada sobre a borda de um cilindro de vidro oco bem aquecido ou sobre pedaços de resina e cera de abelha, ou sobre aqueles [pedaços] de enxofre, o fenômeno foi o mesmo, como ocorreu quando tinham sido suspensas nas linhas de seda.²⁶ Mas agora descobri outra coisa muito surpreendente, a saber, que depois que o tubo foi aplicado e a luz vista em ambas as extremidades, na minha ida para a outra extremidade da vara, quando não havia luz para ser vista, colocando minha mão a alguma distância dela e depois movendo minha mão em direção a ela com um movimento muito rápido, lançou-se da ponta da vara um cone de luz, como quando o tubo tinha sido aplicado na outra extremidade.²⁷ E, ao repetir esse movimento da minha mão, o mesmo fenômeno apareceu por cinco ou seis vezes sucessivamente, apenas os raios foram cada vez menores do que o outro [anterior]. Essas luzes também são acompanhadas de um assobio. Aquela luz que aparece na extremidade próxima ao tubo, quando ele é colocado obliquamente ao eixo da

26 Aqui Gray coloca de forma explícita que suspender um objeto nas linhas de seda ou apoiá-lo sobre qualquer material isolante gera os mesmos resultados nos experimentos. Como dissemos há pouco, a função da suspensão em linhas de seda e do apoio em materiais isolantes é a mesma, ou seja, isolar eletricamente as varas metálicas.

27 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.7.

vara, tem seus raios tendendo em direção a ele.²⁸ Todas as vezes em que estou atritando o tubo, esses *flashes* de luz aparecem em todos os movimentos da minha mão, para cima ou para baixo do tubo, mas os maiores *flashes* são produzidos pelo movimento da minha mão indo para baixo.

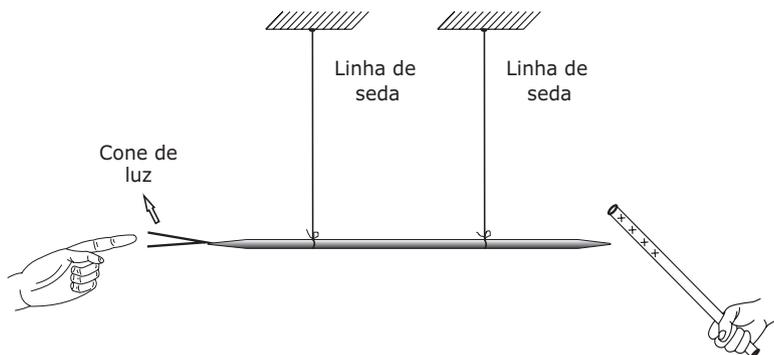


Figura 11.6 – Vara de ferro dependurada em linhas de seda, com um tubo de vidro eletrizado próximo a uma de suas pontas. À esquerda, temos a mão próxima à outra ponta da vara, com os raios divergindo a partir da extremidade em forma de cone.

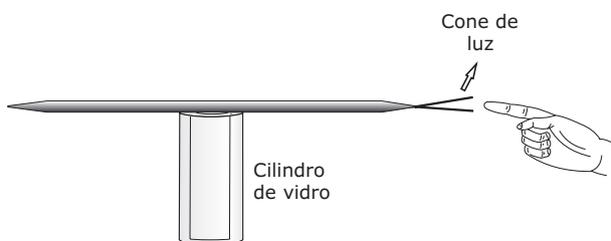


Figura 11.7 – Vara de ferro sobre um cilindro de vidro. À direita, a mão próxima à ponta da vara eletrizada e os raios em forma de cone.

28 Isto é, os raios parecem partir da extremidade da vara metálica, indo em direção ao tubo de vidro eletrizado.

2. Quando duas ou três varas são colocadas em linha reta, ou fazendo qualquer ângulo uma com a outra, ou se tocando, ou estando a uma pequena distância uma da outra, o tubo sendo aplicado em uma das extremidades delas, a extremidade mais distante da vara mais afastada exhibe os mesmos fenômenos como [se fosse] uma única [vara].²⁹

[p.22] 3. [Relato de] um experimento com a vara que era pontiaguda em apenas uma de suas extremidades. Quando o tubo é aplicado na outra extremidade da vara [isto é, na extremidade que não é pontiaguda], a ponta dá a mesma aparência e efeito igual ao das varas que são pontiagudas em cada extremidade. Mas a grande extremidade da vara [isto é, aquela que não é pontiaguda], quando a mão ou a face é aplicada próximo a ela, dá um único estalo. No entanto, esse [estalo] é muito mais alto do que o maior daqueles que partem da ponta da vara, e sente-se um pouco mais de dor por ele.

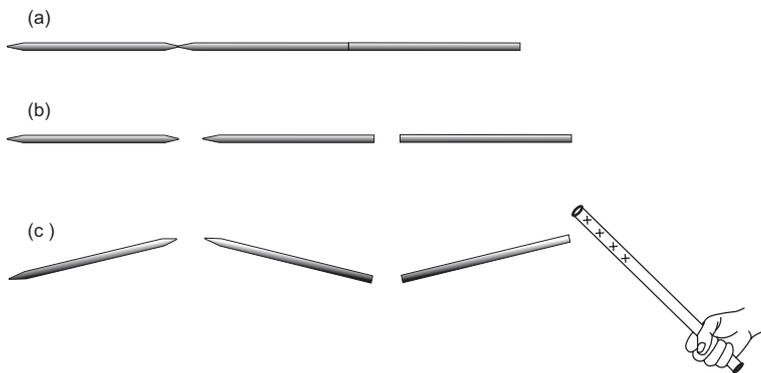


Figura 11.8 – (a) Varas colocadas em linha reta, tocando uma na outra. (b) Varas colocadas em linha reta, a uma pequena distância uma da outra. (c) Varas colocadas fazendo um ângulo uma com a outra, e com uma pequena distância entre elas. À direita, o tubo de vidro eletrizado próximo às varas da sequência (c). É importante destacar que na figura não constam as linhas ou suportes de material isolante, mas as varas no experimento deveriam estar sobre algum deles.

29 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.8.

4. Providenciei para que uma bola de ferro fosse forjada e, em seguida, girada e polida. Tinha 2 polegadas [5 cm] de diâmetro, foi colocada sobre um suporte de madeira com uma pequena concavidade na parte superior, na qual a bola foi colocada. O suporte foi colocado sobre um vidro cilíndrico, depois o tubo excitado foi aplicado próximo à bola; [com isso] procedeu uma corrente [*stream*] de luz a partir dela, com um pequeno assobio. Então, colocando meu dedo ou minha face próxima à bola, não houve estalo, nem qualquer dor foi sentida; apesar disso, apareceu uma luz muito brilhante.³⁰

5. A vara de 4 pés [1,2 m] de comprimento foi colocada sobre um suporte que tinha um braço cruzado com um encaixe nele para recebê-la. Então, sendo o suporte colocado sobre o cilindro de vidro, eles foram colocados a tal distância que uma das pontas da vara pudesse apenas tocar a bola sobre o seu centro.³¹ Então, indo para a outra extremidade da vara com o tubo preparado e aplicando-o como de costume, quando fui para a bola e aproximei a mão ou a face dela, houve um forte estalo, comparado com aqueles feitos pelas pontas das varas, e a dor da picada ou queimadura foi sentida mais fortemente; a luz também foi mais brilhante e mais contraída. Então, coloquei a vara com sua ponta a [p.23] uma polegada [2,54 cm] de distância da bola e apliquei o tubo³² como antes. Fui para a bola e toquei-a com minha mão ou dedo. [Então] apareceu não apenas uma luz na bola, mas também procedeu uma escova [*brush*] de luz a partir da ponta da vara, da mesma maneira como quando os experimentos tinham sido feitos apenas com as varas.³³

30 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.9.

31 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.10. Vale destacar que, como o texto não traz detalhes sobre o suporte com braço, a Figura 11.10 apresenta apenas uma representação dele.

32 No original, consta o termo *rod*, que estaria se referindo à vara de ferro. No entanto, acreditamos que isso seja um lapsos na descrição da experiência. Provavelmente, Gray estava referindo-se ao tubo de vidro eletrizado. Por esse motivo, utilizamos a palavra *tubo* em nossa tradução.

33 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.11.

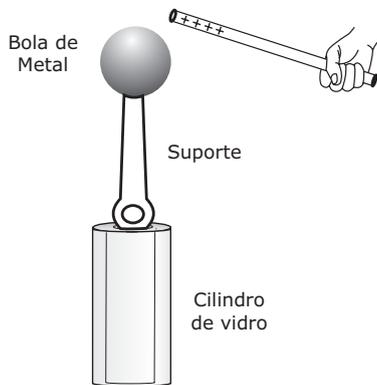


Figura 11.9 – Cilindro de vidro, suporte de madeira, bola de ferro e tubo eletrizado sendo aplicado próximo à bola.

6. [Relato de] um experimento feito com a vara de quatro pés [1,2 m] [de comprimento] e [com] uma placa de latão [*brass plate*]³⁴ de quatro pés quadrados.³⁵ Essa placa foi colocada sobre um suporte de tal forma que ficasse perpendicular,³⁶ [e] o suporte foi colocado sobre o vidro cilíndrico. Então, a vara com seu suporte de vidro³⁷ foi colocada de tal forma que uma das pontas dela estivesse a cerca de 1 polegada [2,54 cm] do centro da placa. Em seguida, o tubo foi aplicado à outra extremidade da vara.³⁸ Então, fui para a placa e, golpeando-a suavemente com meu dedo na parte de trás, uma luz apareceu na placa, e ao mesmo tempo a escova de luz saiu da ponta da vara. Quando minha mão ou face foi colocada próxima a qualquer um dos cantos da placa, houve uma luz que saiu dali

34 Nesse parágrafo, o termo *plate* será traduzido como *placa*, pois o autor faz referência às supostas pontas do *plate*.

35 Isto é, cada lado da placa quadrada tinha um comprimento de 2 pés = 0,60 m. A área é, então, de 0,36 m².

36 Gray provavelmente quer dizer que a placa está na vertical.

37 Provavelmente, refere-se ao conjunto da vara, suporte e cilindro de vidro, descrito no experimento anterior.

38 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.12.

com um pequeno assobio, e a picada foi sentida como quando os experimentos foram feitos com as varas pontiagudas.

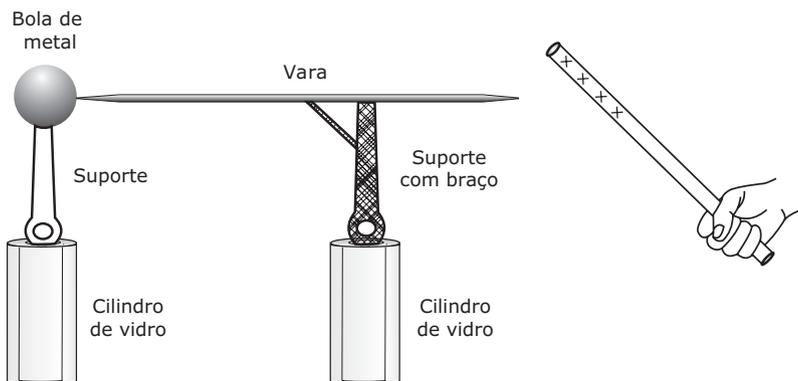


Figura 11.10 – À esquerda da figura estão o cilindro de vidro, suporte de madeira e a bola de ferro. À direita, encontram-se o suporte com braço cruzado, a vara metálica apoiada no suporte e o tubo eletrizado sendo aplicado na ponta da vara.

7. Um prato de estanho [*pewter plate*]³⁹ foi colocado sobre o suporte, o qual tinha sido colocado sobre um cilindro de vidro. O tubo, inicialmente, e depois o dedo sendo aplicados;⁴⁰ [com isso] apareceu uma luz no prato e a extremidade do dedo foi empurrada. Quando a face foi colocada próxima à borda do prato, ouviu-se um estalo, mas não tão alto como quando as varas de ferro foram utilizadas. Então, enchi o prato com água e, ao aplicar o tubo e o dedo como antes, houve a mesma luz, empurrão do dedo e estalo, como quando o experimento foi feito com o prato vazio. Quando o experimento é feito com água à luz do dia, ao aplicar [p.24] a extremidade do dedo próxima da superfície da água, parece levantar um pequeno monte; quando ocorre o estalo, ele cai novamente, colo-

39 Nesse parágrafo, o termo *plate* será traduzido como prato, pois no experimento descrito aqui ele é enchido com água.

40 Isto é, inicialmente aproximou-se o tubo de vidro eletrizado do prato de estanho. Mantendo o tubo próximo do prato, aproximou-se, então, um dedo de outra parte desse prato.

cando a água em movimento ondulatório próximo ao lugar onde a água havia levantado.⁴¹

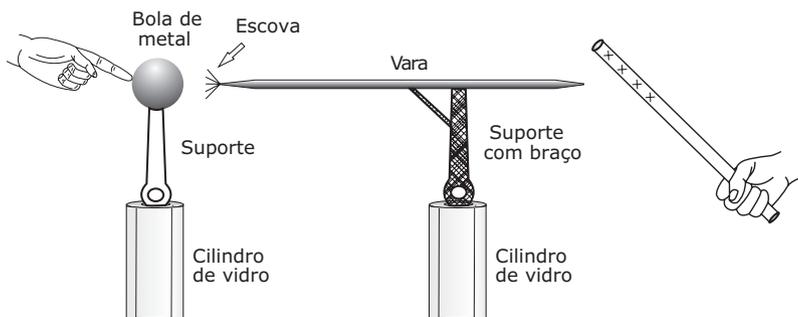


Figura 11.11 – À esquerda da figura estão o cilindro de vidro, suporte de madeira, a bola de ferro e a mão encostada na bola. À direita, encontram-se o suporte com braço cruzado, a vara metálica apoiado no suporte, e o tubo eletrizado próximo à vara.

8. Peguei um prato de madeira [*wooden dish*] e coloquei-o sobre o suporte, inicialmente vazio. Então, aplicando o tubo e o dedo⁴² próximo ao prato, apareceu uma luz, mas não houve empurrão do dedo nem estalos. Depois, enchi o prato com água e, ao colocar o tubo sobre a superfície da água, apareceu uma luz maior do que quando o dedo tinha sido aplicado ao prato vazio, mas não houve estalo.⁴³ [Pórem,] ao colocar o tubo, depois de tê-lo atritado bem, à distância de 2 ou 3 polegadas [5 ou 7,5 cm] do dedo que estava colocado próximo à superfície da água, então o dedo foi empurrado e o estalo escutado, como quando o experimento foi feito com o prato de estanho.⁴⁴

41 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.13.

42 No original consta o termo *fin*. Provavelmente, é um lapso de redação, devendo referir-se a *finger*, isto é, dedo.

43 A ilustração de uma possível conformação deste experimento pode ser vista na Figura 11.13 com a substituição do prato de estanho por um de madeira.

44 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 11.14.

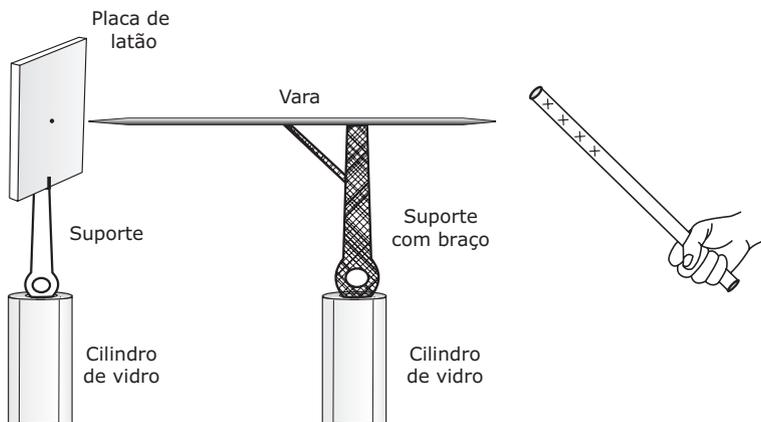


Figura 11.12 – À esquerda da figura estão o cilindro de vidro, suporte de madeira e placa de latão. À direita, encontram-se o suporte com braço cruzado, a vara metálica apoiada no suporte e o tubo eletrizado.

Por esses experimentos vemos que podem ser produzidas pela comunicação da eletricidade uma chama real de fogo, uma explosão e uma ebulição da água fria.⁴⁵ Embora esses efeitos estejam presentes, mas em *minimis* [isto é, em intensidade muito pequena], é possível que no tempo certo possa ser encontrado um meio de coletar uma grande quantidade deles. Conseqüentemente, [será então possível] aumentar a força [*force*] desse fogo elétrico,⁴⁶ o qual, por meio de vários outros experimentos [*Si licet magnis componere parva*]⁴⁷ parece ser da mesma natureza do trovão e do raio.⁴⁸

45 A chama provavelmente refere-se à faísca ou luz emitida pelos objetos; a explosão refere-se aos estalidos; e a ebulição da água fria provavelmente refere-se às gotículas de água que se depositam no tubo eletrizado quando colocado próximo à superfície da água.

46 Experiências realizadas posteriormente com a garrafa de Leiden confirmaram essas previsões de Gray. Foi, então, possível não apenas armazenar a eletricidade, mas aumentar bastante os efeitos observados nas descargas elétricas.

47 Citação de um poema de Virgílio. Tradução: “Se for permitido comparar as coisas pequenas às grandes”.

48 Essa sugestão de Gray de que o raio e o trovão seriam fenômenos elétricos análogos às faíscas e estalidos que observou, mas com intensidade muito

O mais obediente e humilde servidor
do Senhor e da Sociedade,
Stephen Gray.

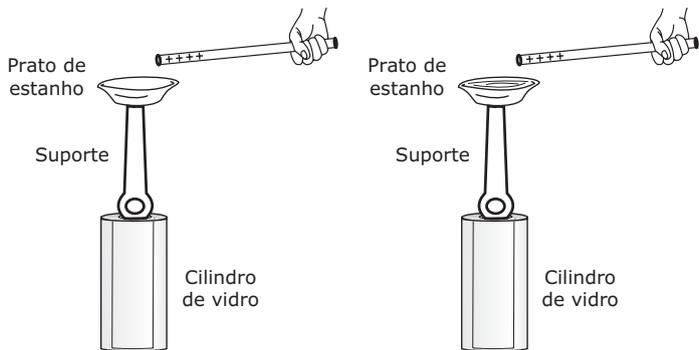


Figura 11.13 – Cilindro de vidro, suporte de madeira e o prato.

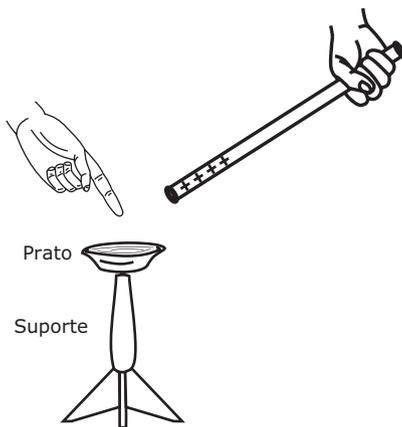


Figura 11.14 – Um dedo está próximo da água do prato. Ao aproximar do dedo um tubo de vidro bem eletrizado, o dedo é empurrado e ouve-se um estalido.

maior, foi depois confirmada pelas experiências da década de 1750, realizadas após os trabalhos de Benjamin Franklin (1706-1790).

12

ARTIGO 8 – UMA CARTA DE STEPHEN GRAY, F. R. S. PARA DR. MORTIMER, SECR. R. S. CONTENDO ALGUNS EXPERIMENTOS RELACIONADOS À ELETRICIDADE

As linhas a seguir contêm um relato dos experimentos elétricos que tenho feito desde aqueles últimos comunicados para a Sociedade em fevereiro passado.^{1,2,3,4}

No dia 18 de fevereiro, experimentei qual efeito seria produzido em várias espécies de madeira no que diz respeito à parte luminosa da eletricidade. Foram feitas varas de madeira tendo a mesma forma que aquelas de ferro mencionadas na minha carta anterior sobre esse assunto.⁵ As madeiras utilizadas foram abeto, freixo [*ash*] e azevinho [*holly*]. Elas foram sucessivamente dispostas sobre corpos elétricos, da mesma maneira que as varas de ferro.⁶

1 Tradução de Gray (1735-6c, p.166-170).

2 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

3 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p.] indicam a página original do texto em inglês.

4 Refere-se a Royal Society.

5 Gray refere-se à carta Gray (1735-6b, p.162-4), cuja tradução pode ser encontrada no capítulo anterior deste livro.

6 As varas de madeira poderiam tanto estar suspensas por linhas de seda quanto apoiadas sobre blocos de resina, cera ou enxofre. Nessas situações, elas estariam isoladas eletricamente da Terra.

Quando o tubo [de vidro eletrizado] foi aplicado a uma de suas extremidades, apareceu uma luz sobre ela, mas não com força [*force*] tão grande, e a luz também não se estendeu a tão grande distância.⁷

O formato [da luz] também não foi cônico, mas sim algo cilíndrico. A extremidade dela parecia consistir de uma pequena franja de luz. Depois que cessava a luz que era dada para a vara pela aplicação do tubo, [então] com um movimento da minha mão em direção à ponta da vara, a luz saía novamente, como foi mencionado [ocorrer] com as varas de ferro [da carta anterior]. Mas quando a mão ou o dedo era mantido próximo à ponta dessas varas de madeira, não foi sentida qualquer picada ou empurrão do dedo, como [foi sentido] quando as varas de ferro tinham sido utilizadas. Eu tinha feito algumas dessas varas com uma das extremidades muito maior do que a outra,⁸ e agora, aplicando o meu dedo [p.167] à extremidade maior, não apenas apareceu uma luz, como também o dedo foi empurrado, especialmente quando a vara de azevinho foi utilizada, e houve uma pequena picada no rosto,⁹ mas a dor não foi tão grande como quando as varas de ferro foram utilizadas.¹⁰ A maior extremidade da vara foi apontada com um ângulo muito maior do que a extremidade menor, contudo, houve uma diferença muito pequena, se é que houve alguma [diferença], na forma ou grandeza da luz que procedia a partir de ambas as extremidades.

7 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 12.1. Estamos supondo aqui a vara suspensa por linhas de seda, mas ela poderia estar apoiada sobre algum material isolante.

8 Provavelmente, o diâmetro das extremidades da vara era diferente, sendo que uma das extremidades tinha um diâmetro muito maior do que o da outra.

9 No original aparece *cheak*. Pode ser um erro de escrita, referindo-se a *cheek*, cuja tradução é rosto, mas também pode ser a forma arcaica da palavra.

10 Gray reporta que, ao aproximar o dedo da extremidade maior da vara (de maior diâmetro), houve emissão de luz e um empurrão no dedo. Isso nos dá a impressão de que o fenômeno ocorrido teve maior intensidade. Em nossos experimentos sobre a eletrização de varas metálicas (ver Experimento 21.2), quando o tubo de PVC eletrizado era aproximado da extremidade não pontiaguda de uma vara metálica, em geral, ocorria apenas um estalido mais alto, mais intenso do que aqueles que ocorriam na extremidade pontiaguda (isso está descrito na p.417 deste livro).

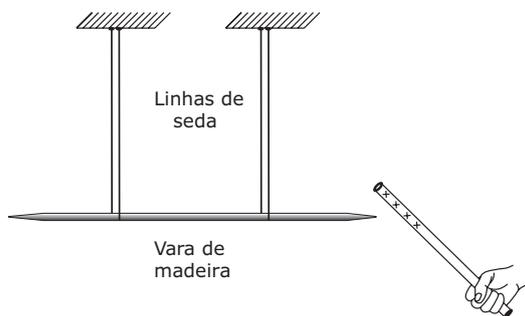


Figura 12.1 – Vara de madeira pendurada em linhas isolantes de seda, com o tubo eletrizado sendo aproximado de uma de suas extremidades.

Consegui dois pares de linhas feitas de fios de lã [*worsted yarn*], um deles de cor azul da [borboleta] Mazareen Blew¹¹ e o outro de cor escarlate. No dia 3 de abril, suspendi o garoto, inicialmente, nas linhas azuis e descobri que todos aqueles efeitos foram os mesmos, como quando ele foi suspenso em linhas de seda azul.¹² Em seguida, eu o suspendi nas linhas escarlates, mas agora, embora o tubo fosse tão bem excitado e o experimento repetido muitas vezes, não houve qualquer efeito produzido no garoto. Não houve a atração de uma linha pendular, nem a picada ou queimadura por meio da aplicação da mão próxima a ele. Então, coloquei uma das varas de ferro, inicialmente, nas linhas azuis e todos os mesmos efeitos foram exibidos, como quando a mesma vara tinha sido colocada em linhas de seda daquela cor. Mas colocando a mesma vara nas linhas escarlates, nenhuma forma de atração etc. foi percebida.¹³

11 Gray está dizendo que um par de fios de lã tem a mesma cor azul que a borboleta Mazarine Blue, nome em inglês da espécie *Polyommatus semiargus*, também conhecida como *falsa limbada*.

12 Nas cartas anteriores, Gray utilizou linhas de seda em vários momentos, mas não especificou as cores das linhas.

13 A questão de as cores interferirem de alguma forma nos experimentos sobre eletricidade já havia aparecido no artigo de 1731 (Gray, 1731-2c, p.44; ver Capítulo 7 deste livro), o qual Gray encerra comentando sobre uma suposta

Na *Philosophical Transactions*, n. 422,¹⁴ apresentei um relato dos experimentos em que fiz a comunicação da eletricidade para a água, e que a água é atraída pelo tubo [de vidro eletrizado], junto com várias circunstâncias notáveis nas quais essa atração está presente. Mas agora descobri que, quando o suporte com aqueles pequenos copos de marfim [p.168] lá mencionados é colocado sobre qualquer corpo elétrico, os mesmos fenômenos são produzidos, não apenas mantendo o tubo próximo à água, mas [também] quando ele é removido e a ponta do dedo colocada sobre a água. A saber, ocorre um pequeno monte, ou protuberância, de água no formato cônico, e a partir do vértice dele procedem uma luz e um pequeno estalo.^{15,16}

diferença de atração em pedaços de um mesmo material que tinham cores diferentes. Porém, Du Fay (1733-4, p.259-60)* realizou alguns experimentos sobre essa questão e concluiu que pedaços de diferentes cores de um mesmo material não apresentam diferenças na atração.

* A tradução deste texto pode ser encontrada em Boss e Caluzi (2007).

14 Refere-se ao texto Gray, 1731-2a, p.227-30, cuja tradução pode ser encontrada no Capítulo 8 deste livro.

15 No experimento a que Gray se refere, do texto Gray (1731-2a, p.227-30), o recipiente de marfim é colocado sobre um suporte condutor, como ilustra a Figura 12.2. Aqui, ele coloca o pequeno copo de marfim sobre uma base isolante e verifica os mesmos efeitos reportados anteriormente.

16 Do ponto de vista da Física atual, quando o recipiente de marfim é colocado sobre um suporte de material condutor elétrico, todo o sistema é condutor. Supomos que o marfim seja condutor a partir dos experimentos descritos por Gray (1731-2c, p.201), em que uma bolinha desse material é acoplada a varetas de abeto e atrai lâminas metálicas (ver Fig. 7.1). Na medida em que todo o sistema é condutor, a água é eletrizada por indução com a aproximação do tubo de vidro atritado, ficando com uma carga oposta à do tubo. Mas, com o afastamento do tubo, ela volta a ficar neutra, já que o sistema está aterrado.

No entanto, quando o suporte no qual o recipiente de marfim está apoiado é isolante, a água e o recipiente são eletrizados com a aproximação do tubo por pequenas descargas elétricas ou faíscas que ocorrem entre a água e o tubo. A água e o recipiente ficam, então, eletrizados com cargas de mesmo sinal que o tubo. Com o afastamento do tubo eletrizado, a água e o recipiente permanecem eletrizados com cargas de mesmo sinal que o tubo. Dessa forma, a aproximação do dedo após a aplicação do tubo faz com que haja os efeitos descritos por Gray, sendo que a luz e o estalido por causa da descarga elétrica que provavelmente ocorre entre o dedo e a água eletrizada.

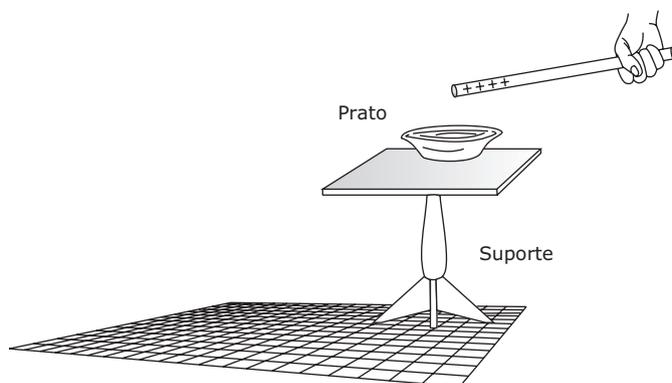


Figura 12.2 – Suporte com base de marfim e com o pequeno plano parafusado na parte superior. Sobre o plano está o pequeno prato de marfim preenchido com água, e sobre a água o tubo de vidro eletrizado.

No dia 6 de maio, fizemos o experimento a seguir. O garoto foi suspenso em linhas de seda e o tubo foi aplicado próximo a seus pés, como de costume. Então, o menino colocou a ponta do seu dedo próximo à mão de um senhor que estava em pé sobre um bolo feito de goma-laca [*shell-lack*] e resina preta [*black rosin*]. Ao mesmo tempo havia outro senhor que estava em pé do outro lado do garoto com uma linha pendular.¹⁷ Em seguida, foi pedido ao garoto para manter seu dedo próximo à mão do primeiro senhor, o qual foi picado, e um estalo foi ouvido. Ao mesmo tempo, a linha [pendular] que estava, pela atração do menino, indo em sua direção, caiu, tendo o garoto perdido grande parte da sua atração. Em um segundo movimento de seu dedo para a mão do senhor, a atração cessou. Então, a linha pendular foi colocada próxima àquele senhor [que estava isolado sobre a goma-laca], e ele estava atraindo muito fortemente.¹⁸ Mas, tendo repetido esse

17 O segundo homem estava provavelmente aterrado, não estando isolado eletricamente do solo.

18 Do ponto de vista da Física atual, o garoto suspenso em linhas isolantes fica polarizado eletricamente por meio da aproximação do tubo de vidro atritado. Vamos supor que o tubo esteja positivo. Então, a parte do garoto próxi-

experimento desde então, descobri que, embora a atração do garoto tivesse diminuído bastante, ele ainda não a tinha perdido totalmente, até que houvesse duas, três e, algumas vezes, quatro aplicações do seu dedo na mão daquele [homem] que estava em pé sobre o corpo elétrico, mas sem tocá-lo. Em outro momento, fiz com que três pessoas ficassem em pé, uma delas sobre um bolo de goma-laca etc., outra sobre um bolo de enxofre, e a terceira sobre um bolo de cera de abelha e resina. Estando as pessoas todas de mãos dadas, o garoto aplicou seu [p.169] dedo próximo à mão do primeiro homem, [então] todos os três tornaram-se elétricos, como mostrado pela atração da linha [pendular], quando mantida próxima a qualquer um deles.

Pós-escrito

Uma repetição de alguns desses experimentos e uma adição a alguns outros feitos em 10 de junho.

No dia 10 de junho de manhã, repeti os experimentos com as varas de madeira. A maior parte do material foi feita com a vara de azevinho. Esta foi colocada sobre o cilindro de vidro, e uma tábua de abeto de aproximadamente 1 pé quadrado¹⁹ e $\frac{3}{10}$ de 1 polegada [0,8 cm] de espessura foi colocada ereta sobre um suporte, que foi colocado sobre outro cilindro de vidro, de tal forma que o centro da tábua fosse colocado próximo à ponta da vara, mas não [a ponto de] tocá-la, ficando a aproximadamente 0,5 polegada [1,3 cm] de distância. Então, o tubo

ma ao tubo ficará negativa, enquanto as partes do garoto mais afastadas do tubo ficarão positivas. Quando ele aproxima seu dedo da pessoa em pé sobre a goma-laca, ou seja, que está isolada, provavelmente ocorre uma descarga elétrica entre ambos. Sendo assim, o garoto perde parte das cargas positivas de seu dedo e o homem isolado fica eletrizado positivamente. Embora agora o garoto possua uma carga resultante negativa, essa carga fica essencialmente na parte do garoto que está próxima ao tubo. As outras partes do menino ficam essencialmente neutras. Com isso, diminui a atração que ele exercia sobre uma linha pendular. Já o homem que estava isolado possui agora uma carga positiva, podendo então atrair uma linha pendular que se aproxime dele.

19 Isto é, um quadrado tendo lado de 1 pé = 0,30 m. Ou seja, uma área de 0,09 m².

[de vidro eletrizado] foi mantido próximo à maior extremidade da vara e saiu uma luz da extremidade menor dela, que era aquela próxima à tábua.²⁰ E, como o garoto me contou, ela foi acompanhada de um asso-bio e bateu contra a placa. Quando ele tocou a tábua, houve uma luz e, ao mesmo tempo, outra na ponta da vara. Mas ele não ouviu nenhum estalo, nem [sentiu qualquer] picada em seu dedo, como quando foram utilizadas a placa de latão e as varas de ferro.²¹

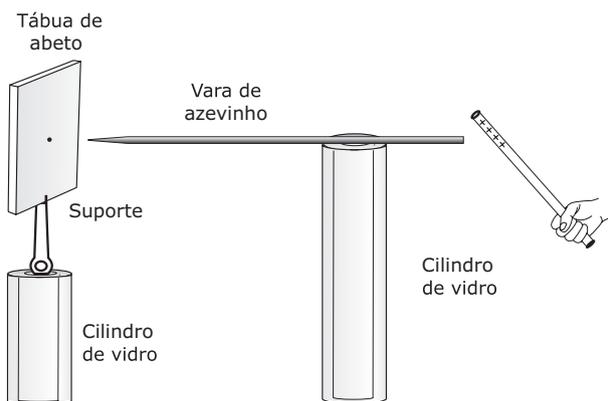


Figura 12.3 – À esquerda da figura estão o cilindro de vidro, suporte e a tábua de abeto. À direita, encontram-se a vara de azevinho apoiada no cilindro de vidro e o tubo eletrizado sendo aplicado na extremidade maior da vara.

Repetição dos experimentos com as linhas escarlate e azul de fios de lã.

Quando o garoto foi suspenso nas linhas escarlate, ele atraiu a linha [pendular] branca a uma distância muito pequena, mas a

20 A ilustração de uma possível conformação desse experimento pode ser vista na Figura 12.3. Nessa ilustração, fizemos o cilindro de vidro que suporta a vara em tamanho maior do que aquele que suporta a tábua. Isso não está descrito no texto, mas o fizemos para que a vara apoiada sobre o cilindro ficasse com a ponta na altura do centro da tábua, como descreve o texto.

21 Não fica claro, no texto, qual é o papel do garoto no experimento, nem se ele estava sobre algum material isolante ou não.

atração cessou em aproximadamente seis ou sete segundos.²² Então, o menino foi retirado e uma vara de ferro foi colocada nas linhas [escarlate], mas não houve [p.170] atração da linha [pendular] pelo corpo da vara. Mas, quando a linha [pendular] foi colocada próxima a qualquer uma das pontas dela, houve uma pequena repulsão [da linha], e no escuro uma pequenina luz foi vista em cada extremidade da vara.

Quando o garoto foi suspenso nas linhas azuis, ele atraiu a linha [pendular] para si quando [ela] estava sendo mantida a pelo menos 1 pé [30 cm] de distância dele e manteve sua atração por aproximadamente 75 segundos. A vara de ferro manteve sua atração por não mais do que 36 segundos.

22 Nessa e nas próximas experiências, não fica claro se o tubo de vidro eletrizado ficou o tempo todo próximo aos corpos que estavam atraindo a linha pendular, ou se ele era aproximado desses corpos, sendo então afastado deles, e apenas após isso é que se aproximaria a linha pendular. Na primeira hipótese, o garoto ficaria inicialmente polarizado eletricamente por indução, por causa da aproximação do tubo eletrizado. Se o tubo fosse positivo, a parte do garoto próxima ao tubo ficaria o tempo todo negativa, sendo que as partes superficiais do garoto afastadas do tubo ficariam inicialmente positivas. Haveria, então, perda dessas cargas positivas por condução pelos fios de lã que não são totalmente isolantes, como veremos a seguir. Na segunda hipótese, para que o garoto ficasse inicialmente eletrizado, teria de haver uma faísca ou descarga entre o tubo e o garoto. O garoto iria, então, perdendo essa eletrização por condução pelos fios de lã que não são totalmente isolantes. A primeira hipótese parece-nos mais plausível, já que as cargas obtidas por faíscas ou descargas elétricas entre o tubo de vidro eletrizado e o corpo possuem pequena intensidade, só sendo perceptíveis sobre corpos pequenos como um copo isolado, mas não sobre um corpo grande como um garoto isolado. Na sequência, Gray vai comparar as propriedades isolantes de linhas de seda com cores diferentes. Independentemente de como o tubo de vidro eletrizado tenha sido utilizado, muito provavelmente Gray utilizou o mesmo procedimento com as linhas de lã de todas as cores. Conclui-se, então, que a perda de carga que ocorre nessas experiências com a passagem do tempo deve-se principalmente à condução de eletricidade pelas linhas de lã, que não se comportam como isolantes perfeitos, já que permitem uma passagem lenta da eletricidade através delas.

Experimentos feitos à tarde com um garoto, quando ele estava suspenso em linhas de seda de várias cores.

Quando ele foi suspenso em linhas azuis, manteve sua atração por 50 minutos; em linhas escarlate, por 25 minutos; em linhas cor de laranja, por 21 minutos.

Por meio desses experimentos, vemos a eficiência da eletricidade em corpos suspensos em linhas de mesma substância, mas de cores diferentes. E também que a atração permanece por muito mais tempo na seda do que na lã [*yarn*]. Consequentemente, a seda é o corpo mais apropriado que podemos utilizar para suspender aqueles corpos para os quais comunicamos uma eletricidade. Mas [falarei] mais sobre esse assunto quando retomar os experimentos a respeito da influência das cores na eletricidade. Eu sou,

o mais obediente e humilde servidor

do Senhor e da Sociedade,

Stephen Gray.

Charterhouse,

12 de junho de 1735.

**ARTIGO 9 – SR. STEPHEN GRAY,
F. R. S. SUA ÚLTIMA CARTA PARA
GRANVILLE WHELER, ESQ.; F. R. S.
A RESPEITO DAS REVOLUÇÕES QUE
PEQUENOS CORPOS PENDULARES,
PELA ELETRICIDADE, FAZEM EM
TORNO DE GRANDES CORPOS DE
OESTE PARA LESTE COMO FAZEM
OS PLANETAS AO REDOR DO SOL**

Ultimamente^{1,2,3} tenho feito vários experimentos novos sobre movimento de projétil e [sobre movimento] pendular de pequenos corpos, [movimento esse produzido] pela eletricidade, por meio da qual eles podem ser colocados a se movimentar ao redor de grandes corpos, em círculos ou elipses, e isso tanto [em revoluções] concêntricas quanto excêntricas em relação ao centro dos grandes corpos em torno dos quais se movem, de forma a fazerem muitas revoluções ao redor deles. Esse movimento ocorrerá, constantemente, da mesma forma que os planetas movem-se nos arredores do Sol, a saber, da direita para a esquerda, ou de oeste para leste. Mas esses pe-

1 Tradução de Gray (1735-6d, p.220).

2 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

3 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p.] indicam a página original do texto em inglês.

quenos planetas, se assim posso chamá-los, movem-se muito mais rápido na região do apogeu⁴ do que no perigeu⁵ de suas órbitas. Esse [comportamento] é diretamente contrário ao movimento dos planetas ao redor do Sol, como você sabe muito bem.⁶ Ainda não comuniquei esses experimentos a Royal Society, pois tenho esperança de fazer mais algumas descobertas, ou no mínimo de mostrá-los posteriormente de uma maneira um pouco mais elegante do que faço no momento, quando [então] você pode esperar ouvir relatos adicionais sobre eles.⁷

Senhor, o seu mais obediente e

humilde servidor,

Stephen Gray.

Londres, 6 de fevereiro de 1735%.

4 Ou seja, quando se encontram mais afastados do grande corpo ao redor do qual estão orbitando.

5 Quando se encontram mais próximos do grande corpo ao redor do qual estão orbitando.

6 De acordo com a segunda lei de Kepler, a lei das áreas, “Num dado intervalo de tempo t , o planeta descreve uma porção maior da órbita quando está no periélio (posição mais próxima do Sol) do que no afélio (posição mais distante do Sol)” (Nussenzveig, 2002, p.194). “Em termos qualitativos, essa lei nos diz que o planeta se moverá mais devagar, quando estiver mais afastado do Sol, e mais rápido, quando mais perto” (Halliday et al., 1996, p.61). Dessa forma, os corpos em órbita nos experimentos de Gray apresentam um comportamento contrário àquele dos planetas em torno do Sol.

7 Provavelmente, Gray fala em “ouvir relatos”, e não em “ler relatos”, porque está se referindo à apresentação dos experimentos que deveria ser feita na Royal Society.

14

ARTIGO 10 – UM RELATO DE ALGUNS EXPERIMENTOS ELÉTRICOS PLANEJADOS PARA SEREM COMUNICADOS A ROYAL SOCIETY PELO SR. STEPHEN GRAY, F. R. S. TOMADO DE SUA BOCA POR CROMWELL MORTIMER, M. D. SECR. R. S. EM 14 DE FEVEREIRO DE 173⁵/₆, SENDO O DIA ANTERIOR AO DA SUA MORTE

Experimento I

Pegue um pequeno globo de ferro de 1 polegada [2,54 cm] ou 1,5 polegada [3,8 cm] de diâmetro, o qual é colocado no meio de um bolo de resina de aproximadamente 7 ou 8 polegadas [17,5 ou 20 cm] de diâmetro.^{1,2,3} Inicialmente, o bolo [de resina] foi excitado ao ser atri-

1 Tradução de Gray (1735-6a, p.400-3).

2 O texto original em inglês apresenta várias palavras iniciadas com letra maiúscula no meio das frases, as quais optamos por grafar com letra minúscula para facilitar a leitura. Além disso, a pontuação gramatical foi alterada para facilitar a sua compreensão.

3 Os destaques em itálico no texto são dos tradutores, assim como as palavras entre colchetes. Os colchetes [p.] indicam a página original do texto em inglês.

tado suavemente, batendo nele com as mãos três ou quatro vezes, ou aquecendo-o um pouco diante do fogo. Então, prenda um corpo leve, como um pequeno pedaço de cortiça, ou de miolo de sabugo [*pith of elder*], em uma fina linha de 5 ou 6 polegadas [12,5 ou 15 cm] de comprimento,⁴ a qual é mantida entre seu dedo indicador e o polegar, exatamente sobre o globo, em uma altura tal que a cortiça, ou outro corpo leve, pudesse ficar pendurado próximo ao meio do globo.⁵ Esse corpo leve começará a se mover por si só em torno do globo,⁶ e isso constantemente, de oeste para leste, sendo a mesma direção que os planetas

4 *Thread*, no original. Gray não especifica se essa linha é feita de um material condutor como o algodão ou de um material isolante como a seda. Já Du Fay (1737, p.325), ao repetir essa experiência, afirma ser importante que a linha que sustenta a cortiça seja feita de um material isolante como a seda.

5 Ou seja, a cortiça e o centro do globo vão estar em um mesmo plano horizontal. A cortiça vai orbitar no plano equatorial do globo de ferro.

6 Uma ilustração da conformação desse experimento pode ser vista na Figura 14.1. Apresentamos a seguir uma possível explicação para esse experimento. O bolo de resina estando eletrizado eletrizará o globo de ferro, com carga de mesmo sinal, quando colocado sobre ele. O pedaço de cortiça preso à linha isolante também poderá ficar eletrizado quando colocado próximo ao globo, com carga de mesmo sinal que o bolo e o globo. A cortiça permanecerá eletrizada dessa forma se a linha que a suspende for isolante. Na medida em que o globo e o pedaço de cortiça estiverem eletrizados com carga de mesma natureza, haverá repulsão entre eles, de tal forma que seja possível a órbita. O princípio de funcionamento desse experimento seria o mesmo do pêndulo elétrico (ou eletrostático); ver Assis (2010, p.75) e Gaspar (2005, p.225). A eletrização do pedaço de cortiça pode ocorrer de duas formas: 1) Ao aproximá-la do globo eletrizado, haveria uma pequena descarga elétrica entre eles, o que permite que a eletrização dos corpos seja com cargas de mesma natureza; 2) Caso não haja a descarga elétrica entre os corpos quando próximos, as cargas do pedaço de cortiça se reorganizarão de tal forma que a região da cortiça que esteja mais próxima do globo terá cargas de sinal contrário às cargas do globo eletrizado. Essa conformação das cargas fará com que haja atração entre a cortiça polarizada e o globo eletrizado. Nesse momento, se houver contato entre a cortiça e o globo, ambos ficarão eletrizados com cargas de mesmo sinal. A partir desse instante a cortiça passará a ser repelida pelo globo.

têm em sua órbita em volta do Sol.⁷ Se o bolo de resina for circular,⁸ e o globo de ferro for colocado exatamente no centro dele, então o corpo leve descreverá uma órbita ao redor do globo de ferro, que será um círculo. Mas se o globo de ferro for colocado a qualquer distância do centro do bolo [de resina] circular, então o corpo leve descreverá uma órbita [elíptica],⁹ que [p.401] terá a mesma excentricidade que a distância do globo ao centro do bolo.

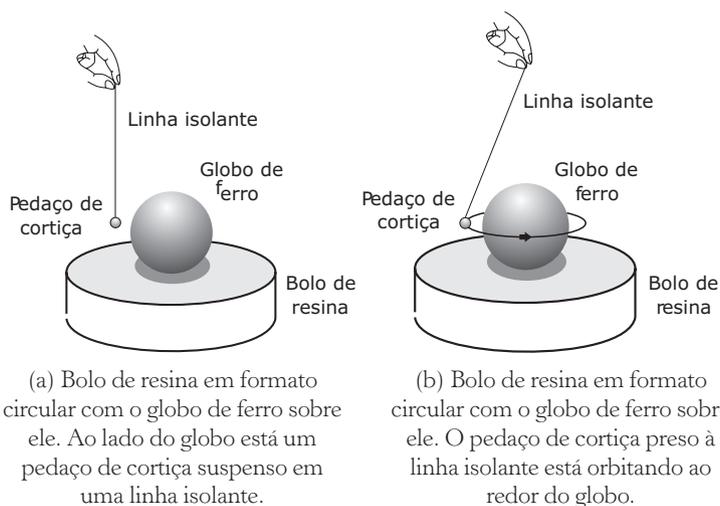


Figura 14.1 – Bolo de resina com o globo de ferro em cima, e o pedaço de cortiça preso à linha isolante está ao lado do globo (no seu plano equatorial).

7 Ao repetir essa experiência, Du Fay (1737) descobriu que o sentido da órbita era aleatório. Ou seja, algumas vezes, a órbita ia de leste para oeste, enquanto em outras ocasiões ia de oeste para leste. Sua conclusão foi a de que o sentido do movimento era provavelmente determinado por alguma perturbação nas condições iniciais. Por exemplo, a mão que segurava a linha de seda poderia naturalmente tremer, oscilar ou trepidar. Esse pequeno movimento inicial da mão determinaria o sentido do movimento da cortiça presa ao fio isolante.

8 Isto é, de formato cilíndrico, como ilustrado na Figura 14.1.

9 Colchetes do original. Provavelmente, é uma inserção do redator, Cromwell Mortimer.

Se o bolo de resina for de forma elíptica, e o globo de ferro for colocado no centro dele, o corpo leve descreverá uma órbita elíptica da mesma excentricidade que a forma do bolo. Se o globo de ferro for colocado em um dos focos do bolo elíptico, ou próximo a ele, o corpo leve se movimentará muito mais rápido na região do apogeu¹⁰ da órbita do que na região do perigeu,¹¹ ao contrário do que é observado nos planetas.¹²

Experimento II

Pegue o mesmo globo de ferro, ou um outro similar a ele, e fixe-o sobre um pedestal de ferro de aproximadamente 1 polegada [2,54 cm] de altura. Coloque-o sobre uma mesa, e então coloque em volta dele um aro de vidro, ou uma parte de um cilindro oco de vidro, de 7 ou 8 polegadas [17,5 ou 20 cm] de diâmetro e 2 ou 3 polegadas [5 ou 7,5 cm] de altura. Esse aro deve ser inicialmente excitado por meio de aquecimento e sutilmente atritado. Então, segure o corpo leve, suspenso como no primeiro experimento, e ele por si só se movimentará em torno do globo de ferro, de oeste para leste, em uma órbita circular, se o aro for circular e o globo ficar sobre o centro dele.¹³ Mas [terá] uma órbita elíptica com a mesma excentricidade, se

10 Ou seja, quando está mais afastado do globo.

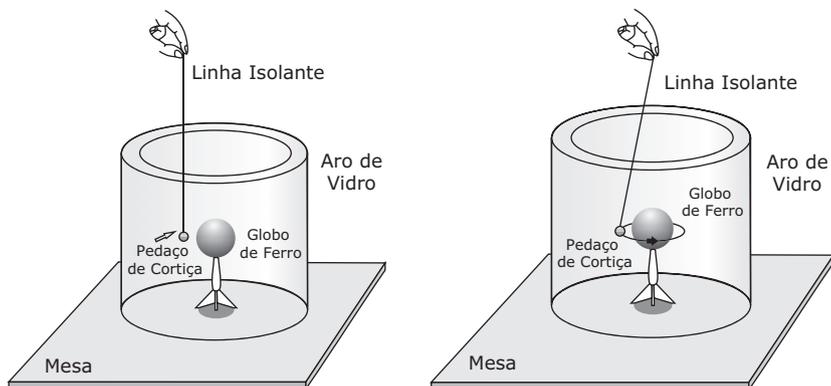
11 Isto é, quando está mais próximo do globo.

12 De acordo com a segunda lei de Kepler, a lei das áreas, “num dado intervalo de tempo t , o planeta descreve uma porção maior da órbita quando está no periélio (posição mais próxima do Sol) do que no afélio (posição mais distante do Sol)” (Nussenzweig, 2002, p.194). “Em termos qualitativos, essa lei nos diz que o planeta se moverá mais devagar, quando estiver mais afastado do Sol, e mais rápido, quando mais perto” (Halliday et al., 1996, p.61). Dessa forma, os corpos em órbita nos experimentos de Gray apresentam um comportamento contrário àquele dos planetas em torno do Sol.

13 Uma ilustração da conformação deste experimento pode ser vista na Figura 14.2. Estamos supondo que o pedaço de cortiça está ao lado do globo de ferro (no seu plano equatorial) e dentro do cilindro de vidro.

o globo não ficar no centro do aro, como no primeiro experimento, quando o globo não ficou sobre o centro do bolo [de resina].¹⁴

[Ele não mencionou o que acontecerá se o aro for elíptico. Suponho que ele não tivesse um aro oval de vidro consigo.]¹⁵



(a) Sobre a mesa está apoiado o pedestal com o globo de ferro sobre ele e o aro de vidro. Ao lado do globo está um pedaço de cortiça suspenso em uma linha isolante.

(b) Sobre a mesa está apoiado o pedestal com o globo de ferro sobre ele e o aro de vidro. O pedaço de cortiça preso à linha isolante está orbitando ao redor do globo.

Figura 14.2 – Sobre a mesa está apoiado o pedestal com o globo de ferro sobre ele e o aro de vidro, e o pedaço de cortiça preso à linha isolante está ao lado do globo (no seu plano equatorial).

14 O pedestal utilizado por Gray nesse experimento é condutor, já que é feito de ferro. Sendo assim, o globo de ferro e o cilindro de vidro que o envolve estão, inicialmente, neutros. Além disso, o globo está aterrado, pois não há qualquer base de material isolante elétrico sob ele. Do ponto de vista da Física atual, na medida em que o cilindro de vidro é eletrizado, pode ocorrer uma indução de cargas elétricas no globo de ferro, que o torna eletrizado e permite a ocorrência do fenômeno observado por Gray, isto é, a cortiça orbitar em torno do globo.

15 Colchetes do original. Provavelmente é uma inserção do redator Cromwell Mortimer.

Experimento III

Sendo esse mesmo globo de ferro colocado sobre a mesa vazia, [isto é,] sem o bolo de resina ou o aro de vidro, e o [p.402] pequeno corpo leve sendo suspenso como nos Experimentos I e II, fará revoluções em torno dele. Mas [serão] mais lentas e mais próximas [do globo] do que quando ele é colocado sobre um bolo de resina ou dentro de um aro de vidro.¹⁶

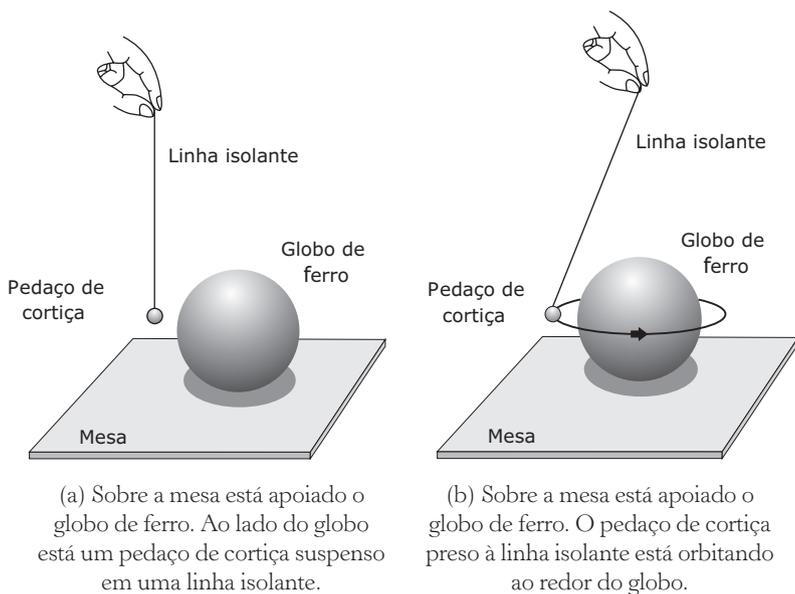


Figura 14.3 – Sobre a mesa está apoiado o globo de ferro, e o pedaço de cortiça preso à linha isolante está ao lado do globo (no seu plano equatorial).

Observações

Ele [Stephen Gray] ainda não tinha verificado se esses experimentos teriam êxito se a linha pela qual o corpo leve era suspenso

16 Uma ilustração da conformação desse experimento pode ser vista na Figura 14.3.

fosse segurada por qualquer outra coisa que não uma mão humana. Mas ele imaginava que pudesse acontecer o mesmo [fenômeno] se a linha fosse segurada, ou fixada, por qualquer substância animal. E pretendia testar [como suporte] o pé de uma galinha, um pedaço de carne cru ou similares.

Ele imaginava explicar os aspectos particulares expostos anteriormente, pelo seguinte estranho fenômeno, o qual me assegurou que estava muito certo [da sua existência], tendo frequentemente o observado. A saber, se um homem apoia seus cotovelos sobre seus joelhos, colocando suas mãos a uma pequena distância uma da outra, elas gradualmente acederão uma para a outra, sem qualquer vontade ou intenção do homem de juntá-las. E elas recuarão por si só novamente. Da mesma maneira, a mão será atraída pelo corpo. Ou a face de um homem, se ele ficar em pé próximo a uma parede, será atraída para a parede, e será novamente repelida por ela.

Ele me contou que havia pensado nesses experimentos apenas por um tempo muito curto antes de adoecer e que não os tinha, ainda, testado com uma variedade de corpos. Mas que, a partir do que já tinha visto sobre eles, o surpreendiam toda vez que os repetia, ele esperava e deveria, se Deus poupasse a sua vida um pouco mais, a partir do que esses fenômenos apontam, aperfeiçoar ao máximo seus experimentos elétricos. [p.403] Ele não tinha dúvidas de que em um pequeno intervalo de tempo seria capaz de surpreender o mundo com um novo tipo de planetário, nunca antes pensado. E que a partir desses experimentos poderia ser estabelecida uma certa teoria para explicar os movimentos do grande planetário do universo.

Testando esses experimentos desde a sua morte, tenho verificado que o pequeno corpo leve fará revoluções em volta de um corpo de várias formas e feito de substâncias diferentes, tão bem quanto em torno do globo de ferro, se colocado sobre o bolo de resina. Dessa forma, testei com um globo de mármore preto, um prato de areia de cor prata, uma pequena caixa de aparas [*chip box*] e uma grande cortiça. Observei que o bolo, se nada ficar sobre ele, em qualquer parte atrairia fortemente o corpo leve enquanto mantido suspenso

pela linha. Mas quando o globo, ou outro corpo, foi colocado sobre ele, a borda do bolo atraiu mais fortemente, e assim, gradualmente, parecia diminuir a atração na medida em que ele [isto é, o pequeno corpo] aproximava-se do centro [do bolo de resina], até que a uma certa distância ela era transformada em uma repulsão. Esta procedia a partir do globo, ou de outro corpo colocado sobre o bolo, o qual repelia muito fortemente o corpo leve, a menos que estivesse colocado muito próximo dele, e então o atraía fortemente. Enquanto o corpo leve está suspenso, como nos experimentos já citados, se você colocar o dedo da outra mão próximo a ele, ele voará a partir do dedo, ou será repelido por ele, com grande vigor.^{17,18}

17 Para que o dedo possa repelir o objeto leve, o dedo deve estar eletrizado com carga de mesmo sinal que o objeto.

18 Para outras informações sobre este experimento, consulte Du Fay (1737), Wheler e Mortimer (1739-41) e Wheler (1739-41).

PARTE IV
REPRODUÇÃO DOS PRINCIPAIS
EXPERIMENTOS DE GRAY COM
MATERIAIS DE BAIXO CUSTO

15

EXPERIMENTOS DO ARTIGO 1¹

Neste capítulo, vamos apresentar alguns experimentos que permitem discutir a interação de um objeto eletrizado com alguns materiais, bem como o comportamento peculiar de tais materiais diante de diferentes situações. Nos experimentos a seguir, os canudos de refresco que estiverem nos suportes de gesso não estão atritados. As subseções 1º Experimento, 2º Experimento etc. referem-se à numeração dos experimentos descritos no Artigo 1.

15.1 – 1º Experimento

Experimento 15.1 – 1º Experimento

Materiais
Canudinhos de plástico
Penugem
Papel de seda
Papel sulfite
Semente de dente-de-leão
Régua de 30 cm

1 Texto extraído de Chipman (1954). Tradução no Capítulo 5 deste livro.

Este experimento e o seguinte foram descritos por Gray em seu 10º Experimento, que será feito como o Experimento 15.17. Mas como esse experimento é outra possibilidade de verificar a interação do canudo atritado com a penugem, vamos descrevê-lo aqui. Neste experimento, vamos verificar a interação entre um canudo, de plástico atritado e alguns pequenos objetos leves. Gray utiliza em seu experimento um tubo de vidro e o atrita com a mão nua. Em vez disso, utilizamos um canudo de plástico no lugar do tubo de vidro e o atritamos com papel sulfite. No lugar do canudo, poderíamos utilizar uma régua de plástico ou de acrílico, ou um tubo de PVC. O papel utilizado para atritar poderia ser substituído por outro tipo de papel, tal como papel higiênico, guardanapo de papel, folha de caderno etc.; também poderia ser utilizada a poliamida. Apesar dessas opções, neste experimento utilizamos canudo de plástico e papel sulfite. Para iniciar o experimento, atrita-se o canudo de plástico com papel. Após atritar o canudo, podemos aproximá-lo de um versório para verificar se ele está eletrizado; o movimento da haste móvel indica que houve eletrização. O canudo de plástico atritado era segurado na posição horizontal sobre uma mesa, a outra mão segurava uma penugem de 1 cm no mesmo plano horizontal do canudo, tal como mostra a Figura 15.1.²

Então, a penugem era solta no ar a determinada distância do canudo. Na primeira tentativa, a penugem foi solta a cerca de 30 cm do canudo, mas não foi atraída, caindo sobre a mesa. Esse procedimento foi repetido várias vezes, sendo que a cada nova tentativa a distância entre o canudo e a penugem era diminuída. Após algumas tentativas, a penugem foi atraída pelo canudo a uma distância aproximada de 5 cm. O mesmo experimento foi realizado com uma semente de dente-de-leão,³ a qual foi atraída a uma dis-

2 As penugens que utilizamos tinham cerca de 1 cm de comprimento. Penugens muito maiores inviabilizam este experimento, pois são muito pesadas e caem muito rápido ao solo quando abandonadas no ar. As penugens utilizadas demoravam cerca de quatro segundos para cair à distância de 1 m (isto é, eram soltas a 1 m do chão).

3 Ver Figura 15.2.

tância aproximada de 15 cm do canudo.⁴ Este experimento também pode ser realizado com o canudo disposto na posição vertical, como ilustra a Figura 15.3. Nessa situação, caso queiramos estimar a distância entre a penugem e o canudo, a régua poderá ser presa a uma parede, por exemplo.

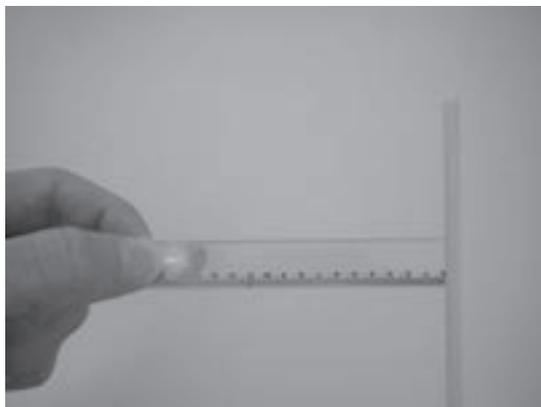


Figura 15.1 – À esquerda, temos a penugem de 1 cm sendo segurada por uma mão; à direita, temos um canudo eletrizado na posição horizontal segurado pela outra mão (a qual não aparece na foto), ambos estão cerca de 20 cm acima de uma mesa. Abaixo do conjunto pena/canudo e sobre a mesa, temos uma régua de 30 cm, utilizada para estimar a distância entre a penugem e o canudo (visão superior do aparato).

Experimento 15.2 – 1ª variação do 1º Experimento

Colocamos a penugem sobre uma superfície e aproximamos o canudo eletrizado por cima e sobre a vertical que passa pela pena. Se o canudo for colocado a determinada altura – por exemplo, de

4 As sementes de dente-de-leão demoravam cerca de sete segundos para cair à distância de 1 m.

30 cm – e for movimentado para baixo em direção à pena, lentamente, a partir de uma certa distância ela será atraída.⁵

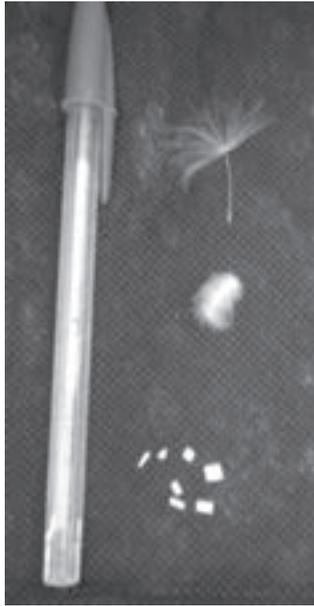


Figura 15.2 – De cima para baixo: semente de dente-de-leão, penugem de 1 cm e pedacinhos de papel de seda. A caneta foi utilizada apenas para dar noção da dimensão dos três objetos.

Este experimento também pode ser feito utilizando-se papeizinhos no lugar da penugem. Nesse caso, cortam-se vários pedacinhos de papel – pode ser qualquer tipo de papel, mas é preferível utilizar papel de seda, porque é mais leve.⁶ Coloque-os sobre uma superfície, atrite o canudo e aproxime-o deles, tal como descrito anteriormente. Vários pedacinhos de papel serão atraídos pelo canudo atritado. Geralmente, os papeizinhos atraídos grudam no canudinho eletrizado; no entanto, algumas vezes pode ocorrer de eles ricochetearem no canudo. Também é possível fazer este experimento com sementes

5 Ver Figura 15.3.

6 Ver Figura 15.2.

de dente-de-leão, utilizando o mesmo procedimento descrito anteriormente. Uma pergunta interessante que pode ser feita neste experimento é: “Um papelzinho é atraído com mais força quando está sobre um isolante ou sobre um condutor?”. Essa questão é respondida por Assis (2010) ao fazer um experimento em que um canudo de refresco eletrizado é aproximado de pedacinhos de papel colocados sobre uma folha de papel (material condutor para experimentos de eletrostática) e sobre uma chapa de isopor (material isolante). Conclui-se que a maior força é exercida sobre os pedacinhos de papel colocados sobre uma superfície condutora (Ibid., p.220-3).

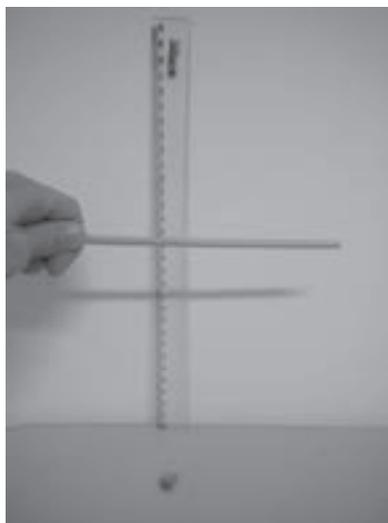


Figura 15.3 – À esquerda, temos a mão segurando o canudo eletrizado. Sobre a mesa temos a penugem e ao fundo uma régua de 30 cm encostada na parede, utilizada para estimar a distância vertical entre a penugem e o canudo (visão frontal do aparato).

Quando realizamos esse experimento colocando os objetos (penugem, semente de dente-de-leão e papezinhos) sobre uma folha de papel sulfite, obtivemos os seguintes resultados: os papezinhos foram atraídos pelo canudo de plástico atritado à distância aproxi-

mada de 7 cm; uma penugem (de cerca de 1 cm) foi atraída pelo canudo à distância aproximada de 3 a 5 cm; uma semente de dente-de-leão foi atraída a cerca de 10 cm. As cerdas de uma pena,⁷ colocada sobre uma folha de papel sulfite, começavam a se movimentar (levantar) quando o canudo estava à distância aproximada de 5 a 7 cm. Mas a pena não saiu do papel.

Experimento 15.3 – 2ª variação do 1º Experimento

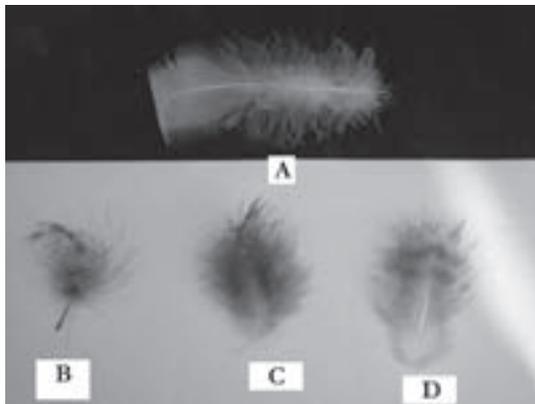


Figura 15.4 – Penas. Tamanho das penas: (a) 13 cm, (b) 6 cm, (c) 6 cm e (d) 7,5 cm.

Este experimento tem o mesmo procedimento do Experimento 15.2; a diferença é que, em vez de utilizar um canudo eletrizado, utilizam-se dois canudos eletrizados juntos. Dessa forma, no lugar de colocar um canudo sobre o objeto leve, que está sobre o papel sulfite, colocam-se dois canudos atritados (encostados lado a lado), aproximando-os lentamente do objeto, tal como descrito no experimento anterior. A diferença entre os dois experimentos é que neste o objeto leve será atraído a uma distância maior, em relação à situa-

7 Ver Figura 15.4.

ção em que se utiliza um canudo só. Por exemplo, quando realizado com a penugem, a altura dos canudos em que ocorreu a atração foi quase o dobro da altura obtida com um único canudo; as distâncias variavam um pouco em cada execução (Assis, 2010, p.131-6).

Considerações sobre os experimentos

As distâncias reportadas aqui são apenas para ilustrar os experimentos que fizemos, pois dependem de vários fatores, como o peso dos objetos, da eletrização do canudo etc. Portanto, o leitor que realizar esse experimento poderá encontrar valores semelhantes ou bastante diferentes dos apresentados. O importante, nesse caso, é o fenômeno, ou seja, o fato de haver a atração elétrica entre o canudo eletrizado e objetos leves que inicialmente não estavam eletrizados, e que ela só ocorre a partir de determinada distância. As medidas realizadas permitem discutir a variação da força de atração elétrica em relação à distância, ou seja, que a intensidade da força de atração elétrica aumenta com a diminuição da distância entre os corpos. Nos experimentos descritos aqui estamos tratando de um fenômeno de atração entre um corpo eletrizado e um corpo inicialmente neutro. Portanto, o fenômeno está relacionado à eletrização por influência do objeto leve devido à aproximação do corpo eletrizado.

Há dois experimentos descritos por Assis (2010, p.129-31) quando discute o tema “variação da força elétrica com a distância”, que permitem analisar a atração e a repulsão elétrica entre dois corpos carregados eletricamente. Nesse caso, utiliza-se um pêndulo elétrico e canudos de plástico atritados com borracha dura (com o canudo ficando eletrizado positivamente) e no cabelo (com o canudo ficando carregado negativamente). Com os canudos eletrizados com cargas de naturezas diferentes, é possível eletrizar um pêndulo elétrico por contato com um deles e analisar duas situações distintas: 1) o pêndulo sendo repelido pelo canudo que o eletrizou; e 2) o pêndulo sendo atraído pelo canudo de

carga oposta. Além disso, no início do experimento, ao aproximar um canudo eletrizado do pêndulo neutro, com a finalidade de eletrizá-lo, há atração entre um objeto inicialmente neutro e um carregado. Ou seja, é uma forma diferente de ver o fenômeno que apresentamos em nossos experimentos de Gray. Os experimentos descritos por Assis (2010, p.129-31) envolvem processos de eletrização por influência, quando o canudo carregado atrai o pêndulo neutro, e por contato (simples toque), quando há o toque entre o pêndulo e o canudo eletrizado.

O Experimento 15.3 permite a discussão sobre a relação entre quantidade de carga elétrica e força elétrica, dados três corpos A, B e C de tamanhos (ou diâmetros máximos) pequenos comparados às distâncias entre eles. Supomos que A e B estão eletrizados, enquanto C está inicialmente neutro. Seja F_{AC} a força elétrica entre os corpos A e C quando separados pela distância “d”, sendo que o corpo B está longe do conjunto AC. Seja F_{BC} a força elétrica entre B e C quando estão separados pela distância “d”, com o corpo A longe do conjunto BC. Dada essa situação, define-se “que a quantidade de carga de A é igual à quantidade de carga de B, caso $F_{AC} = F_{BC}$. Caso F_{AC} seja maior do que F_{BC} , então diz-se que a quantidade de carga de A é maior do que a quantidade de carga de B. Caso F_{AC} seja menor do que F_{BC} , então diz-se que a quantidade de carga de A é menor do que a quantidade de carga de B” (Ibid., p.131-2) Em nossos experimentos, a intensidade da força elétrica pode ser indicada pela distância em que ocorre a atração do objeto leve pela aproximação do corpo eletrizado. Ou seja, dado o mesmo objeto leve neutro sobre a mesa, dois corpos são aproximados dele, separadamente, por meio do procedimento descrito no Experimento 15.3. A intensidade da força elétrica é maior na situação em que a distância na qual a atração ocorre é maior. Então, podemos supor que nossa penugem sobre a mesa é o corpo C da definição dada anteriormente, o nosso canudo eletrizado e sozinho é o corpo A, e os dois canudos eletrizados e juntos, lado a lado, são o corpo B. Como a distância a que o corpo B atrai o corpo C é maior do que a distância a que A atrai C, conclui-se que a força elétrica F_{BC} é maior que

a força F_{AC} . Portanto, pela definição anterior, o corpo B do nosso experimento tem maior quantidade de carga do que o corpo A.⁸

15.2 – 2º Experimento

Experimento 15.4 – 2º Experimento

Materiais
Tubo de PVC Penugem Poliamida Canudos de plástico Papel sulfite Semente de dente-de-leão Papel de seda Pêndulo elétrico

O objetivo deste experimento é fazer um pequeno objeto oscilar entre dois corpos, um eletrizado (por exemplo, canudo ou tubo de PVC atritado) e o outro neutro (por exemplo, parede, mesa de madeira, mão). Em uma primeira tentativa de realizar o experimento, aproximamos um canudo atritado de uma penugem que estava sobre uma folha de papel sulfite. A penugem foi atraída e ficou grudada no canudo. Então, mantivemos a pena na altura em que estava o canudo quando ela foi atraída, cerca de 1 cm de distância da mesa. Com isso, parte dela movia-se em direção ao papel sulfite, mas ela não desgrudava do canudo.⁹ Isso ocorria também quando a penugem grudada no canudo era aproximada de um dedo da mão. Dessa maneira, não houve oscilação da pena entre o canudo e o corpo neutro.

8 Outros experimentos e outras formas de discutir a relação quantidade de carga elétrica e força elétrica podem ser encontrados em Assis (2010, p.131-6), “Seção 5.7: Variação da força elétrica com a quantidade de carga”. Isso será descrito no Experimento 15.17.

9 Ver Figura 15.5.

Na segunda tentativa, substituímos a penugem por pedacinhos de papel de seda.¹⁰ Com os papeizinhos colocados sobre a folha de papel sulfite, o canudo eletrizado foi aproximado. Foi possível ver os pedacinhos de papel oscilarem (subindo e descendo) entre o canudo e o papel sulfite. Para que essa oscilação ocorresse, o canudo teve que ser colocado bem próximo dos papeizinhos, cerca de 1 a 2 cm.¹¹



Figura 15.5 – Penugem grudada no canudo atritado sendo atraída por uma folha de papel sulfite amarelo à distância aproximada de 1 cm. Neste experimento, a penugem não se desgrudou do canudo.

Experimento 15.5 – 1ª variação do 2º Experimento

O experimento foi feito com um tubo de PVC atritado com poliâmida. Após eletrizar o tubo, uma penugem era solta no ar sobre ele, de forma que fosse atraída e tocasse o tubo eletrizado. Quando a penugem toca o tubo atritado, podem acontecer dois fenômenos distintos: 1) ela gruda no tubo por algum tempo e depois salta para

10 Ver Figura 15.2.

11 Posteriormente, esse experimento foi feito utilizando um canudo atritado e dois pequenos discos de papel (um de papel de seda e outro de papel-alumínio).

o alto;¹² ou 2) ricocheteia no tubo saltando para o alto imediatamente.¹³ Caso a pena ficasse grudada no tubo, antes que ela fosse ejetada o tubo era colocado na vertical e a outra mão era aproximada da penugem, de forma que uma ficasse de frente para outra.¹⁴ Com isso, em alguns segundos a penugem se desgrudava e voava em direção à mão, começando a oscilar por algumas vezes entre a mão e o tubo.



(a) Penugem oscilando entre a mão e tubo de PVC atritado com poliamida.



(b) Penugem oscilando entre o tubo de PVC atritado e papel sulfite.

Figura 15.6 – Interação do tubo de PVC eletrizado com a penugem.

-
- 12 Nessa situação, uma hipótese explicativa é a de que a pena pode ficar grudada devido a algum contaminante que esteja sobre o tubo, como suor ou gordura das mãos. Sendo assim, é possível que a pena se eletrize no momento do contato com carga de mesma natureza que a do tubo atritado, mas a força elétrica de repulsão, naquele momento, não é suficiente para vencer outras forças que estejam agindo no sistema. O fato de ela ser ejetada para o alto após alguns segundos pode ser explicado se admitirmos que nesse intervalo de tempo em que estão em contato a pena pode aumentar sua eletrização e, por isso, a força de repulsão também aumenta, chegando a uma intensidade que vença as outras forças e a pena salte para o alto.
- 13 Nessa situação, ao tocar o tubo, a pena é eletrizada com carga de mesma natureza que a dele, sendo repelida imediatamente.
- 14 Ver Figura 15.6a.

No caso em que a penugem ricocheteava, saltando para alto, a mão que não segurava o tubo era aproximada dela para que fosse atraída.¹⁵ Então, o tubo era aproximado da penugem grudada na mão, e dessa forma ocorria a oscilação. Em alguns momentos, os movimentos de ida e volta da pena eram rápidos e consecutivos, mas em outros momentos eram bem lentos, levando alguns segundos para a pena se desgrudar do tubo ou da mão. Dessa forma, a penugem ficava alguns segundos presa ao tubo, então deslocava-se até a mão, ficando presa a ela por alguns segundos até retornar ao tubo, e assim sucessivamente. A distância entre a mão e o tubo eletrizado varia bastante; em alguns momentos eles ficavam bem próximos, cerca de 2 cm. O mesmo experimento foi realizado com semente de dente-de-leão no lugar da penugem. Nesse caso, conseguimos que a distância entre a mão e o tubo fosse maior, cerca de 10 cm. Tentamos fazer o experimento colocando a penugem para oscilar entre o tubo e uma parede ou uma cadeira de madeira, mas não houve sucesso. Algumas vezes, a penugem até deslocava-se para a parede, mas não retornava ao tubo eletrizado, portanto não ocorriam oscilações.

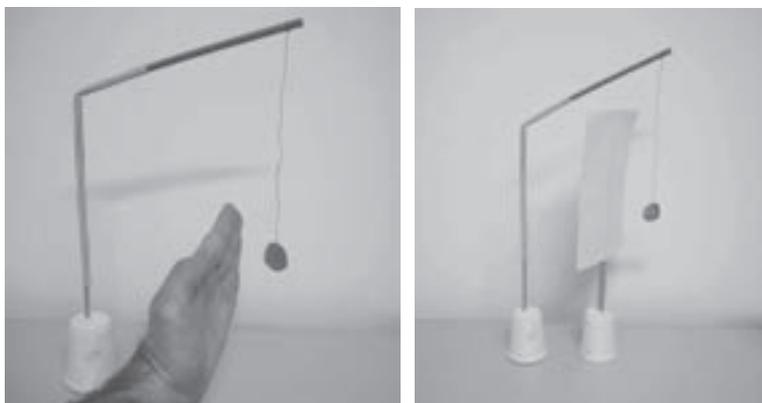
Experimento 15.6 – 2ª variação do 2º Experimento

Agora, o tubo de PVC atritado com poliamida foi aproximado de uma penugem (ou de uma semente de dente-de-leão) que estava colocada sobre uma folha de papel sulfite. Dessa forma, também foi possível ver o fenômeno de a penugem oscilar entre o tubo e o papel, ver a Figura 15.6b. Os movimentos de ida e volta da penugem eram lentos, como descrito no experimento anterior. A penugem ficava alguns segundos grudada no tubo até voar para o papel sulfite, e o mesmo ocorria quando estava sobre o papel. Contamos até doze movimentos de ida e volta da penugem neste experimento.

15 Nesse caso, a pena ejetada do tubo está carregada eletricamente e, por isso, é atraída pela mão, que está neutra.

Experimento 15.7 – 3ª variação do 2º Experimento

Outra forma de fazer o experimento é utilizando um pêndulo elétrico.¹⁶ Para isso, é preciso colocar um corpo condutor aterrado atrás do pêndulo, como mostra a Figura 15.7.



(a) Pêndulo elétrico com a mão colocada atrás do disco de papel-alumínio.

(b) Pêndulo elétrico com uma folha de papel sulfite aterrada colocada atrás do disco de papel-alumínio.

Figura 15.7 – Pêndulos elétricos com objeto condutor aterrado atrás do disco de papel-alumínio.

Então, aproxime um objeto eletrizado do pêndulo; dessa maneira haverá várias oscilações do disco de papel de alumínio do pêndulo entre o objeto eletrizado e o objeto condutor. Quando o objeto eletrizado é aproximado do disco do pêndulo, que está inicialmente neutro, o disco é atraído. Ao tocar no corpo carregado, o disco se eletriza e passa a ser repellido. Voa então no sentido da mão (ou do papel sulfite) que está do outro lado, toca nela, descarrega e passa a ser novamente atraído pelo objeto carregado. Isso se repete várias

16 Ver descrição das componentes de um pêndulo elétrico e de como construí-lo em Assis (2010, p.75-80, p.155-6), “O pêndulo elétrico” e “Componentes fundamentais de um versório, de um pêndulo elétrico e de um eletroscópio”.

vezes. Em alguns momentos, o disco começa a oscilar e sai da região entre os dois objetos, então é preciso posicioná-lo novamente e aproximar o objeto eletrizado. Note que tanto a mão quanto o papel sulfite na Figura 15.7 não tocam o disco de papel-alumínio quando esse disco está parado na vertical. Durante o experimento, a mão e o papel sulfite devem ficar parados na mesma posição inicial.¹⁷

Considerações sobre os experimentos

Nestes experimentos, é fundamental que o objeto que vai oscilar seja de material condutor elétrico. Isso permite que ele seja visivelmente atraído, por causa da grande polarização que adquire por influência do corpo eletrizado próximo a ele. Além disso, o fato de o objeto oscilante ser condutor permite que seja eletrizado por contato ao tocar o corpo carregado, e seja descarregado ao tocar um objeto condutor neutro (como a mão ou o papel sulfite). Essa sequência de eletrizações e descarregamentos é que é responsável pelo fenômeno descrito.

15.3 – 4º Experimento

Experimento 15.8 – 4º Experimento

Materiais
Canudinhos de plástico
Tubo de PVC
Semente de dente-de-leão
Algodão
Penugem
Papel sulfite
Poliamida
Diversos: mesa, parede

¹⁷ Esse experimento também pode ser visto em Assis (2010, p.88-9).

O objetivo do experimento é fazer um objeto pequeno (por exemplo, uma penugem) flutuar no ar sob a influência de um corpo eletrizado (por exemplo, canudo atritado). Para realizar o experimento, eletrize um canudo por atrito. Pegue uma penugem e solte no ar. Posicione o canudo eletrizado sob ela, de forma que seja atraída por ele. Ao tocar o objeto carregado eletricamente, a penugem será eletrizada e ejetada para o alto. Essa ejeção pode demorar alguns segundos.¹⁸ Então, o canudo atritado deve ser mantido sob a penugem, sem tocá-la, de forma que ela flutue no ar por causa da repulsão elétrica. É preciso movimentar o canudo para que ele acompanhe a pena e ela permaneça flutuando. Dessa forma, é possível levá-la pela sala “para lá e para cá” por meio do movimento do canudo atritado.¹⁹

Fizemos o experimento com uma penugem, uma semente de dente-de-leão e com um chumacinho de algodão. O tempo de queda para que caiam à distância de 1 m, quando soltos no ar, é: a penugem de 1 cm levou cerca de quatro a cinco segundos; a semente de dente-de-leão cerca de cinco segundos; fizemos três chumacinhos de algodão, levando cerca de três, cinco e sete segundos para cair. Essas informações são dadas apenas para que o leitor tenha uma ideia do peso dos objetos que utilizamos; o interessante é que ele tente fazer várias vezes, buscando a melhor maneira para os materiais que tiver disponível.

Experimento 15.9 – Com canudo atritado com poliamida

A penugem e a semente de dente-de-leão, após serem soltas no ar, grudavam no canudo; para desgrudarem, em geral, era preciso

18 Tal como discutimos no Experimento 15.5, muitas vezes a penugem gruda no objeto eletrizado, não sendo repelida para o alto. Nessa situação, às vezes, ela desgruda independentemente após alguns segundos, mas em outros casos é necessário bater suavemente no canudo para que a penugem se solte e possa flutuar.

19 Esse experimento também é apresentado por Assis (2010, p.66).

dar alguns petelecos no canudinho. Então, elas se soltavam e flutuavam no ar sobre o canudo eletrizado. Com o algodão é preciso ter mais cuidado, pois o chumacinho pode se esfacelar com os petelecos e inviabilizar o experimento.

Experimento 15.10 – Com tubo de PVC atritado com poliamida

A penugem e a semente de dente-de-leão, após serem soltas no ar, voavam para o tubo e: 1) algumas vezes tocavam no tubo e imediatamente saltavam para o alto, começando a flutuar sobre ele; 2) outras vezes grudavam no tubo, mas em poucos segundos desgrudavam sozinhas e começavam a flutuar. Poucas vezes foi preciso dar petelecos no tubo para que elas se desprendessem dele. Já os chumacinhos de algodão impuseram maior dificuldade para a realização do experimento; muitas vezes eles não desgrudavam do tubo e esfacelavam com as batidas.

Considerações sobre os experimentos

Em todos os experimentos, com qualquer tipo de material, o objeto que flutua pode ser atraído por uma mão, parede, madeira ou nosso próprio corpo. Portanto, é preciso evitar que o objeto flutuante aproxime-se deles. A partir desse experimento é possível fazer um objeto oscilar entre o corpo eletrizado e a mão, por exemplo. Conseguimos fazer isso com a mão e o tubo distantes até 10 cm, mas em outros momentos precisavam ficar bem mais próximos, cerca de 2 cm, como foi descrito no Experimento 15.5. Há um vídeo na internet que descreve um experimento com material de baixo custo muito semelhante a este que fizemos aqui; para assistir a ele, acesse o site *Ciência Tube*, <<http://cienciatube.blogspot.com/2009/03/faca-voce-mesmo-fun-fly-stick.html>> (vídeo original disponível em Sciencebob, 2008).

O vídeo está em inglês, mas não é difícil acompanhar e entender a montagem do experimento apenas pelas imagens.

Do ponto de vista físico, o experimento envolve a interação entre corpos neutros e eletrizados. O experimento começa com a eletrização de um objeto por atrito (canudo ou tubo). Quando a penugem, por exemplo, é solta no ar, ela está inicialmente neutra. O objeto eletrizado polariza a penugem quando ela fica próxima a ele. A penugem passa, então, a ser atraída pelo objeto eletrizado, por exemplo, um tubo de PVC. Com o contato entre eles, a penugem se eletriza com carga de mesma natureza que a do tubo, e por isso há repulsão elétrica entre eles. É essa repulsão elétrica que é responsável por fazer os objetos flutuarem. Uma vez que a penugem esteja eletrizada e flutuando, se for aproximada de algum corpo neutro (parede, mão, mesa etc.), haverá atração elétrica entre eles e a pena seguirá em direção ao referido corpo. Além da interação entre cargas elétricas, esse experimento envolve processos de eletrização por contato, tanto por atrito quanto por simples toque, e eletrização por influência. Neste experimento, é fundamental que o objeto que vai flutuar seja de material condutor elétrico, para que possa ser fortemente atraído pelo objeto carregado e eletrizado por contato ao tocá-lo.

15.4 – 5º Experimento

Experimento 15.11 – 5º Experimento

Materiais
Canudinhos de plástico Poste de sustentação Linhas de poliamida, poliéster, algodão, cobre, seda Papel sulfite Papel-alumínio Chumbada de pesca Tesoura

O objetivo destes experimentos é analisar a interação elétrica entre um corpo eletrizado e um objeto condutor pendurado por uma linha (“pêndulo elétrico”),²⁰ bem como se há diferença no comportamento do objeto quando preso a pêndulos aterrados ou isolados eletricamente.²¹ Para isso foram feitos pêndulos elétricos com configurações diferentes. Inicialmente, foram feitos quatro fios para pêndulos elétricos com bolinhas de papel-alumínio, ou seja, a linha com uma bolinha de papel-alumínio presa em uma de suas extremidades: 1) linha 100% algodão (de pipa); 2) linha 100% poliamida (de pesca);²² 3) linha 100% poliéster (de costura); 4) fio de cobre.^{23,24} Os fios tinham cerca de 20 cm de comprimento. Todas as bolinhas de papel-alumínio foram feitas com pedaços de papel

-
- 20 Nesta seção, por conveniência e para facilitar a escrita do texto, chamaremos de *pêndulo elétrico* qualquer instrumento que tenha um objeto condutor preso a uma linha e ambos presos a um suporte. Durante os experimentos descritos, o tipo de material do suporte e da linha serão modificados para fazermos os testes. Chamamos a atenção do leitor para o fato de que o instrumento conhecido como pêndulo elétrico é construído com um pequeno objeto condutor preso a uma linha isolante e ambos presos a um suporte também isolante (Assis, 2010, p.75; Gaspar, 2005, p.225; Ripe, 1990, “Eletrização por contato” e “Material para experiências em eletrostática”). Segundo Assis (2010, p.155), a linha (ou fio) de material isolante é fundamental, pois é ela, juntamente com o suporte isolante ao qual está presa, que deixa o instrumento isolado e impede a carga adquirida pelo pequeno objeto condutor durante o experimento de descarregar para a Terra.
- 21 Uma discussão sobre o aterramento elétrico em experimentos de eletrostática pode ser encontrada em Assis (2010, p.80).
- 22 A linha de poliamida pode ser conseguida desfiando uma meia-calça feminina. Como já dissemos, muitas delas são 100% poliamida. Caso o leitor opte por utilizar linha de pesca, deve procurar uma bastante fina, pois as mais grossas dificultam, ou até mesmo impedem, o movimento do pêndulo. Com isso, a oscilação da bolinha pode ser inviabilizada pela espessura da linha. Nesse sentido, a linha retirada da meia-calça feminina é mais profícua.
- 23 A princípio, fizemos o pêndulo com um fio de cobre retirado de um fio de cobre flexível de 1,5 mm para instalação elétrica. Posteriormente, fizemos com um fio de cobre retirado de um “cabinho” (fio de cobre flexível vendido em lojas de eletrônica), por ser mais fino e, portanto, mais adequado ao experimento, por dar mais mobilidade ao objeto preso a ele.
- 24 A linha de algodão e o fio de cobre são condutores elétricos para experimentos de eletrostática; já a linha de poliéster e a de poliamida são isolantes.

com cerca de 6 cm de comprimento por 3 mm de largura, para que tivessem aproximadamente o mesmo peso.²⁵

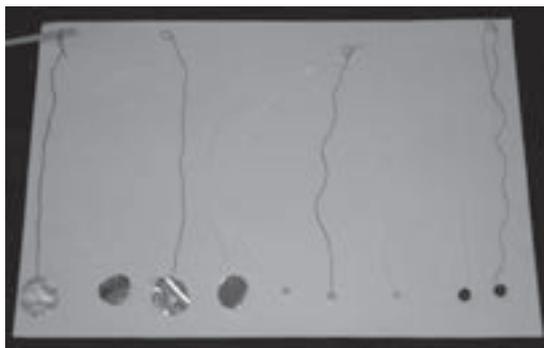


Figura 15.8 – Alguns fios de pêndulos construídos. Da esquerda para direita: 1) quatro pêndulos com disco de papel-alumínio: linha de poliamida (de “meia de seda”), linha de poliamida (linha de pesca), linha de seda, linha de algodão; 2) três pêndulos de bolinha de papel-alumínio: linha de poliamida (linha de pesca), linha de seda, linha de algodão; e 3) dois pêndulos com chumbada de pesca (as menores encontradas no comércio): linha de algodão, linha de seda.

Foram utilizados dois tipos de suporte para os pêndulos; ambos utilizavam o poste de sustentação com base de gesso e vareta vertical de palito de madeira, mas a haste horizontal era diferente: 1) canudo de plástico; 2) colchete de aço tipo bailarina.²⁶

25 Inicialmente, fizemos bolinhas com pedaços maiores de papel; no entanto, bolinhas menores permitem melhor visualização dos fenômenos. Também realizamos os experimentos com disquinhos de papel-alumínio (com diâmetro de 2 cm) e com pequenas chumbadas de pesca, em vez de bolinhas de papel-alumínio. No entanto, as chumbadas não apresentaram bons resultados para os experimentos realizados, nos parecem muito pesadas para a eletrização dos canudos ou do tubo de PVC (atritados com poliamida ou papel), pois praticamente não se movimentam com a aproximação dos objetos eletrizados. As chumbadas utilizadas foram as menores que encontramos no comércio. A Figura 15.8 ilustra alguns dos fios de pêndulos que construímos.

26 Ver Figura 15.9.

Sendo assim, os quatro fios foram colocados em ambos os suportes (de metal e de plástico), um de cada vez, para verificar se haveria diferença na atração das bolinhas de papel-alumínio pelo canudo eletrizado. A Figura 15.10 mostra um pêndulo completo utilizado por nós.

Note que o fio de pêndulo preso ao suporte (poste de sustentação + haste horizontal) feito com haste horizontal de canudo plástico está isolado eletricamente, por causa da presença do canudo, que é isolante. Já o fio preso ao suporte feito com haste horizontal de colchete de aço está aterrado, pois o colchete, a madeira e o gesso são condutores elétricos para experimentos de eletrostática. No entanto, se esse suporte estiver sobre uma base isolante (por exemplo, um pedaço de isopor), todo o sistema estará isolado eletricamente, o que não queremos para este experimento. Um dos nossos objetivos é verificar se há diferenças no comportamento de um objeto condutor sob a ação de um canudo eletrizado para pêndulos isolados e pêndulos elétricos aterrados.



Figura 15.9 – Os dois suportes: à esquerda com canudo de plástico como haste horizontal e à direita com colchete de metal como haste horizontal.

Apresentaremos agora os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados com cada tipo de pêndulo elétrico. Primeiro, apresentaremos os experimentos com os pêndulos feitos com haste horizontal de colchete de aço tipo bailarina, portanto, condutora. De-

pois, com a haste horizontal de canudo de plástico, portanto, isolante elétrico. Para realizar os experimentos, aproximamos um canudo eletrizado de cada pêndulo. O comportamento da bolinha de papel-alumínio presa à linha de cada um deles será apresentado a seguir.

Experimento 15.12 – Haste horizontal de colchete de aço

1) Pêndulo com linha de algodão. A bolinha de papel-alumínio não foi repelida. Em todas as tentativas ela foi atraída, mesmo após o contato da bolinha com o canudo. 2) Pêndulo com linha de poliamida. A bolinha foi inicialmente atraída e, após contato com o canudo atritado, foi bem repelida. 3) Pêndulo com linha de poliéster. A bolinha foi inicialmente atraída e, após vários contatos com o canudo atritado, foi repelida. 4) Pêndulo com fio de cobre. A bolinha não foi repelida. Em todas as tentativas ela foi atraída, mesmo após o contato da bolinha com o canudo.



(a) Ilustração de um pêndulo completo. Nesse caso, feito com um disco de papel-alumínio.



(b) O poste de sustentação ao fundo é referência para verificar quanto o pêndulo se desloca em relação à posição inicial. A régua na figura serve para dar noção de profundidade entre os dois postes.

Figura 15.10 – Pêndulo.

Experimento 15.13 – Haste horizontal de canudo de plástico

1) Pêndulo com linha de algodão. A bolinha de papel-alumínio não foi repelida. Em todas as tentativas ela foi atraída, mesmo após o contato da bolinha com o canudo. 2) Pêndulo com linha de poliamida. A bolinha foi inicialmente atraída e, após contato com o canudo atritado, foi bem repelida. 3) Pêndulo com linha de poliéster. A bolinha foi inicialmente atraída e, após vários contatos com o canudo atritado, foi repelida, talvez um pouco mais repelida do que no suporte de metal. 4) Pêndulo com fio de cobre. A bolinha não foi repelida. Em todas as tentativas ela foi atraída, mesmo após o contato da bolinha com o canudo.²⁷

Por causa dos resultados dos pêndulos de linha de algodão e cobre (ambos fios condutores) com o suporte de plástico (isolante), fizemos um novo teste. Utilizamos um pedaço de fio de poliamida (isolante elétrico) entre os fios de algodão e de cobre e o canudo de plástico da haste horizontal. Ou seja, um pedaço de linha de poliamida foi amarrado à ponta da haste horizontal do suporte, e a outra extremidade dessa linha foi presa aos fios de pêndulos, separadamente. Fizemos isso com a finalidade de nos certificar de que os fios condutores dos pêndulos estavam de fato isolados eletricamente. No entanto, o resultado foi o mesmo, ou seja, as bolinhas de papel-alumínio não foram repelidas pelo canudo atritado, mesmo após vários contatos entre eles.

Considerações sobre os experimentos

Os resultados evidenciam que os fios de cada material dos pêndulos apresentam o mesmo comportamento para ambas as hastes

27 Nos experimentos realizados, por diversas vezes, para que a bolinha fosse repelida após o contato com o canudo eletrizado, era preciso colocá-los em contato várias vezes seguidas. No caso da linha de poliamida, em algumas situações, foram necessários muitos contatos entre a bolinha e o objeto eletrizado para que ocorresse a repulsão. O leitor deve ficar atento à eletrização do canudo, verificando-a junto com um versório.

horizontais, tanto para a isolante quanto para a condutora. A partir disso, concluímos que a bolinha de papel-alumínio é atraída sempre que o canudo atritado é aproximado dela, independentemente de o fio do pêndulo ser de material isolante ou condutor. No entanto, somente as bolinhas de papel-alumínio presas a fios isolantes são repelidas após o contato, ou seja, apenas com esse tipo de linha a bolinha pode entrar em oscilação com a aproximação do canudo atritado.

15.5 – 9º Experimento

Materiais
Canudinhos de plástico Poste de sustentação Palito de madeira Prendedores de roupa Tubo de PVC Papel de seda Diversos: tesoura, cola

Inicialmente, tentamos realizar o experimento descrito por Gray com penas de vários tipos, desde as mais felpudas até aquelas com as cerdas mais rígidas. No entanto, as cerdas não tinham mobilidade suficiente para apresentar um comportamento semelhante àquele que foi descrito por Gray. Sendo assim, fizemos um instrumento com canudos de plástico (ou varetas de madeira) e papel de seda para tentar demonstrar o referido fenômeno. O instrumento consiste em colar algumas tirinhas de papel de seda na ponta de um palito de madeira (condutor elétrico) ou de um canudinho de plástico (isolante elétrico). Para a montagem do instrumento, construímos algumas “estrelas” de tirinhas de papel de seda, como mostra a Figura 15.11a.



(a) Tirinhas de papel de seda (8 cm de comprimento) antes de serem colocadas no palito de madeira ou no canudo de refresco.



(b) Um exemplo dos instrumentos feitos com as tirinhas de papel de seda para os experimentos, nesse caso com palito de madeira.

Figura 15.11 – Instrumentos.

Para fazer a estrela recortamos oito tirinhas de cerca de 8 cm de comprimento por 2 mm de largura; então colamos todas por uma de suas extremidades, de tal forma que o ponto de colagem fosse o centro da estrela. Após a secagem da cola, as estrelas foram coladas, pelo centro, em palitos de madeira e canudinhos de plástico, como mostra a Figura 15.11b. É preciso ter cuidado no momento de colar a estrela na vareta ou no canudo, para que as tirinhas não fiquem colocadas/presas neles. Utilize pouca cola para que apenas o centro da estrela fique colado. Após a secagem, segure o instrumento na mão pela vareta/canudo e o chacoalhe. As tirinhas devem estar soltas, presas apenas pelo centro da estrela. Se assim não estiverem, o experimento não terá bom funcionamento. Esse instrumento faz o papel da pena no experimento descrito por Gray. Inicialmente, tentamos colar as tirinhas direto no canudo ou no palito, uma a uma, mas não deu certo, porque a cola demora para secar e isso dificulta o manuseio das tirinhas durante a colagem.

Optamos por fazer o experimento utilizando tanto canudos quanto palitos de madeira, para verificar se o comportamento das tirinhas mudaria sob a ação do tubo eletrizado quando presas a bases condutoras ou isolantes. Como já dissemos, para isso Gray utiliza uma pena, que, segundo nossos testes iniciais, são materiais condutores. Apesar disso, também optamos por fazer os testes com as tirinhas coladas em canudinhos. Os instrumentos foram presos a postes de sustentação (base de gesso + haste vertical de palito de madeira) ou em pedaços de isopor. Para fazer o experimento, aproximamos um tubo de PVC eletrizado por cima das tirinhas (pelo centro da estrela).

Experimento 15.14 – Tirinhas de papel de seda presas a palito de madeira

Gray menciona que fixou a penugem em uma fenda na extremidade de uma vareta, mas não menciona nada sobre o local onde a vareta foi fixada. Então, por esse motivo, fizemos dois testes, um supondo a vareta aterrada e outro supondo a vareta isolada.

Com a vareta aterrada

O aparato (palito de madeira + tirinhas de papel de seda) foi preso a um poste de sustentação, para isso utilizamos fita adesiva.²⁸

Ao aproximar o tubo atritado do centro da estrela (por cima do aparato), as tirinhas sobem, em forma de guarda-chuva ao

28 Como o objetivo aqui é que o instrumento esteja aterrado, é fundamental que o palito do poste de sustentação esteja em contato com o do instrumento. Além disso, o sistema não pode estar sobre uma base isolante, pois assim estaria isolado.

contrário, e logo em seguida abaixam,²⁹ ficando levemente afastadas do palito de madeira (cerca de 0,5 a 1 cm distantes do palito), enquanto o tubo permanece próximo à extremidade superior do instrumento (do centro da estrela). Ao retirar o tubo, afastando-o do aparato, todas as tirinhas voltam à posição inicial, como ilustra a Figura 15.12.³⁰

-
- 29 Após levantar-se, elas abaixam, independentemente de tocarem ou não o tubo. Algumas vezes, é preciso aproximar bastante o tubo do aparato para que as tirinhas levantem-se. Por causa da pequena distância entre o tubo e o aparato, as tirinhas acabam tocando o tubo ao se levantarem. Mas, muitas vezes, as tirinhas levantam-se com o tubo colocado a uma distância que lhes permite levantar-se sem tocá-lo. Mesmo assim, após levantar-se, elas caem imediatamente.
- 30 Uma possível explicação para o fenômeno. Vamos dividi-lo em duas partes: 1) a subida e descida das tirinhas quando o tubo é aproximado; e 2) as tirinhas ficarem distantes da vareta, ou seja, um pouco levantadas, com a presença do tubo sobre o instrumento. 1) Ao aproximar o tubo atritado do centro da estrela (por cima da extremidade superior do instrumento), ocorre uma grande concentração de cargas elétricas, de natureza contrária à do tubo, naquela região. Isso faz com que as tirinhas sejam atraídas e se levantem em direção ao tubo. Mas ao chegarem na posição de guarda-chuva invertido, ou seja, com as tiras apontando para o tubo, ocorre uma descarga elétrica e elas imediatamente caem. Isso ocorre porque, em um primeiro momento, a concentração de carga nas tirinhas faz com que a força elétrica de atração entre elas e o tubo seja maior do que a força peso, portanto, elas sobem. Mas, quando se aproximam ou tocam o tubo, ocorre uma descarga elétrica. Com isso, a força elétrica de atração passa a ser menor que a força peso, e elas caem. 2) Após caírem, a permanência do tubo próximo da ponta do instrumento faz com que haja uma certa concentração de carga elétrica, oposta à do tubo, na extremidade superior do instrumento, de tal forma que tanto as tirinhas quanto a parte de cima do palito têm carga oposta à do tubo. Com isso: a) ocorre atração entre as tiras e o tubo; b) ocorre repulsão elétrica entre as tiras e palito, pois todos têm cargas de mesma natureza. Ou seja, as tiras ficam levantadas por causa tanto da atração em relação ao tubo, quanto da repulsão em relação ao palito. À medida que o tubo é afastado do sistema, este volta a ficar neutro, uma vez que está aterrado; por isso, as tiras caem e voltam para a posição inicial, isto é, não estão mais afastadas do palito.

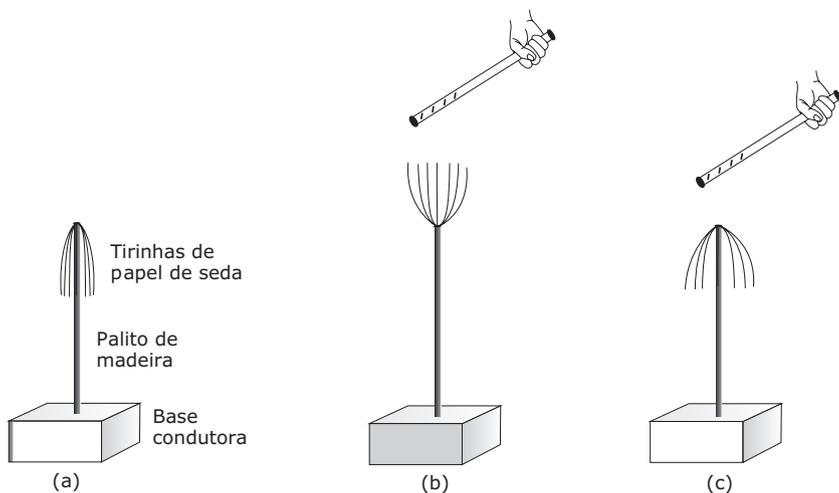


Figura 15.12 – Ilustração do comportamento das tirinhas de papel de seda (8 cm) presas ao palito de madeira quando colocado sobre uma base condutora. (a) Instrumento na conformação de repouso. (b) Quando o tubo é aplicado sobre o instrumento, as tirinhas levantam-se em forma de guarda-chuva ao contrário e imediatamente caem. (c) Enquanto o tubo permanece sobre o instrumento, as tirinhas ficam erguidas em forma de guarda-chuva. Se o tubo for retirado, o instrumento volta para a conformação da letra (a). É importante destacar que, nesta ilustração, o tubo eletrizado está indicado com cargas elétricas negativas porque é um tubo de PVC atritado com poliamida, diferentemente da maioria das figuras deste livro, em que o tubo eletrizado ilustrado é de vidro.

Em nossos testes não foi possível manter as tirinhas em pé, em forma de guarda-chuva ao contrário, com o tubo próximo ao centro da estrela. Em todos os testes, elas se levantavam e caíam imediatamente. Às vezes, quando o tubo estava bem próximo à ponta do

palito, acontecia de uma ou outra tirinha permanecer em pé por alguns segundos, mas não era comum acontecer.³¹

Com a vareta isolada

Neste teste, a vareta do instrumento (na qual estava presa a estrela de tirinhas de papel de 8 cm) estava sobre uma base isolante.³²

-
- 31 Com esse experimento percebemos que o tecido sobre a superfície em que o experimento está sendo feito pode influenciar no experimento, por exemplo, quando trabalhamos sobre uma mesa forrada. Em determinado teste a mesa estava forrada com TNT (tecido não tecido). Percebemos que as tirinhas não abaixavam completamente quando o tubo era afastado. Mas isso não deveria acontecer, pois já tínhamos feito esse teste em outras ocasiões e o comportamento tinha sido outro. A primeira hipótese para a mudança de comportamento, também com base em outros testes que já tínhamos realizado, foi a de que o sistema não estava aterrado. Então, repetimos o experimento várias vezes com o aparato no chão (portanto, aterrado), na mesa sem forro e na mesa forrada com TNT. Concluímos que, quando o experimento era realizado sobre o TNT, o sistema conservava a carga após o tubo eletrizado ser afastado do centro da estrela. Então, fizemos o teste para verificar se o TNT seria condutor ou isolante elétrico, sendo que se comportou como isolante. Sendo assim, quando a mesa estava forrada com TNT, o sistema não estava aterrado. O TNT pode ser feito de fibras naturais (algodão, lã) ou sintéticas (poliéster, polipropileno). Portanto, pode ser tanto condutor quanto isolante, dependendo de sua composição. Esse fato serve para ilustrar que nada, a princípio, pode ser considerado banal nesses experimentos, pois elementos que parecem comuns mudam completamente o experimento.
- 32 Há várias formas de fazer isso, por exemplo: 1) inserindo o palito de madeira do instrumento elétrico em um pedaço de isopor; 2) utilizando um poste de sustentação; para isso, coloque um canudo de plástico entre o palito do instrumento e o do poste, de tal forma que os palitos não se toquem e fiquem distantes um do outro. Utilize canudos rígidos com diâmetro igual ao do palito, para que este possa ser inserido dentro do canudo. Lembre-se de que o poste de sustentação é condutor, se os dois palitos não ficarem distantes um do outro dentro do canudo, pode haver descarga elétrica entre eles, e o experimento pode não funcionar (ver Figura 15.13).



Figura 15.13 – Ilustração do aparato isolado com canudo de plástico. Na parte inferior, temos um poste de sustentação, ao meio temos um canudo de plástico, na parte superior um instrumento elétrico. Os dois prendedores de roupa marcam a posição em que estão as extremidades dos palitos de madeira inseridos no canudo. Observe a distância que há entre a extremidade de cada palito dentro do canudo.

Ao aproximar o tubo do centro da estrela (por cima do instrumento), apenas algumas delas (duas ou três) levantavam-se em forma de guarda-chuva ao contrário, mas em seguida caíam, ficando levantadas radialmente junto com as outras. As tirinhas ficavam nesta posição mesmo após a retirada do tubo eletrizado das proximidades do instrumento.³³

33 Uma possível explicação para o fenômeno é apresentada a seguir. Quando o tubo é aproximado, pode ocorrer uma descarga elétrica. Portanto, a carga líquida do instrumento passa a ser de mesma natureza que a do tubo. Na medida em que o tubo é afastado, ocorre uma redistribuição nas cargas, de forma que o objeto como um todo fica carregado com o mesmo tipo de carga. Sendo assim, há repulsão elétrica entre as próprias tirinhas e entre elas e a vareta de madeira (ver Figura 15.13b).



(a) Aparato completo antes da aplicação do tubo atritado. Na parte inferior há um poste de sustentação, no meio um canudo plástico utilizado para isolar a parte superior; acima do canudo temos o palito de madeira com a estrela na sua ponta de cima.



(b) Estrela (com tirinhas de 8 cm) levantada de forma radial após a aproximação do tubo de PVC eletrizado com poliamida. O tubo não está nas proximidades do instrumento.

Figura 15.14 – Instrumento e seu comportamento após o afastamento do tubo eletrizado.

Quando o tubo eletrizado era aproximado novamente do aparato, com a estrela levantada radialmente, as tirinhas abaixavam um pouco. Isso mostra que a carga líquida das tirinhas é de mesma natureza que a do tubo. Mas, para ver esse fenômeno, é preciso aproximar o tubo do aparato com cuidado, pois se ele for aproximado demais as tirinhas serão atraídas novamente.³⁴ Sendo assim, existe uma certa distância em que é possível ver as tirinhas erguidas abaixarem um pouco com a aproximação do tubo por cima. Essa

34 Para distâncias muito pequenas, é possível que ocorra atração elétrica entre dois corpos carregados com cargas de mesma natureza (Assis, 2010, p.131, 205-10).

distância depende da eletrização do tubo e das tirinhas, não só da eletrização inicial, mas também da perda de carga com o tempo. Dessa forma, ela muda a todo momento. Por isso, é preciso realizar o experimento repetidas vezes para que seja possível ver o fenômeno descrito aqui. Neste experimento, as tirinhas ficam mais levantadas do que no experimento anterior, quando o tubo está próximo da ponta do palito no sistema aterrado.

Experimento 15.15 – Tirinhas de papel de seda presas ao canudo de plástico

Nesta conformação do instrumento, as tirinhas estão presas a uma haste de material isolante. Quando o tubo é aproximado por cima (por exemplo, no centro da estrela), as tirinhas erguem-se em forma radial, mas pouco. Algumas vezes, só ocorre movimento das tirinhas se o tubo eletrizado estiver praticamente encostado na extremidade superior do canudo de refresco (por exemplo, no centro da estrela).³⁵

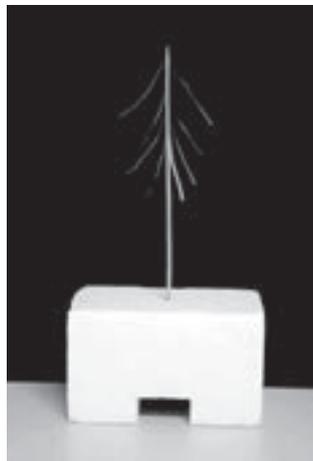
Experimento 15.16 – Tirinhas de papel de seda presas ao longo do palito de madeira

Também fizemos um instrumento diferente do anterior. Em vez de colar as tirinhas na ponta do palito de madeira, nós as colamos ao longo dele em lados opostos, como mostra a Figura 15.15.

35 Uma possível explicação para o fenômeno. Esse comportamento das tirinhas de papel pode estar relacionado ao fato de estarem fixadas em uma haste isolante, portanto, haveria menos carga disponível nas tirinhas e a força elétrica entre elas e o tubo seria menor. Dissemos que há menos carga em relação à situação quando elas estão presas ao palito de madeira, pois, por ser um condutor, ele disponibilizaria mais cargas para as tirinhas no momento da interação com o tubo eletrizado, tendo, assim, mais cargas disponíveis nas tirinhas para a interação elétrica com o tubo.



(a) Aparato sobre uma base isolante de isopor.



(b) Aparato após contato do tubo de PVC eletrizado com poliamida na ponta do palito de madeira.

Figura 15.15 – Instrumento elétrico e seu comportamento após a aproximação do tubo.

Fizemos testes com o instrumento isolado eletricamente e com ele aterrado. Com o aparato isolado, aproximamos o tubo de PVC atritado com poliamida da ponta do palito (por cima), as tirinhas de papel de seda se levantaram. As duas tirinhas de cima se levantaram em direção ao tubo (as extremidades das tirinhas subiram e apontaram para o tubo) e imediatamente caíram. Então, todas elas ficam erguidas em relação à posição inicial. Na medida em que o tubo é afastado do palito, as tirinhas permanecem levantadas, como mostra a Figura 15.15b. Com o aparato aterrado, aproximamos o tubo de PVC atritado da ponta do palito de madeira, e as tirinhas de papel de seda se levantaram. Entretanto, não se levantaram tanto quanto no aparato isolado. As duas primeiras tirinhas levantam bem, o segundo par levanta menos, e os dois pares de baixo praticamente não levantam. Na medida em que o tubo é afastado do palito as tirinhas se abaixam, voltando à posição inicial.

Considerações sobre os experimentos

Com esses experimentos conseguimos fenômenos que ilustram o que fora descrito por Gray. Concluimos que o fenômeno só ocorre para uma vareta condutora, pois, no caso dos experimentos com canudo de plástico como haste vertical, as tirinhas praticamente não se movimentaram. No caso de a vareta ser condutora, o fenômeno ocorre tanto com ela em base isolante quanto condutora, sendo que para obter os resultados descritos por Gray há duas possibilidades: 1) com a vareta que segura a pena colocada em uma base isolante, então o fenômeno descrito pode ser visto tanto com a presença do tubo nas proximidades da pena quanto sem a presença do tubo; 2) com a vareta que segura a pena colocada em uma base condutora, só é possível ver o fenômeno com o tubo colocado próximo à pena.

15.6 – 10º Experimento

Materiais
Canudinhos de plástico Poste de sustentação Tubo de PVC Papel-alumínio Papel de seda Papel sulfite

Experimento 15.17 – 10º Experimento

No 10º Experimento, Gray aponta a diferença na atração de uma penugem pelo tubo de vidro eletrizado quando solta no ar ou quando colocada sobre uma mesa. O procedimento que fizemos para verificar a distância que uma penugem é atraída quando colo-

cada sobre uma mesa ou solta no ar foi descrito nos experimentos 15.1 e 15.2.³⁶ Os resultados desses experimentos mostram que tanto a penugem quanto a semente de dente-de-leão são atraídas a uma distância maior quando soltas no ar do que quando colocadas sobre uma folha de papel sulfite.

Aqui, testamos a atração de dois pequenos discos de papel (um de papel de seda e outro de papel-alumínio com 1 cm de diâmetro) por um canudo eletrizado, em situações distintas. Utilizamos o mesmo procedimento descrito no Experimento 15.2. Os dois discos (papel de seda e alumínio) apresentaram movimento (foram atraídos) com o canudo à distância de 1,5 a 3 cm. Neste experimento aconteceu de os discos oscilarem (ricochetarem) algumas vezes entre o canudo e o papel sulfite. Esse movimento de ida e volta do disco entre o canudo atritado e o papel sulfite era bem rápido e durava pouco tempo, pois, após alguns ricochetes, o disco saía do espaço entre o canudo e o papel sulfite.³⁷

Fizemos, ainda, outro experimento sobre essa temática utilizando um pêndulo elétrico. Para isso, colocamos uma folha de papel sulfite encostada no pêndulo, como mostra a Figura 15.16.

Realizamos o experimento com dois pêndulos distintos, um feito com um disco de papel de seda e outro com disco de papel-alumínio, ambos com 1 cm de diâmetro. Utilizamos o mesmo procedimento para aferição da eletrização dos materiais.³⁸ Colocamos uma régua sobre a mesa com o marco zero embaixo do pêndulo, com ele ainda na vertical. Então, colocamos o canudo atritado (com papel ou poliamida) sobre a marca de 30 cm da régua, na altura do disco. Em seguida, o canudo foi movimentado lentamente em direção ao pêndulo, aproximando-o do disco. Assim que o disco se movimentava, cessávamos o movimento do canudo e olhávamos na régua para ver a distância entre o canudo e a posição inicial do

36 Ver Capítulo 15 deste livro.

37 Este fenômeno foi descrito no Experimento 15.7.

38 Ver Experimento 1, na Subseção 4.3.1 deste livro.

pêndulo (marco zero da régua). Fizemos o experimento com o pêndulo encostado em uma folha de papel sulfite aterrada e sem a folha. Sem a folha de sulfite encostada no disco, o disco de papel de alumínio, em geral, começava a se mover com o canudo à distância de 8 a 10 cm. Já o pêndulo de papel de seda, em geral, apresentava movimento com o canudo à distância de 6 a 7 cm.



(a) Pêndulo com papel sulfite. O papel sulfite está aterrado, pois a base é de gesso e palito de madeira.



(b) Pêndulo e papel sulfite.

Figura 15.16 – Instrumento elétrico e seu comportamento após a aproximação do tubo.

Com a folha de sulfite encostada no disco, o disco de papel-alumínio, em geral, começava a se mover com o canudo à distância de 13 a 15 cm. Já o pêndulo de papel de seda, em geral, apresentava movimento com o canudo à distância de 11 a 12 cm. Neste experimento, acontecia de os discos oscilarem (ricochetarem) algumas vezes entre o canudo e o papel sulfite. Para isso acontecer era preciso que o canudo eletrizado estivesse bem próximo do papel sulfite, cerca de 1 cm.

15.7 – 10º Experimento [sic]**Experimento 15.18 – 10º Experimento [sic]**

Materiais
Canudinhos de plástico Tubo de PVC Agulha de bússola Versório Ímã Base de um versório

Para verificar a interação de um objeto eletrizado com a agulha de uma bússola há duas opções. 1) Desmontar uma bússola e utilizar sua agulha, colocando-a sobre uma base de versório.³⁹ 2) Magnetizar a agulha de um versório feito com colchete de aço tipo bailarina. Para magnetizar o colchete é preciso esfregá-lo em um ímã, sempre no mesmo sentido, várias vezes (Ripe, 1990). Em ambas as situações, deve-se pegar um canudo de plástico eletrizado e aproximar da agulha, o que ilustrará o fenômeno discutido por Gray, ou seja, o movimento da agulha magnetizada.

39 Ver Figura 4.3a deste livro.

16

EXPERIMENTOS DO ARTIGO 2¹

Neste capítulo, descreveremos a reprodução de alguns experimentos sobre eletrização que Gray realizou com diferentes tecidos. Reproduzimos, também, experimentos sobre o pêndulo elétrico que Gray fez com uma vareta de madeira e uma linha de seda com uma penugem presa à extremidade. Cabe destacar que Gray denominou esse instrumento de *linha pendular*.²

Experimento 16.1 – Verificando a condutividade dos materiais

Materiais
Canudinhos de plástico
Papel sulfite
Tubos de PVC
Borracha dura
Eletroscópio
Pêndulo elétrico
Tecidos (Tabela 16.1)
Outros (Tabela 16.2)

1 Gray (1720-1, p. 1041-7). Tradução no Capítulo 6 deste livro.

2 Discutimos esse assunto em “Sobre a ‘linha pendular’ e a ‘linha branca’”, à Seção 4.4 deste livro

O primeiro passo foi realizar um teste para verificar se os materiais são condutores ou isolantes elétricos. Para isso, realizamos o experimento em que o material a ser testado é encostado em um eletroscópio carregado.³ O resultado do teste pode ser visto nas tabelas 16.1 e 16.2. Nessas tabelas, colocamos uma coluna denominada “Tempo”, que é o tempo que a tirinha de papel de seda do eletroscópio leva para abaixar completamente quando o material em teste está em contato com a cartolina do instrumento elétrico. Esse tempo é importante porque a definição de condutores e isolantes que utilizamos neste livro leva-o em consideração.⁴ Nessa coluna, o símbolo “-” significa que o tempo foi maior do que trinta segundos, portanto, o material é um bom isolante elétrico. Já o tempo “0” indica que a tirinha se abaixa imediatamente quando o material em teste toca o eletroscópio.⁵

3 O eletroscópio carregado tem sua tirinha de papel de seda levantada. Seguramos com nossa mão uma extremidade do material a ser testado. A outra extremidade do material é encostada na cartolina do eletroscópio carregado. Caso a tirinha do eletroscópio permaneça de pé por mais de trinta segundos, o material é classificado como isolante. Caso a tirinha abaixe rapidamente (em menos de cinco segundos), o material pode ser classificado como condutor para os objetivos deste livro. Se ela abaixar entre cinco e trinta segundos, o material pode ser classificado como mau condutor ou como mau isolante (também chamados de condutores ou isolantes imperfeitos). Uma discussão pormenorizada sobre esse teste e sobre a definição de condutores e isolantes foi apresentada no Experimento 2, na Subseção 4.3.2 deste livro.

4 Tal discussão sobre condutores e isolantes também foi apresentada em Assis (2010, p.161-2). Isso foi discutido no Experimento 2, na Subseção 4.3.2 deste livro.

5 As tirinhas dos tecidos utilizados podem ser vistas na Figura 16.1.



Figura 16.1 – Tiras de cerca de 12 cm dos tecidos utilizados no experimento. Da esquerda para a direita: tafetá, seda, ligante, seda javanesa, viscolycra, linho, jeans, musselina, flanela, malha, oxford, cetim e lãzinha.

Experimento 16.2 – Eletrização dos materiais

Para eletrizar os materiais, utilizamos três substâncias: 1) pele humana (a mão); 2) PVC; e 3) borracha dura (mangueirinha de chuveiro). Em geral, o atrito foi feito puxando o material entre os dedos polegar e indicador, entre dois canos de PVC, e entre dois tubinhos de borracha dura.

Para verificar se os materiais ficaram eletrizados ou não após o atrito, utilizamos uma linha pendular.⁶ Iniciamos os testes utilizando linhas de algodão comum (por exemplo, linha de pipa ou linha de crochê), mas ao manusear os tecidos percebemos que as linhas extraídas da musselina eram mais finas e, portanto, mais leves do que as linhas que estávamos utilizando. Como já havíamos verificado que esse tecido é um condutor elétrico, refizemos os experimentos com a linha de musselina, pois o instrumento ficou mais sensível. Dessa forma, após serem atritados, os materiais eram aproximados da linha de musselina presa a um suporte aterrado. Caso houvesse atração da linha de musselina, o objeto estava eletrizado.

6 Como descrito nas figuras 4.12 e 4.13 deste livro.

Tabela 16.1 – Condutividade dos tecidos

Nº	Tecido	Condutividade	Tempo (s)
1	Seda javanesa	condutor	1 a 2
2	Jeans	condutor	1 a 2
3	Flanela	condutor	0
4	Viscolycra	condutor	0
5	Malha	condutor	0
6	Cetim	condutor	4 a 5
7	Linho	condutor	0
8	Musselina	condutor	0
9	Lãzinha	mau condutor	10
10	Oxford	condutor	5
11	Tafetá	isolante	–
12	Seda	isolante	–
13	Liganete	isolante	–

Os materiais em teste foram segurados por meio de um saco plástico isolante, para que, caso fossem condutores elétricos, não descarregassem ao mesmo tempo que eram atritados. Inicialmente, pensamos em utilizar luvas de procedimento não cirúrgico nas mãos durante este experimento, a fim de isolar eletricamente o material a ser atritado.⁷ No entanto, ao testar a condutividade elétrica das luvas, verificamos que eram condutoras, com tempo de abaixamento da tirinha de papel de seda do eletroscópio sendo quase instantâneo, difícil de medir. Então, optamos por utilizar sacos plásticos para o isolamento elétrico.⁸

7 Essas luvas podem ser adquiridas em farmácias, a preços reduzidos.

8 É importante o leitor estar atento ao fato de que os objetos, quando segurados com a mão envolta em saco plástico, estão isolados eletricamente, pois isso influencia sua eletrização.

Todos os tecidos testados foram conseguidos em lojas de venda de tecidos e de costura de roupas. Como eram retalhos que seriam descartados, foram adquiridos a custo zero. Dias antes de pegar os tecidos, conversamos com as costureiras e explicamos para que seriam utilizados, destacando a importância de sabermos o nome de cada um dos tecidos. Dessa forma, quando pegamos os retalhos, eles estavam etiquetados com os nomes e separados em sacos plásticos. A madeira utilizada nos testes foi de espetinhos de churrasco, que podem ser comprados em lojas de variedades ou supermercados. O couro foi adquirido em uma sapataria.

Tabela 16.2 – Condutividade dos materiais

Nº	Tecido	Condutividade	Tempo (s)
1	Fio de cabelo	isolante	–
2	Couro	condutor	0
3	Papel sulfite	condutor	0
4	Cartolina	condutor	0
5	Madeira	condutor	0
6	Pena	condutor	5

A madeira foi atritada de forma diferente, tendo em vista que puxá-la entre os dedos ou entre os canos não surtiu efeito. Em vez de puxá-la entre dois materiais, nós a esfregamos no material. Após atritá-la inúmeras vezes, foi possível verificar a face atritada atrair a linha pendular. Os tecidos que não eletrizaram também foram esfregados nos materiais para verificarmos se dessa forma haveria eletrificação, mas não houve qualquer eletrização perceptível.

A cartolina, o papel, o couro, e a madeira eletrizaram bem pouco; foi preciso deixá-los bem próximos à linha pendular para que fosse possível verificar a atração. Além disso, só foi possível verificar a eletrização depois de atritá-los várias vezes seguidas, sendo que nas primeiras tentativas não houve eletrização perceptível. Mesmo assim, há materiais que eletrizaram quando atritados em uma substância, mas não eletrizaram quando atritados em outra,

como mostram as tabelas 16.3 e 16.4. Todos os testes foram realizados mais de uma vez. Fizemos inclusive o teste aquecendo cada um dos materiais com um secador de cabelos.

Tabela 16.3 – Eletrização dos tecidos

Nº	Tecido	Atritado com		
		Mão	PVC	Borracha dura
1	Seda javanesa	não	não	não
2	Jeans	não	não	não
3	Flanela	não	não	não
4	Viscolycra	não	não	não
5	Malha	não	não	não
6	Cetim	sim	sim	sim
7	Linho	não	não	não
8	Musselina	não	não	não
9	Lãzinha	sim	sim	sim
10	Oxford	sim	sim	não
11	Tafetá	não	sim	sim
12	Seda	sim	sim	sim
13	Liganete	sim	sim	sim

Experimento 16.3 – Pêndulo elétrico

Materiais
Canudinhos de plástico
Tubo de PVC
Poste de sustentação
Poliamida
Papel sulfite
Linha de seda
Palito de churrasco
Penugem

Tabela 16.4 – Eletrização dos materiais

Nº	Tecido	Atritado com		
		Mão	PVC	Borracha dura
1	Fio de cabelo	não	sim	sim
2	Couro	não	sim	não
3	Papel sulfite	não	sim	não
4	Cartolina	não	sim	não
5	Madeira	não	sim	não
6	Pena	sim	sim	sim

Neste experimento, reproduzimos o aparato que Gray (1720-1, p.107) descreve da seguinte maneira: “Uma penugem foi presa à extremidade de uma fina linha de seda natural, e a outra extremidade [da linha foi presa] a uma vareta, a qual foi fixada a uma base, [de tal forma] que [a vareta] pudesse ficar de pé [em posição vertical] sobre a mesa”.⁹ Para isso, utilizamos um palito de churrasco, linha de seda, poste de sustentação e penugem.¹⁰ Fizemos um pequeno corte na ponta do palito e prendemos nesse corte uma das extremidades da linha de seda; na outra extremidade, foi amarrada uma penugem. Esse conjunto foi fixado em um poste de sustentação (base de gesso + palito de madeira) por meio de fita adesiva. Também fizemos um aparato idêntico, mas sem a penugem presa à ponta da linha. Ambos os instrumentos podem ser vistos na Figura 16.2.

Para fazer o experimento utilizamos canudo de refresco e tubo de PVC atritados em poliamida. Com o canudo eletrizado consegui-

9 Ver página 122 deste livro.

10 Para facilitar a execução dos experimentos, desfiamos a linha de seda de forma a obter um fio mais fino e, portanto, mais leve. Isso facilitou os experimentos na medida em que se tornou mais fácil de elevar as linhas sob ação do tubo e do canudo eletrizado. Todas as fotos desta seção foram feitas com linhas desse tipo. Cabe ressaltar que os mesmos resultados podem ser obtidos com a linha normal, sem ser desfiada. A diferença de utilizar uma ou outra está na maior dificuldade em realizar o experimento, como discutiremos ao final da seção.

mos facilmente colocar e manter a linha com penugem a 45° , mas mantê-la em uma angulação maior foi um pouco difícil.



Figura 16.2 – À esquerda, o instrumento com a penugem presa à ponta da linha de seda; à direita, o instrumento sem a penugem.

Para que a penugem seja mantida em posições em que o ângulo em relação à vertical é maior que 45° , precisa-se colocar o canudo atritado bem próximo a ela. Mas, na medida em que o canudo é aproximado, a penugem movimenta-se muito rapidamente em direção a ele e o toca. Esse contato eletriza a pena e a faz ser repelida, voltando à posição inicial. Com o canudo bem eletrizado é possível levar a pena para além de 45° (sem mantê-la na posição), mas é um tanto quanto difícil colocá-la a 90° . Nessas angulações, em geral, a pena não fica parada; ela chega até certa altura e já cai, voltando à posição inicial. O mesmo ocorreu com a linha de seda sem a penugem presa em sua extremidade.

Com o tubo de PVC pareceu-nos mais fácil fazer os experimentos. Para realizar os testes, aquecemos o tubo de PVC e o pano de poliamida com um secador de cabelos e verificamos uma eletrização um pouco melhor, por isso realizamos esses experimentos com os materiais aquecidos. Com o tubo eletrizado foi possível colocar a linha de seda quase na horizontal, isto é, 90° com a vertical, tanto no instrumento com penugem quanto no sem penugem presa à ponta da linha. Mas o tubo deve estar bem eletrizado, e é preciso um pouco de treino, pois aqui enfrentam-se os mesmos problemas descritos com o canudo quanto à aproximação da linha.¹¹ Também foi possível manter a linha quase na posição vertical, por meio da aproximação do tubo de PVC eletrizado nos dois instrumentos.¹² Uma hipótese explicativa para o comportamento da linha de seda neste experimento é que está ocorrendo a polarização do material isolante e, conseqüentemente, há interação atrativa entre o tubo de PVC atritado e a linha isolante.



(a) Imagem do aparato todo.

(b) Imagem da linha de seda e do tubo em destaque.

Figura 16.3 – Linha de seda sem penugem quase na posição horizontal, por causa da aproximação do tubo de PVC eletrizado.

11 Ver figuras 16.3 e 16.4.

12 Ver figuras 16.5 e 16.6.



(a) Imagem do aparato todo.

(b) Imagem da linha de seda com penugem e do tubo em destaque.

Figura 16.4 – Linha de seda com a penugem presa à ponta quase na posição horizontal, por causa da aproximação do tubo de PVC eletrizado.

A partir dos experimentos anteriores, fizemos um teste para comparar o comportamento de linhas de material isolante e de material condutor quando sob ação do tubo de PVC atritado com poliamida. Como linhas condutoras, utilizamos um pedaço de linha de algodão (linha de pipa) e um fio de cobre bem fino.¹³ Como linhas isolantes utilizamos um pedaço de linha de seda (sem ser desfiado) e um pedaço de linha de poliamida (linha de pesca de 0,2 mm). Todos os pedaços de linha tinham cerca de 15 cm de comprimento e foram colocados no instrumento da Figura 16.2. Então, o tubo eletrizado era aproximado da extremidade inferior de cada linha para averiguarmos se haveria diferença de comportamento no que tange a elevá-las acima da posição inicial. A linha de algodão movimentou-se para o alto muito rapidamente, sendo colocada na posição vertical sem dificuldade. O fio de cobre pouco levantou, o que talvez se justifique pela sua rigidez. A linha de poliamida, após aplicar o tubo, movimentava-se em direção a ele e, algumas vezes, ao tocá-lo, era repelida. Houve certa dificuldade em colocá-la e mantê-la no ar, pois era preciso fazê-

13 Utilizamos um fio de cobre retirado de um “cabinho” (fio de cobre flexível vendido em lojas de eletrônica), por ser mais fino e, portanto, mais adequado ao experimento.

-la movimentar-se e evitar que tocasse o tubo. Muitas vezes, quando ela chegava próximo aos 90° , em relação ao palito do suporte, ela caía. A linha de seda apresentou dificuldades semelhantes às da linha de poliamida. Era preciso aproximar o tubo para que iniciasse o movimento para cima. Após movimentar-se, a dificuldade era manter o tubo suficientemente próximo a ela para que fosse possível elevá-la, de forma que não houvesse contato entre o tubo e a linha.

Mas, quando havia contato entre eles, a linha de seda não era repelida pelo tubo. Na maioria das vezes, quando chegava próximo aos 90° , em relação ao palito do suporte, ela caía. Para colocar as linhas de seda e de poliamida próximas da vertical, foi preciso tentar várias vezes e treinar bastante para manter o tubo e a linha suficientemente próximos e para encontrar a melhor forma de elevar o tubo (velocidade e posição do tubo).

Concluímos, dessa forma, que a linha condutora proporciona entre o tubo e a linha uma força elétrica maior do que as linhas isolantes. Essa força elétrica maior faz com que seja mais fácil manipular, por meio da ação do tubo eletrizado, a linha condutora do que a linha isolante.

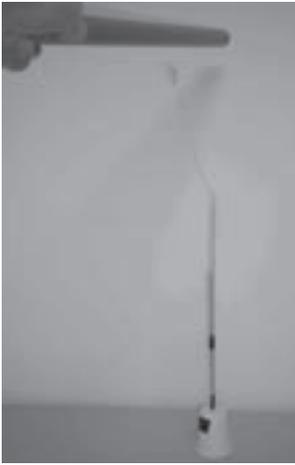


(a) Imagem do aparato todo.



(b) Imagem da linha de seda sem penugem e do tubo em destaque.

Figura 16.5 – Linha de seda sem a penugem presa na ponta quase na posição vertical, por causa da aproximação do tubo de PVC eletrizado.



(a) Imagem do aparato todo.



(b) Imagem da linha de seda com penugem e do tubo em destaque.

Figura 16.6 – Linha de seda com a penugem presa na ponta quase na posição horizontal, por causa da aproximação do tubo de PVC eletrizado.

17

EXPERIMENTOS DO ARTIGO 3¹

Neste capítulo, apresentaremos a reconstrução de alguns experimentos descritos no artigo que é considerado o mais importante de Gray. Em especial, destacaremos os experimentos reproduzidos que possibilitam o estudo de como Gray chegou à proposição dos materiais isolantes e condutores, à época denominados, respectivamente, *materiais elétricos* e *não elétricos*. Nesse artigo fundamental, Gray também obteve as principais propriedades dos materiais isolantes e condutores. Nessa temática, chamamos a atenção do leitor para o fato de alguns experimentos evidenciarem que vários materiais habitualmente denominados *isolantes elétricos* comportam-se como condutores elétricos nos experimentos de eletrostática usuais. Um exemplo bastante interessante é a madeira.

1 Gray (1731-2c, p. 18-44). Tradução no Capítulo 7 deste livro.

Experimento 17.1 – Eletrização de uma rolha de cortiça colocada na extremidade de um tubo de PVC

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Rolha de cortiça
Poste de sustentação
Eletroscópio
Palito de madeira
Linha de algodão
Linha de seda

Este experimento busca verificar se há eletrização de uma cortiça colocada à ponta de um tubo de PVC eletrizado por atrito. Para realizar o experimento fixamos uma rolha de cortiça em uma das extremidades de um tubo de PVC de 25 mm de diâmetro e o atritamos com poliamida.² Para a verificação da eletrização da cortiça, utilizamos dois instrumentos elétricos: eletroscópio e linha pendular. Montamos uma linha pendular com um canudo de refresco como haste horizontal, um suporte com base de gesso³ e linha de algodão (condutor elétrico), como ilustra a Figura 17.2. Após o tubo de PVC ser atritado com poliamida, aproximamos a cortiça da linha para verificar se haveria atração. A linha foi atraída pela cortiça e, ao encostar nela, comportou-se de duas maneiras distintas: 1) ficava grudada na cortiça por alguns segundos e, então, era repelida; ou 2) tocava a cortiça e imediatamente era repelida. Depois de ser repelida pela cortiça, a linha só voltava a ser atraída se fosse descarregada, por exemplo, com a mão. A Figura 17.3 mostra

2 As rolhas que utilizamos tinham diâmetro menor do que o diâmetro do tubo; por isso, fizemos uma adaptação para encaixá-las. Com um estilete, cortamos um pedaço da camada externa de uma rolha, com espessura de cerca de 5 mm, e então o colocamos junto com a rolha no cano de PVC. A Figura 17.1 ilustra essa adaptação.

3 Também chamado por nós de *poste de sustentação*, cuja construção foi descrita na Subseção 4.2.2 deste livro.

a situação em que a linha fica grudada na cortiça por alguns instantes antes de ser repelida.



(a) À esquerda e ao centro, pedaços da camada externa de uma rolha de cortiça; à direita, uma rolha.



(b) Rolha de cortiça e camada externa de uma rolha encaixadas no tubo de PVC.

Figura 17.1 – Encaixe da rolha de cortiça no cano de PVC de 25 mm de diâmetro.

A outra maneira utilizada para verificar a eletrização da cortiça foi por meio de um eletroscópio.⁴ Após atritar o tubo de PVC com a rolha de cortiça fixada em uma de suas extremidades, encostamos a cortiça na cartolina do eletroscópio e esfregamos um pouco. Dessa forma, a tirinha de papel de seda levantou-se, mostrando que a cortiça também estava eletrizada. Uma terceira maneira de verificar a eletrização da rolha colocada à ponta do tubo de PVC seria utilizando um versório,⁵ que também é um instrumento bastante sensível para verificação da eletrização.

4 A construção desse instrumento foi descrita na Subseção 4.2.2 deste livro.

5 A construção deste instrumento foi descrita na Subseção 4.2.1 deste livro.

Experimento 17.2



Figura 17.2 – Linha pendular de algodão presa a um suporte por meio de um canudo.

Materiais
Tubo de PVC Poliamida Poste de sustentação Canudo de refresco Papel sulfite Papel de seda Linha de seda Penugem



Figura 17.3 – A figura ilustra uma linha pendular de algodão grudada em uma cortiça colocada à extremidade de um tubo de PVC após ser atritado com poliamida. A linha permanece dessa forma por poucos instantes; logo em seguida é repelida pela cortiça.

Na página 20 do texto original (Gray, 1731-2c, p.18-44), é descrito um experimento em que uma penugem é atraída e repelida por uma cortiça fixada à ponta do tubo de vidro atritado.⁶ Aqui, reproduzimos a interpretação “b” de duas formas distintas. Primeiro, fizemos o experimento utilizando uma penugem de cerca de 1 cm presa a uma linha de seda, um cano de PVC com uma rolha à ponta atritado com poliamida e um anteparo de papel de sulfite (ou cartolina) aterrado, tal como ilustra a Figura 17.4.

Aproxima-se a rolha colocada na extremidade do tubo eletrizado da penugem pendurada na linha de seda. A penugem, por sua vez, é atraída para a rolha e permanece grudada por alguns segundos (cerca de três a cinco segundos). Em seguida, é repelida e gruda no anteparo aterrado, permanecendo ali também por alguns segundos (cerca de três a cinco segundos), retornando então à cortiça. Esse

6 Na nota 10 do Capítulo 7 deste livro, apresentamos três interpretações discutidas por Assis (2010) para esse experimento.

movimento de atração e repulsão ocorre algumas vezes, dependendo da eletrização do tubo e da cortiça.

Tendo em vista o tempo em que a penugem ficava grudada na cortiça e no anteparo, nós a substituímos por um pequeno disco de papel de seda (material condutor) de cerca de 1 cm de diâmetro, também preso à linha de seda. Realizamos o mesmo procedimento, sendo que dessa vez a atração e a repulsão ocorreu de forma rápida e repetidas vezes entre a cortiça e o anteparo. A Figura 17.5 ilustra esse experimento.



Figura 17.4 – A penugem está presa à linha de seda (isolante elétrico); ao fundo, temos o anteparo de papel sulfite aterrado, e à frente a cortiça fixada ao tubo de PVC atritado com poliamida.

Experimento 17.3 – Experimento em que uma vareta de madeira é fixada na cortiça que arrolha o tubo de PVC

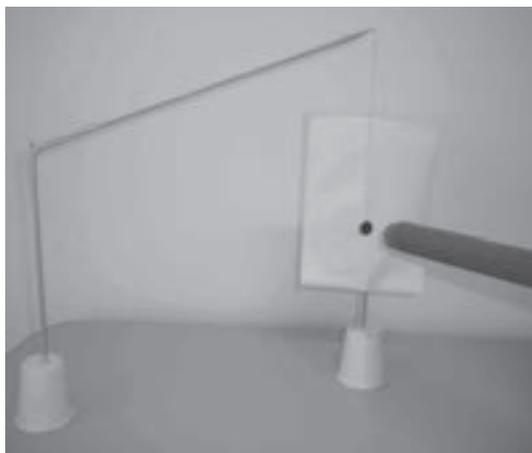


Figura 17.5 – O disco de papel de seda (material condutor) está preso à linha de seda (isto é, isolante elétrico). Ao fundo, temos o anteparo de papel sulfite aterrado, e à frente a cortiça fixada ao tubo de PVC atritado com poliamida.

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Suporte
Canudo de refresco
Rolha de cortiça
Papel sulfite
Papel de seda
Linha de seda
Palito de madeira de 30 cm

Gray descreve, à página 20 de seu artigo, um experimento em que coloca uma vareta de abeto em uma cortiça presa à extremidade de um tubo de vidro, e na outra extremidade da vareta coloca uma bola

de marfim. Ao atritar o tubo de vidro, verifica que a bola de marfim fica eletrizada. Para a reprodução deste experimento com material de baixo custo, utilizamos o tubo de PVC com a rolha de cortiça em sua extremidade. Essa primeira rolha será chamada de rolha A. Encaixamos uma das extremidades de um palito de madeira nessa primeira rolha e na outra extremidade do palito colocamos uma segunda rolha, chamada aqui de rolha B.⁷ A Figura 17.6 ilustra o instrumento construído com tubo de PVC, vareta e cortiças. O objetivo é verificar se o atrito do tubo de PVC provoca a eletrização da cortiça B que foi colocada na extremidade livre do palito de madeira.



Figura 17.6 – Tubo de PVC com uma rolha de cortiça (A) em sua extremidade, uma vareta de madeira colocada nessa cortiça e uma segunda rolha (B) colocada na extremidade da vareta que está mais afastada do tubo de PVC.

7 A partir das leituras dos textos de Gray, concluímos que a bola de marfim comporta-se como um material condutor elétrico para os experimentos descritos. Sendo assim, utilizamos uma cortiça no lugar do marfim por três motivos: 1) tanto a cortiça quanto o marfim comportam-se como condutores para os experimentos de eletrostática; 2) é muito mais fácil encontrar cortiça do que marfim; 3) a cortiça é um material de baixo custo.

Para a verificação da eletrização, utilizamos o aparato mencionado nos experimentos anteriores, isto é, um anteparo de papel sulfite e um disco de papel de seda preso a uma linha de seda. Após atritar o tubo de PVC com poliamida e aproximar a cortiça B do disco de papel de seda, este oscilou entre o anteparo e a cortiça por algumas vezes. Dessa forma, é possível verificar que o atrito do tubo provoca a eletrização de um objeto condutor elétrico colocado na extremidade da vareta de madeira. A Figura 17.7 apresenta os materiais utilizados neste experimento.



Figura 17.7 – A figura mostra o tubo de PVC com uma rolha (A), vareta de madeira e a segunda rolha (B); o material de poliamida utilizado para a eletrização do tubo; e os instrumentos para verificação da eletrização, isto é, anteparo de papel sulfite aterrado e disco de papel de seda preso em uma linha de seda fixada em um suporte.

Experimento 17.4 – Experimento em que fios diversos são fixados na cortiça que arrolha o tubo de PVC

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Agulha de costura
Papel sulfite
Papel de seda
Fio de cobre bem fino
Linha de poliamida
Linha de seda
Linha de algodão

À página 21 do texto original,⁸ Gray relata que substituiu a vareta de madeira por fios metálicos. Sendo assim, neste experimento substituímos a vareta de madeira utilizada no experimento anterior (Experimento 17.3) por fios de material condutor e isolante, todos com aproximadamente 60 cm de comprimento. Utilizamos dois tipos de fio condutor, isto é, fio de cobre e linha de algodão, e dois tipos de fio isolante, isto é, linha de poliamida e linha de seda.⁹ Para fixar os fios nas rolhas de cortiça, utilizamos agulhas de costura, as quais foram fincadas nas rolhas e as linhas presas a elas. Utilizamos agulhas de costura por conveniência, pois facilitam a fixação das linhas/fios na cortiça. A Figura 17.8 ilustra o instrumento.

O objetivo do experimento é o mesmo do experimento anterior, isto é, verificar se a rolha de cortiça colocada na extremidade das linhas/fios ficaria eletrizada após o atrito do tubo de PVC com a

8 Ver página 132 deste livro.

9 Fizemos o instrumento com um fio de cobre retirado de um “cabinho” (fio de cobre flexível vendido em lojas de eletrônica), mas também poderia ter sido feito com um fio de cobre retirado de um cabo de cobre flexível de 1,5 mm para instalação elétrica residencial. A linha de algodão utilizada foi do tipo utilizado para soltar pipa (também chamada de *papagaio*). A linha de poliamida utilizada foi do tipo utilizado para pesca, usualmente chamada de *linha de náilon*.

poliamida. Para a detecção da eletrização, utilizamos pedacinhos de papel de seda, os quais foram colocados sobre uma folha de papel sulfite. Para realizar o experimento, montamos o instrumento ilustrado na Figura 17.9; em seguida, atrimos o tubo com a poliamida e aproximamos a rolha presa à extremidade inferior do fio aos papezinhos colocados sobre o papel sulfite.



Figura 17.8 – Fio de cobre preso à agulha de costura fincada na rolha de cortiça.

As rolhas presas às linhas isolantes não apresentaram eletrização perceptível, uma vez que os papezinhos não foram atraídos. Já as rolhas presas aos fios condutores atraíram os pedacinhos de papel de seda. Portanto, apresentaram eletrização após o atrito do cano de PVC. A Figura 17.10 ilustra a atração dos papezinhos atraídos pelas rolhas presas aos fios de materiais condutores.

Utilizamos também uma linha pendular como detector de eletrização, uma vez que tal instrumento é mais sensível do que os pedacinhos de papel de seda. Os resultados encontrados foram os mesmos, ou seja, as cortiças presas às linhas isolantes não apresentaram qualquer eletrização perceptível e aquelas presas às linhas condutoras apresentaram eletrização. No entanto, ao aproximar tanto o fio de cobre quanto o de algodão da linha pendular, verificamos que esta era atraída. Dessa forma, podemos dizer que os fios, pelo menos na região mais próxima à cortiça, também ficaram eletrizados. Cabe

ressaltar que quanto mais fina for a linha utilizada no instrumento de detecção, mais acentuado fica o fenômeno da atração pelo fio.



(a) Instrumento completo.



(b) Destaque para o fio e para as cortiças.

Figura 17.9 – Instrumento feito com tubo de PVC, cortiça fixada na extremidade do tubo, fio (condutor ou isolante) e uma rolinha de cortiça na extremidade inferior do fio.

À página 21 do artigo original, Gray menciona que após fazer os testes com a bola de marfim, utilizou uma bola de cortiça e outra de chumbo. A cortiça é o material que optamos por utilizar nos experimentos, tendo em vista a facilidade de acesso e de manipulação. No caso da bola de chumbo, o leitor poderá utilizar, por exemplo, uma chumbada de pesca. Também pode ser utilizada uma bolinha de papel-alumínio ou um colchete tipo bailarina como objeto metálico colocado na extremidade do fio vertical. A Figura 17.11 ilustra uma bola de chumbo e um colchete atraindo pedacinhos de papel de seda, o que evidencia a eletrização dos referidos objetos após o atrito do tubo de PVC.

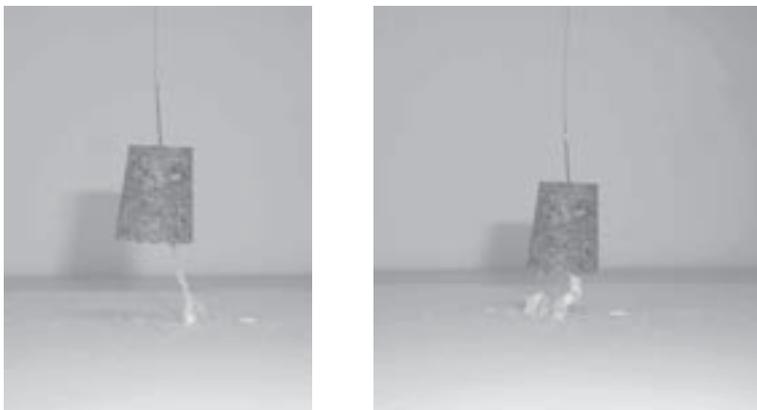


Figura 17.10 – Cortiça presa a um fio de material condutor, por meio de uma agulha de costura, atraindo pedacinhos de papel de seda após o tubo de PVC ser atritado com poliamida.

Tal como já mencionamos, com a utilização da bola de chumbo no lugar do marfim, Gray conseguiu que metais atraíssem corpos leves, ou seja, conseguiu eletrizar metais, que era algo perseguido sem sucesso há muito tempo. Além desses materiais, também testamos uma folha de árvore seca e outra verde, um pedaço de tijolo e um giz. Todos atraíram a linha pendular após o atrito do tubo de PVC com poliamida. Utilizamos a linha pendular como instrumento de detecção de eletrização, porque a atração dos pedacinhos de papel de seda foi muito pequena. Testamos a condutividade elétrica desses quatro materiais, sendo que todos se comportaram como condutores. O teste de condutividade foi feito com um eletroscópio, tal como descrito no Experimento 2.¹⁰ Um ponto crucial para o sucesso desse experimento é evitar a oscilação da cortiça no momento em que se atrita o tubo de PVC. Sendo assim, a ação de atritar deve ser feita de forma que o fio com a cortiça oscile o mínimo possível, uma vez que uma grande oscilação pode inviabilizar o experimento. Um segundo ponto crucial é a distância entre a cortiça e os detectores de eletrização, sejam os pedacinhos de papel de seda, seja a linha pendular, pois a eletrização só passa a ser detectada quando essa distância é pequena.

10 Subseção 4.3.2 deste livro.



(a) Bola de chumbo (chumbada de pesca) atraindo pedacinhos de papel de seda.



(b) Colchete do tipo bailarina atraindo pedacinhos de papel de seda.

Figura 17.11 – Objetos metálicos presos a um fio de material condutor atraindo pedacinhos de papel de seda após o tubo de PVC ser atritado com poliamida.

Experimento 17.5 – Primeira tentativa de condução na horizontal infrutífera no caso de Gray

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Canudinho de refresco
Agulha de costura
Disco de cortiça
Vareta de madeira
Papel sulfite
Papel de seda
Fio de cobre bem fino
Linha de algodão
Linha de seda
Linha de poliamida

À página 25 do artigo original,¹¹ Gray descreve a primeira tentativa de condução da eletricidade com a linha de transmissão¹² na posição horizontal. O nosso objetivo, com este experimento feito com material de baixo custo, é construir um aparato com as mesmas características de condutividade dos materiais envolvidos no experimento descrito por Gray, no qual uma linha¹³ é presa a um gancho fixado a uma viga, provavelmente de madeira, sendo que na extremidade inferior dessa linha é presa a linha de condução. Neste livro vamos chamar de *linha de sustentação* ou *linha de apoio* a linha vertical que sustenta a linha de transmissão.¹⁴ Gray não obteve sucesso na condução da eletricidade, nesse caso.

Para reproduzir sua experiência, fizemos um suporte com palitos de madeira, linha de algodão (linha de pipa) e um suporte com base de gesso, o qual deve estar aterrado (ver Figura 17.12).



Figura 17.12 – Aparato utilizado para sustentar o fio condutor, feito com suporte com base de gesso, palitos de madeira e linha de algodão.

-
- 11 Ver página 140 deste livro.
- 12 Utilizamos, neste texto, as expressões *linha de condução* e *linha de transmissão* como sinônimos, ambas significando a linha condutora (isto é, uma linha de algodão ou um fio bem fino de cobre) utilizada para testar a condução ou transmissão da eletricidade do tubo de PVC atritado para uma cortiça colocada a certa distância do tubo, quando a cortiça e o tubo estão conectados por essa linha de condução ou de transmissão.
- 13 No texto original não é relatado de que material essa linha é feita. Apesar disso, supomos que seja uma linha de barbante (*line of packthread*), que havia sido citada um pouco antes no texto. Ou seja, uma linha de material condutor.
- 14 Uma ilustração deste experimento pode ser vista na Figura 7.8 deste livro.

Nesse suporte foi fixada uma linha de sustentação vertical, em cujas extremidades foram feitos laços; um dos laços foi colocado no suporte e o outro, da extremidade inferior, foi utilizado para suspender a linha de condução. Então, uma das extremidades da linha de condução foi presa ao tubo de PVC por meio de uma cortiça e foi esticada horizontalmente até a linha de sustentação vertical, na qual foi presa ao passar pelo laço, ficando com uma parte também na posição vertical abaixo do laço. Nessa extremidade da linha de condução foi fixado um disco de cortiça, por meio de uma agulha de costura.¹⁵ O aparato completo é ilustrado na Figura 17.13. Utilizamos pedacinhos de papel de seda como detectores de eletricidade, os quais foram colocados sob o disco de cortiça e sobre uma folha de papel sulfite.



Figura 17.13 – Aparato completo utilizado para experimentos de condução na horizontal. Temos uma linha de sustentação presa ao palito superior e uma linha de transmissão presa ao PVC e com uma cortiça presa em sua outra extremidade.

15 Chamaremos esse disco de cortiça de cortiça de detecção para diferenciar da rolha colocada na extremidade do tubo de PVC para prender a linha de condução. Esse disco foi feito cortando-se uma rolha de cortiça (um corte de seção reta) de cerca de 2 mm de altura.

O experimento consiste em atritar o tubo de PVC com poliâmida. Se os pedacinhos de papel de seda não forem atraídos pelo disco de cortiça, isso significa que não há transmissão de eletricidade do tubo para a cortiça de detecção colocada na extremidade oposta da linha de transmissão. Um primeiro ponto crucial para o experimento é a altura da cortiça em relação aos pedacinhos de papel de seda. Após vários testes, passamos a trabalhar com a altura de aproximadamente 7 mm, que é o diâmetro de um canudinho de refresco que tínhamos para o experimento, de tal forma que utilizamos o diâmetro desse canudinho para regular a altura da cortiça (isto é, distância entre a cortiça e os pedacinhos de papel de seda). Um segundo ponto crucial é agitação do sistema no momento em que se procede ao atrito do tubo de PVC, o que pode balançar demais a cortiça de detecção e dificultar ou impedir a atração dos pedacinhos de papel de seda. O terceiro ponto crucial é a linha de transmissão não encostar na mesa ou em qualquer outro objeto condutor no momento do atrito, o que pode acontecer por ela não ficar exatamente na horizontal (isto é, formando uma curva catenária), como adverte o próprio Gray à página 31 do seu artigo.¹⁶ O leitor precisa ficar atento a esses pontos cruciais, pois podem inviabilizar o experimento com bastante facilidade.

No experimento realizado por Gray, ele utilizou apenas uma linha condutora na posição vertical (estamos nos referindo à linha de sustentação com laço na extremidade inferior, linha esta que sustenta um pedaço da linha de transmissão). Nós, de outro lado, fizemos os testes com linhas de sustentação feitas de materiais condutores e isolantes. As linhas de sustentação condutoras foram feitas de linhas de algodão ou de fio de cobre bem fino. As linhas de sustentação isolantes foram feitas de linha de poliâmida (ou seja, náilon de pesca) ou linha de seda. A Tabela 17.1 apresenta os resultados que obtivemos ao fazer o experimento com os diferentes materiais e diferentes distâncias entre a cortiça e os pedacinhos de papel de seda.

16 Ver página 149 deste livro.

Tabela 17.1 – Condução da eletricidade

Nº	Linha de sustentação	Altura de 7 mm	Altura < 7 mm
1	Linha de algodão	não atrai	atrai
2	Fio de cobre	não atrai	não atrai
3	Linha de poliamida	atrai	atrai
4	Linha de seda	atrai	atrai

Chamou-nos a atenção o fato de a cortiça suspensa por linha de sustentação de algodão (isto é, condutora elétrica) atrair pedacinhos de papel de seda quando estava bem próxima (< 7 mm) a eles. No entanto, em qualquer distância entre a cortiça de detecção e os papeizinhos quando era utilizada uma linha de sustentação vertical de algodão, se o palito de madeira de um suporte com base de gesso aterrado (palito de madeira + base de gesso) fosse colocado encostado na linha de comunicação, já bem próximo à linha de sustentação vertical, não era verificada qualquer atração dos papeizinhos de seda.

O fato de os papeizinhos serem atraídos quando a linha de algodão foi utilizada para suspender a linha de condução evidencia que houve transmissão da eletricidade para a cortiça de detecção. O fato de a atração ocorrer apenas para distâncias bem pequenas evidencia que a cortiça eletrizou menos do que quando foi utilizado um fio de sustentação vertical de material isolante. Por algum motivo, aquela linha de algodão não estava aterrando completamente o sistema formado pelo tubo de PVC, linha de condução e cortiça de detecção, e isso fica evidente quando o palito de madeira é encostado na linha de condução, fazendo que a atração dos papeizinhos cesse. Após vários testes, feitos devido ao fato de ocorrer atração quando utilizada uma linha de sustentação condutora para suspender a linha de transmissão, pareceu-nos que há diferença no aterramento do sistema, dependendo da forma como a linha de condução é presa à linha vertical. Pareceu-nos que, se a linha de condução apenas ficar apoiada no laço (como ilustra a Figura 17.14a), ocorre a atração

que reportamos, mas se ela der uma volta completa no laço (como ilustra a Figura 17.14b), a atração deixa de ocorrer. Uma hipótese explicativa para tal fato é que o aumento da superfície de contato entre a linha vertical e a linha de transmissão melhora o aterramento do sistema. Cabe destacar que só percebemos o efeito de atração dos papezinhos pela cortiça enquanto o tubo era atritado; tão logo cessávamos o atrito, a atração parava.

De qualquer forma, quando apoiamos o fio de transmissão por um fio de sustentação condutor feito de cobre, não houve transmissão da eletricidade até a cortiça. Ou seja, conseguimos reproduzir a experiência de Gray na qual ele não verificou a transmissão da eletricidade quando a linha de transmissão estava apoiada por um barbante.

Experimento 17.6 – Experimento em que foi obtido êxito na condução da eletricidade na horizontal

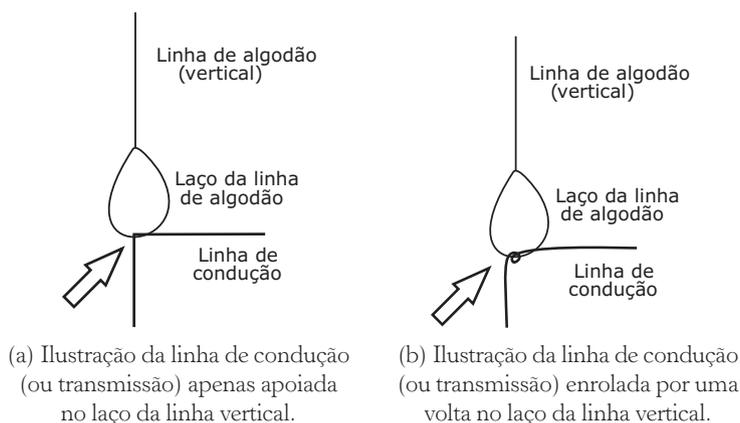


Figura 17.14 – Diferentes maneiras pelas quais pode-se suspender a linha de condução por meio do laço da linha de sustentação vertical.

Materiais
Tubo de PVC Poliamida Canudinho de refresco Agulha de costura Disco de cortiça Vareta de madeira Papel sulfite Papel de seda Fio de cobre bem fino Linha de algodão Linha de seda Linha de poliamida

Esse experimento ilustra aquele em que Gray e Wheler conseguiram obter a condução da eletricidade com a linha de transmissão na posição horizontal, que foi descrito à página 26 do texto original.¹⁷ Wheler propôs a utilização de uma linha de seda como suporte para a linha de transmissão, fixando a referida linha de seda nas paredes de uma galeria por meio de pregos. Novamente vamos chamar de *linha de sustentação* (ou *linha de apoio*) a linha que suporta a linha de transmissão.

Em nosso experimento utilizamos dois postes de sustentação e uma linha de apoio presa entre eles, a qual é utilizada como suporte para a linha de transmissão, como ilustra a Figura 17.15a.

A linha de transmissão foi presa a uma das extremidades do tubo de PVC por meio de uma cortiça e foi esticada horizontalmente até a linha de apoio presa entre os dois postes de sustentação, de tal forma que a sua parte final ficasse na posição vertical (ver Figura 17.15b). Nessa extremidade da linha de condução, foi preso um disco de cortiça por meio de uma agulha. O aparato completo é ilustrado na Figura 17.16. Esse experimento é bastante importante, pois possibilitou a Gray chegar à proposição dos materiais condutores e isolantes.

17 Ver página 141 deste livro.



(a) Aparato utilizado para sustentar a linha condutora, feito com dois suportes com base de gesso e uma linha de apoio disposta na horizontal presa aos suportes.



(b) Na vertical está a linha de transmissão, presa a um disco de cortiça por meio de uma agulha, que está apoiada na linha de apoio horizontal colocada entre os suportes com base de gesso e segue horizontalmente até o tubo.

Figura 17.15 – Aparato utilizado para o experimento que ilustra como Gray e Wheler chegaram à condução da eletricidade com o fio condutor disposto na posição horizontal.



Figura 17.16 – Aparato completo utilizado para o experimento com o qual se ilustra a maneira como Gray e Wheler chegaram à condução da eletricidade com o fio condutor disposto na posição horizontal. À esquerda, há dois suportes com base de gesso e

uma linha de apoio presa entre eles na posição horizontal. À direita, há um tubo de PVC que prende a linha de condução, a qual é esticada até o lado esquerdo e fica apoiada na linha de sustentação horizontal entre os suportes com base de gesso. No final da linha de condução há um disco de cortiça, preso a ela por meio de uma agulha de costura.

O experimento consiste em atritar o tubo de PVC com poliamida. Se os pedacinhos de papel de seda forem atraídos pelo disco de cortiça, isso significa que há transmissão de eletricidade do tubo para a cortiça de detecção colocada na extremidade oposta da linha de transmissão. Um ponto crucial para o experimento é a altura da cortiça em relação aos pedacinhos de papel de seda; o outro ponto crucial é evitar que a linha de transmissão encoste em objetos condutores durante o atrito. Tal como no experimento anterior (Experimento 17.5), trabalhamos com a altura de 7 mm (isto é, distância entre os pedacinhos de papel de seda e a cortiça de detecção), que é o diâmetro de um canudinho de refresco. No experimento realizado por Gray, ele utilizou apenas uma linha isolante como suporte para a linha de transmissão. Nós, de outro lado, fizemos os testes com linhas condutoras e isolantes, cujos materiais são: 1) linha de algodão; 2) fio de cobre bem fino; 3) linha de poliamida (isto é, linha de pesca); 4) linha de seda. A Tabela 17.2 apresenta os resultados que obtivemos ao fazer o experimento com os diferentes materiais para a linha de sustentação e diferentes distâncias entre a cortiça e os pedacinhos de papel de seda.

Tabela 17.2 – Condução da eletricidade

Nº	Linha de sustentação	Altura de 7 mm	Altura < 7 mm
1	Linha de algodão	não atrai	não atrai
2	Fio de cobre	não atrai	não atrai
3	Linha de poliamida	atrai	atrai
4	Linha de seda	atrai	atrai

Nesse experimento não foi verificada qualquer atração dos papezinhos de seda quando as linhas de sustentação condutoras (isto é, de algodão e fio de cobre) foram utilizadas como suporte para a linha de transmissão. Cabe destacar que só percebemos o efeito de atração dos papezinhos pela cortiça enquanto o tubo era atritado; tão logo cessávamos o atrito, a atração parava.

Ou seja, conseguimos reproduzir a experiência de Gray na qual havia a condução da eletricidade pela linha de transmissão quando essa linha era apoiada por outra linha de sustentação feita de material isolante (linha de poliamida ou de seda, no nosso caso).¹⁸

Experimento 17.7 – Superfície condutora

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Suporte com base de gesso
Vareta de madeira
Caixa de papelão
Papel sulfite
Canudinho de refresco
Linha pendular (algodão)
Linha de algodão
Fita isolante

À página 31 do artigo original,¹⁹ é descrito um experimento em que Gray reporta que “grandes superfícies podem ser impregnadas com os eflúvios elétricos”. Para a reconstrução com material de baixo custo deste experimento, utilizamos uma folha de papel sulfite, tamanho A4, pendurada por linhas de algodão presas a palitos de madeira fixos em uma caixa de papelão, tal como ilustra a Figura 17.17.

18 Um interessante vídeo sobre a reprodução dos experimentos de Gray sobre a condução elétrica pode ser visto em: <www.youtube.com/watch?v=CX-th6EBxBCw&feature=endscreen&NR=1>; ver Hipsttube (2010).

19 Ver página 149 deste livro.

Utilizamos uma caixa de papelão como suporte, por conveniência e fácil acesso ao material; o leitor interessado em fazer o experimento pode utilizar outro suporte, caso seja mais conveniente. Os palitos de madeira foram fincados na caixa de papelão na região bem próxima à parte superior, para que pudessem ficar apoiados no teto da caixa e, assim, suportassem a folha sem se movimentar. Na região em que as linhas de algodão estavam fixadas, a ponta dos palitos foi envolta com fita isolante, pois sem esse artifício não foi possível realizar o experimento aproximando o tubo da parte de cima das linhas. Como detector de eletrização utilizamos uma linha pendular de algodão, a qual estava presa a um suporte com base de gesso, como ilustra a Figura 17.17. Tentamos inicialmente verificar a eletrização da folha de papel A4 colocando pequenos pedaços de papel de seda sob a folha, mas não houve qualquer atração dos papeizinhos. Sendo assim, recorreremos à linha pendular, a qual foi atraída pela folha, mostrando a eletrização da superfície em vários pontos.



(a) Folha de papel sulfite (A4) presa por linhas de algodão a palitos de madeira que estão fixados em uma caixa de papelão. A figura também ilustra a linha pendular utilizada como detector de eletrização. Foto frontal do aparato.



(b) Folha de papel sulfite (A4) presa por linhas de algodão a palitos de madeira que estão fixados em uma caixa de papelão. A figura também ilustra a linha pendular utilizada como detector de eletrização. Foto lateral do aparato.

Figura 17.17 – Instrumento utilizado para o experimento em que uma superfície de papel sulfite é eletrizada a partir da aproximação do tubo de PVC atritado com poliamida.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da parte superior das linhas de algodão, na região amarrada ao palito. Vale destacar que a distância na qual ocorria a atração entre a linha pendular e a folha de sulfite variava em cada teste; no entanto, só foi possível verificar a eletrização da folha com a linha bem próxima a ela. Dessa forma, o leitor deverá estar atento a isso, pois a má regulagem dessa distância pode inviabilizar o experimento. No experimento descrito por Gray, o barbante preso à superfície de teste está amarrado ao tubo de vidro. Inicialmente, tentamos fazer o experimento da mesma forma, isto é, fixando as linhas de algodão que prendem a folha de papel sulfite diretamente no tubo de PVC. No entanto, o atritar do tubo balança demais a folha de papel, de tal maneira que inviabiliza o experimento. Por esse motivo optamos por prender as linhas de algodão em um suporte fixo e aproximar o tubo de PVC eletrizado das linhas.

Experimento 17.8 – Atração elétrica por um ímã

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Suporte com base de gesso
Vareta de madeira
Caixa de papelão
Ímã
Papel sulfite
Canudinho de refresco
Linha pendular (algodão)
Linha de algodão
Fita isolante
Objeto metálico magnetizado

À página 32 do artigo original,²⁰ é descrito um experimento em que Gray verifica “se a virtude elétrica seria de alguma forma im-

20 Ver página 149 deste livro.

pedida pelos eflúvios magnéticos de um ímã”. Para a reconstrução do experimento com material de baixo custo, utilizamos um aparato muito semelhante ao do experimento anterior (Experimento 17.17), mas, em vez de prender uma folha de papel sulfite (A4) na linha de algodão, prendemos um ímã, tal como ilustra a Figura 17.18.



(a) Ímã preso por uma linha de algodão a um palito de madeira que está fixado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra a linha pendular utilizada como detector de eletrização.



(b) Ímã preso por uma linha de algodão a um palito de madeira que está fixado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra a linha pendular utilizada como detector de eletrização e a tesoura “fixada” ao ímã.

Figura 17.18 – Instrumento utilizado para o experimento em que se verifica “se a virtude elétrica seria de alguma forma impedida pelos eflúvios magnéticos de um ímã”.

No experimento descrito por Gray, a exemplo do anterior, o barbante que suspende o ímã é fixado diretamente no tubo de vidro. Aqui, optamos por prendê-lo em um suporte fixo, porque o intenso chacoalhar da linha em razão do atrito do tubo de PVC inviabiliza o experimento. A ponta do palito de madeira, na região em que a linha de algodão estava fixada, foi envolta com fita isolante, pois sem esse artifício (isto é, isolar a região em que a linha estava

presa) não foi possível realizar o experimento aproximando o tubo atritado da parte de cima da linha. O detector de eletrização utilizado foi uma linha pendular de algodão presa a um suporte com base de gesso, já que os pedacinhos de papel de seda não funcionaram como detector nesse caso. Utilizamos para este experimento um ímã de alto-falante, tendo em vista a facilidade de acesso ao mesmo. A Figura 17.18b mostra uma tesoura “presa” ao ímã, mas pode ser utilizado qualquer outro objeto que seja ferromagnético. No caso da tesoura, a verificação da eletrização não deve ser feita no cabo de plástico, mas na parte metálica dela.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da parte superior da linha de algodão, na região amarrada ao palito. Vale destacar que a distância em que ocorria a atração entre a linha pendular e o ímã variava em cada teste; no entanto, só foi possível verificar a eletrização do ímã com a linha bem próxima a ele. Dessa forma, o leitor deverá estar atento a isso, pois a má regulagem dessa distância pode inviabilizar o experimento. Os testes mostram que mesmo um objeto magnetizado pode apresentar atração elétrica quando colocado em situação que propicie tal feito. Isso também foi observado por Gray.

Experimento 17.9 – Condução da eletricidade por vários caminhos ao mesmo tempo

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Suporte com base de gesso
Agulha de costura
Canudinho de refresco
Linha de algodão
Disco de cortiça
Cortiça

À página 32 do artigo original,²¹ é descrito um experimento em que Gray mostra “que a virtude elétrica é transportada ao mesmo tempo por vários caminhos”. Para a reconstrução deste experimento com material de baixo custo, utilizamos três pedaços de linha de algodão presas a um tubo de PVC. Para prender as linhas de algodão no tubo, foi utilizada uma rolha de cortiça, sendo que as linhas foram colocadas dentro do tubo e, em seguida, ele foi arrolhado, de tal maneira que as linhas ficassem presas. Na outra extremidade de cada linha foi colocado um disco de cortiça, por meio de uma agulha de costura. A exemplo de outros experimentos descritos neste texto, a utilização da agulha de costura para prender a linha condutora (de algodão) ao disco de cortiça é por conveniência, pois facilita o encaixe e a remoção da peça de cortiça. Para suspender a linha de algodão, foram utilizados três suportes com base de gesso, sendo usados canudinhos de refresco como haste horizontal, os quais são isolantes – Gray utilizou suportes feitos com linha de seda para suspender a linha de condução. É importante que seja utilizado um suporte isolante para a linha de condução, pois, como evidencia o Experimento 17.6,²² um suporte de material condutor inviabiliza a transmissão da eletricidade. Utilizamos pequenos pedaços de papel de seda como detectores de eletricidade, os quais foram colocados sob os discos de cortiça e sobre folhas de papel sulfite. A linha de condução segue horizontalmente entre o tubo de PVC e a haste horizontal, e após o ponto em que é fixada no canudo (isto é, haste horizontal) segue verticalmente até próximo aos pedacinhos de papel de seda. A ilustração do aparato utilizado para este experimento pode ser vista na Figura 17.19.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliâmida e, após alguns segundos de eletrização, os discos de cortiça atraíram os pedacinhos de papel de seda colocados sob eles, como ilustra a Figura 17.20.

21 Ver página 149 deste livro.

22 Ver página 327 deste livro.



Figura 17.19 – Aparato utilizado para o experimento em “que a virtude elétrica é transportada ao mesmo tempo por vários caminhos”. Três pedaços de linha de algodão são presos a um tubo de PVC, seguem horizontalmente até um suporte isolante e, então, seguem verticalmente até próximo à superfície. Nessa extremidade de cada linha condutora há um disco de cortiça preso a elas por meio de uma agulha, abaixo dos discos há pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite.

Um fator importante neste experimento, como já relatado em experimentos anteriores, é a distância entre a cortiça colocada na ponta das linhas de condução e os papeizinhos de seda. Essa distância tem de ser bem pequena para que se observe a atração. A distância utilizada por nós é de cerca de 7 mm, que é o diâmetro de um canudo de fresco utilizado para regular essa altura. Em nossos testes, distâncias maiores que 7 mm inviabilizaram o experimento. Outro fator crucial na realização do experimento é evitar que as linhas de condução toquem objetos condutores (como a mesa, por exemplo) enquanto o tubo é atritado, pois isso inviabiliza o experimento.

Experimento 17.10 – Transporte de eletricidade sem que o tubo toque a linha de transmissão



Figura 17.20 – Os três discos de cortiça presos às linhas de algodão por meio de agulhas de costura atraindo pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite, após a eletrização do tubo de PVC por meio de atrito com poliamida.

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Garra “tipo boca de jacaré”
Agulha de costura
Disco de cortiça
Suporte com base de gesso
Vareta de madeira
Papel sulfite
Papel de seda
Linha de seda
Linha de poliamida

À página 33 do texto original,²³ Gray reporta um experimento em que prendeu um pedaço de chumbo ao teto por meio de uma

23 Ver página 152 deste livro.

linha muito fina,²⁴ tal como ilustra a Figura 7.14.²⁵ Dessa forma, prendemos um disco de cortiça ao suporte de madeira por meio de uma linha de seda de cerca de 50 cm, a qual é isolante. Sob a cortiça foram colocados pedacinhos de papel de seda, os quais estavam sobre uma folha de sulfite. O aparato é ilustrado na Figura 17.21.



Figura 17.21 – Aparato completo utilizado para o experimento em que há transporte de eletricidade sem que o tubo toque a linha de transmissão. Há um suporte de madeira feito com palitos de churrasco e base de gesso, uma linha de seda pendurada verticalmente ao suporte por meio de uma garra “tipo boca de jacaré” e, preso à extremidade inferior da linha, um disco de cortiça fixado por meio de uma agulha.

Atritamos o tubo de PVC com poliamida e o aproximamos da linha, sem tocá-la, a várias alturas. A primeira constatação foi de que

24 Essas linhas comportam-se como materiais isolantes; ver a nota 49 no Capítulo 7 deste livro.

25 Ver página 153 deste livro.

os pedacinhos da linha de seda que sobraram do laço que a prendia no suporte de madeira (ou à garra “tipo boca de jacaré”) foram atraídos pelo tubo de PVC atritado.²⁶ Depois, verificamos que, à medida que o tubo de PVC eletrizado era aproximado da linha de seda, ela era atraída, movimentando-se de forma pendular. O mesmo ocorreu quando utilizamos uma linha de poliamida (isto é, linha de pesca), mas o efeito de atração pareceu-nos menos acentuado nesse material. Após aproximar o tubo a várias alturas da linha de seda, observamos que, para alturas menores do que 20 cm, a cortiça atraía pedacinhos de papel de seda.

Uma hipótese explicativa para tal fato é que está ocorrendo polarização na linha de seda e, conseqüentemente, na cortiça, apesar de a linha de seda ser um isolante elétrico para experimentos de eletrostática. O Experimento 17.³²⁷ corrobora nossa hipótese, pois evidencia que uma linha de seda presa a um palito de madeira é atraída por um tubo de PVC atritado colocado próximo a ela. Essa interação atrativa entre o tubo eletrizado e a linha de seda provavelmente deve-se a uma polarização no material isolante. As figuras 16.4 e 16.5²⁸ ilustram o fenômeno. Também seria possível levantar a hipótese de que a atração dos papezinhos ocorre devido à influência direta do próprio tubo atritado na cortiça, mas, durante os testes, verificamos que em alguns momentos o tubo atraía papezinhos à altura de cerca de 10 cm, e a atração pelo disco de cortiça preso à linha deu-se com o tubo a cerca de 20 cm de altura.

Para este experimento utilizamos os aparatos dos experimentos 17.5 e 17.6, mas, em vez de prender a linha condutora no tubo de PVC, nós a fixamos em um suporte feito com base de isopor e um palito de madeira envolto por um canudinho de refresco, de tal for-

26 Não é necessária a utilização da garra “tipo boca de jacaré” nesse experimento, pois a linha vertical pode ser presa diretamente ao suporte de madeira por meio de um laço ou nó. Utilizamos a garra apenas para facilitar a troca dos fios e a regulagem da altura do disco de cortiça em nossos testes.

27 Conforme descrito na página 315 deste livro.

28 Ver páginas 306 e 307 deste livro.

ma que a linha ficasse presa a um suporte isolado eletricamente. A Figura 17.22 ilustra ambos os aparatos.



(a) À esquerda, há dois suportes com base de gesso e uma linha de apoio presa entre eles na posição horizontal. À direita, há um bloco de isopor com um palito de madeira, que são utilizados como suporte para prender a linha de condução, a qual é esticada até o lado esquerdo e fica apoiada na linha de apoio horizontal entre os suportes com base de gesso. No final da linha de condução, há um disco de cortiça preso a ela por meio de uma agulha de costura.



(b) À esquerda, há um suporte de madeira com base de gesso e uma linha de apoio presa a ele na posição vertical. À direita, há um bloco de isopor com um palito de madeira, que são utilizados como suporte para prender a linha de condução, a qual é esticada até o lado esquerdo e fica apoiada na linha de apoio vertical presa ao suporte de madeira. No final da linha de condução, há um disco de cortiça preso a ela por meio de uma agulha de costura.

Figura 17.22 – Aparatos utilizados para o experimento em que a virtude elétrica pode ser transportada a partir do tubo sem tocar a linha de comunicação.

Utilizamos pedacinhos de papel de seda como detectores de eletricidade, os quais foram colocados sob o disco de cortiça e sobre uma folha de papel sulfite. Fizemos os testes com linhas de apoio condutoras e isolantes, cujos materiais são: 1) linha de algodão; 2) fio de cobre bem fino; 3) linha de poliamida (isto é, linha de pesca); 4) linha de seda. A linha de transmissão é sempre de algodão. As tabelas 17.3 e 17.4 apresentam os resultados que obtivemos ao fazer os experimentos com os diferentes materiais e diferentes distâncias entre a cortiça e os pedacinhos de papel de seda.

A Tabela 17.3 reporta os resultados obtidos com o aparato da Figura 17.22a, e a Tabela 17.4 reporta os resultados obtidos com o aparato da Figura 17.22b. O experimento consiste em atritar o tubo de PVC com poliamida e aproximá-lo da extremidade da linha de condução que está presa ao suporte com base de isopor. Verifica-se, então, se a cortiça na outra extremidade da linha de condução atrai ou não os papezinhos de seda colocados abaixo dela.

Tabela 17.3 – Condução da eletricidade sem contato entre o tubo e a linha de transmissão

Nº	Linha de sustentação	Altura de 7 mm	Altura < 7 mm
1	Linha de algodão	não atrai	atrai
2	Fio de cobre	não atrai	não atrai
3	Linha de poliamida	atrai	atrai
4	Linha de seda	atrai	atrai

Tabela 17.4 – Condução da eletricidade sem contato entre o tubo e a linha de transmissão

Nº	Linha de sustentação	Altura de 7 mm	Altura < 7 mm
1	Linha de algodão	atrai	atrai
2	Fio de cobre	não atrai	atrai
3	Linha de poliamida	atrai	atrai
4	Linha de seda	atrai	atrai

Experimento 17.11 – Transporte de eletricidade por vários caminhos sem que o tubo toque a linha de transmissão

Materiais
Tubo de PVC Poliamida Suporte com base de gesso Agulha de costura Peça de isopor Canudinho de refresco Linha de algodão Disco de cortiça Cortiça Palito de madeira

À página 34 do artigo original,²⁹ é descrito um experimento em que Gray mostra “que a virtude elétrica pode ser transportada ao mesmo tempo por vários caminhos, por uma linha de comunicação, sem tocar a referida linha”. Para este experimento utilizamos o mesmo aparato do Experimento 17.9.³⁰ No entanto, em vez de prendermos os barbantes no tubo de PVC, eles foram fixados em um suporte isolante. Esse suporte foi feito com um bloco de isopor e um palito de madeira envolto por um canudinho de refresco, de tal forma que as linhas ficassem presas a um suporte isolado eletricamente. A Figura 17.23 ilustra esse aparato.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, então, aproximado do nó que prendia as linhas ao suporte isolado eletricamente. Com isso, os discos de cortiça atraíram os pedacinhos de papel de seda colocados sob eles. Um fator crucial neste experimento é a distância entre a cortiça colocada na ponta das linhas de condução e os papeizinhos de seda. Essa distância tem de ser pequena para que se observem as atrações. A distância utilizada por nós é de cerca de 7 mm, que é o diâmetro de um canudo de

29 Ver página 152 deste livro.

30 Ver página 335 deste livro.

refresco utilizado para regular a altura. Um segundo fator crucial é evitar que as linhas de condução toquem objetos condutores (como a mesa), pois isso inviabiliza o experimento.

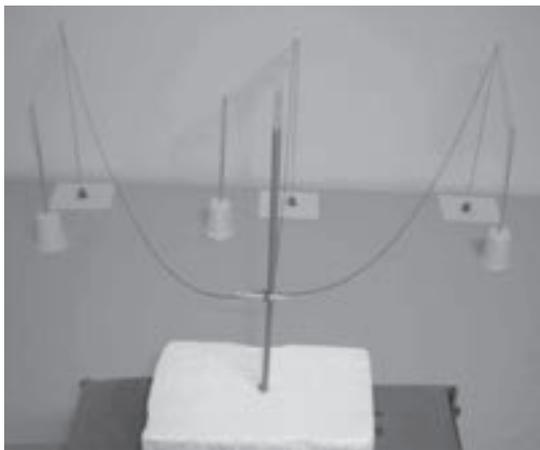


Figura 17.23 – Aparato utilizado para o experimento em “que a virtude elétrica pode ser transportada ao mesmo tempo por vários caminhos, por uma linha de comunicação, sem tocar a referida linha”. Três pedaços de linha de algodão são presos a um suporte isolado eletricamente, seguem horizontalmente até um segundo suporte isolante (suporte com base de gesso + canudo de refresco como haste horizontal) e, então, seguem verticalmente até próximo à superfície. Nessa extremidade de cada linha condutora há um disco de cortiça preso a elas por meio de uma agulha. Abaixo dos discos há pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite.

Experimento 17.12 – Vareta de madeira pendurada por linhas isolantes

À página 36 do artigo original,³¹ Gray descreve um experimento em que uma vara de madeira é pendurada em linhas muito finas,

31 Ver página 157 deste livro.

as quais se comportam como materiais isolantes.³² Para a reconstrução desse experimento com material de baixo custo, utilizamos uma vareta de madeira de cerca de 50 cm pendurada por linhas de seda presas a palitos de madeira fixos em uma caixa de papelão. Em uma das extremidades da vareta de madeira, prendemos um pedaço de linha de algodão de cerca de 20 cm, por meio de uma garra “tipo boca de jacaré”. Na extremidade inferior dessa linha foi preso um disco de cortiça, por meio de uma agulha de costura. Como detector de eletrização utilizamos pedacinhos de papel de seda colocados sob o disco de cortiça e sobre um pedaço de papel sulfite. O aparato é ilustrado na Figura 17.24.

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Garra “tipo boca de jacaré”
Agulha de costura
Disco de cortiça
Caixa de papelão
Vareta de madeira
Papel sulfite
Papel de seda
Linha de seda
Linha de algodão

Utilizamos uma caixa de papelão como suporte por conveniência; o leitor poderá utilizar outro suporte, caso seja mais conveniente. A garra “tipo boca de jacaré” também foi utilizada por conveniência, pois facilita a regulagem do tamanho da linha de algodão e, conseqüentemente, o ajuste da altura do disco de cortiça em relação à superfície da mesa. Os palitos de madeira foram fincados na caixa de papelão na região bem próxima à parte superior, para que pudessem ficar apoiados no teto da caixa e, assim, suportassem as peças penduradas neles. A vareta de madeira de cerca de 50 cm foi feita com a junção de dois palitos de madeira, presos um

32 Ver a nota 49 no Capítulo 7 deste livro.

ao outro por meio de uma linha de algodão. As linhas de seda utilizadas para suspender a vareta de madeira podem ser substituídas por outro material que seja isolante elétrico, como linha de poliamida (linha de pesca).

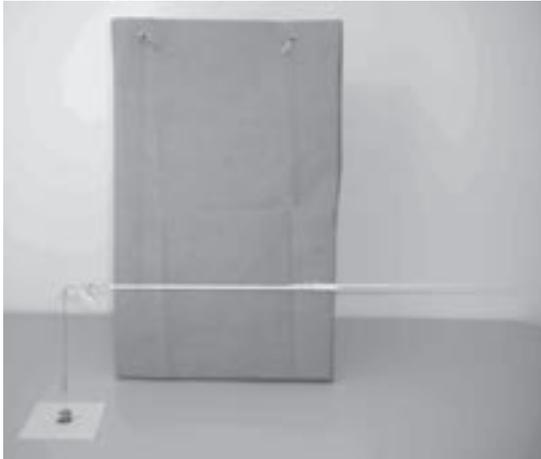


Figura 17.24 – Vareta de cerca de 50 cm presa por linhas de seda a palitos de madeira fixados em uma caixa de papelão. Na extremidade esquerda da vareta há uma linha de algodão, presa por meio de uma garra “tipo boca de jacaré”, e na extremidade inferior dessa linha há um disco de cortiça, preso à linha por meio de uma agulha de costura. A figura também ilustra os pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão posicionados sob o disco de cortiça e sobre um pedaço de papel sulfite.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da extremidade da vareta oposta àquela em que estava presa a linha de algodão. Dessa forma, o disco de cortiça, colocado em altura apropriada, atraiu pedacinhos de papel de seda. Tentamos realizar o experimento com uma linha de algodão de aproximadamente 1 m, mas o intenso chacoalhar do instrumento no momento em que o tubo eletrizado é aproximado

inviabilizou o experimento. É preciso ficar atento à altura do disco de cortiça em relação à superfície que suporta os papeizinhos, pois a má regulagem dessa distância coloca o experimento em xeque. Também é preciso aproximar o tubo eletrizado da extremidade da vareta com cuidado e vagarosamente, pois o instrumento balança bastante e o intenso chacoalhar do disco de cortiça impede a atração dos pedacinhos de papel de seda. Quanto maior a linha de algodão, maior é a dificuldade de realizar o experimento devido à oscilação da linha.

Fizemos um segundo experimento com esse aparato, mas retirando a linha de algodão com o disco de cortiça para verificar se a própria vareta de madeira atrairia os pedacinhos de papel de seda colocados sob ela. Como suporte para os pedacinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite, o qual foi cortado em uma altura adequada para a realização do experimento. A Figura 17.25a ilustra o aparato utilizado para este experimento.

O procedimento é o mesmo utilizado anteriormente. Após atritar o tubo de PVC com poliamida, o aproximamos da extremidade da vareta oposta àquela na qual os pedacinhos de papel de seda estavam colocados. Na medida em que o tubo eletrizado era aproximado, os papeizinhos foram atraídos pela vareta, como apresenta a Figura 17.25b.

Experimento 17.13 – Aro de madeira pendurado na posição vertical por linhas isolantes

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Caixa de papelão
Vareta de madeira
Papel sulfite
Papel de seda
Linha de seda
Linha de algodão



(a) Vareta de 50 cm presa por linhas de seda a palitos de madeira fixados em uma caixa de papelão. Abaixo da extremidade esquerda da vareta, há pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão colocados sobre um pedaço de papel sulfite. Como suporte para os papeizinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite.



(b) A figura ilustra, em detalhe, a atração dos pedacinhos de papel de seda pela vareta de madeira quando o tubo de PVC eletrizado é aproximado da extremidade oposta àquela que está sobre os papeizinhos.

Figura 17.25 – Experimento em que uma vareta de madeira suspensa por linhas isolantes atrai pedacinhos de papel de seda quando sob ação de um tubo de PVC eletrizado por atrito com poliamida.

À página 36 do artigo original,³³ Gray descreve um experimento em que um aro de madeira é suspenso verticalmente por uma linha muito fina. Para a reconstrução desse experimento com material de baixo custo, utilizamos um aro de madeira feito com palitos de churrasco, que foi pendurado por uma linha de seda presa a um palito de madeira fixo em uma caixa de papelão. Como detector de eletrização, utilizamos pedacinhos de papel de seda colocados sob o aro de madeira e sobre um pedaço de papel sulfite. O aparato é ilustrado na Figura 17.26.

33 Ver página 157 deste livro.



Figura 17.26 – Aro de madeira preso por uma linha de seda a um palito de madeira fixado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra os pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão posicionados sob o aro de madeira e sobre uma folha de papel sulfite.

Para a confecção do aro de madeira, utilizamos um palito de churrasco, o qual foi dividido em três por meio de um estilete. Dessa forma, ficamos com três palitos do mesmo tamanho, porém mais finos. Isso foi feito para que fosse possível dobrá-los em forma de semicírculo, uma vez que o palito de churrasco que tínhamos era muito rígido e se quebrava quando envergado. Na montagem do aparato, utilizamos apenas dois dos três palitos finos. Para unir os dois semicírculos foi utilizada uma linha de algodão, que serviu para amarrar as pontas sobrepostas dos palitos em forma de semicírculo. Não foi possível obter um círculo perfeito, ele ficou meio ovalado. O diâmetro médio aproximado do nosso aro é de 16 cm.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da parte superior do aro, ou seja, daquela que estava presa à linha de seda. Dessa forma, a parte inferior do aro, quando colocado em altura apropriada, atraiu pedacinhos de papel de seda, como ilustra a Figura 17.27.

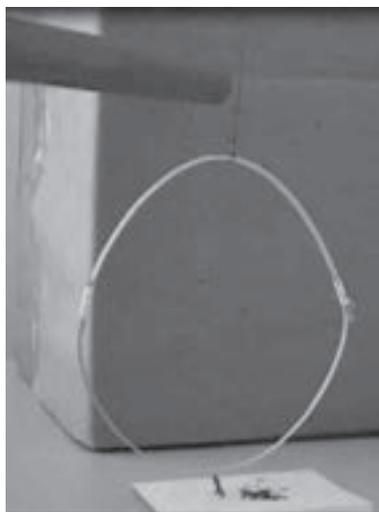


Figura 17.27 – O aro de madeira preso a uma linha de seda atraindo pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite, após eletrizar o tubo de PVC por meio de atrito com poliamida e aproximá-lo da parte superior do aro.

Vale destacar que neste experimento é mais comum os pedacinhos de papel de seda serem atraídos e repelidos pelo aro, ou serem atraídos e caírem logo em seguida, por ação da gravidade, ficando por pouco tempo enfileirados entre o aro e a superfície. Isso talvez seja devido ao balanço do aro quando o tubo de PVC eletrizado é colocado próximo a ele. Sendo assim, a Figura 17.27 foi feita a partir de um vídeo do experimento, pois fotografar o momento em que o fenômeno ocorria não nos foi possível. É preciso ficar atento à altura do aro em relação à superfície que suporta os papeizinhos, pois a má regulagem dessa distância inviabiliza o experimento. Também

é preciso aproximar o tubo eletrizado da extremidade do aro com cuidado e vagarosamente, pois o instrumento balança bastante e o intenso chacoalhar do aro impede a atração dos pedacinhos de papel de seda. Não foi possível fazer o experimento em que Gray aproxima o tubo eletrizado da parte inferior do aro, pois, em razão da proximidade dessa região com os pedacinhos de papel de seda, a aproximação do tubo de PVC eletrizado os atraía.

Experimento 17.14 – Aro de madeira pendurado na posição horizontal por linhas isolantes

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Caixa de papelão
Vareta de madeira
Papel sulfite
Papel de seda
Linha de seda
Linha de algodão

À página 37 do artigo original,³⁴ Gray descreve um experimento em que um aro de madeira é suspenso horizontalmente por uma linha muito fina. Para a reconstrução deste experimento com material de baixo custo, utilizamos o aro de madeira feito com palitos de churrasco do Experimento 17.13, que foi pendurado a um palito de madeira fixo em uma caixa de papelão.

A suspensão do aro foi feita de duas maneiras: 1) por quatro linhas de seda amarradas ao aro e presas ao palito fixo à caixa (ver Figura 17.28); e 2) por quatro linhas de algodão presas ao aro e depois presas a um pedaço de linha de seda que estava amarrada ao palito de madeira fixo à caixa (ver a Figura 17.29).

34 Ver página 160 deste livro.



(a) Aro de madeira na posição horizontal preso por quatro linhas de seda a um palito de madeira fixado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra os pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização.



(b) Em detalhe, o aro de madeira na posição horizontal preso por quatro linhas de seda, junto com os pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão posicionados sob o aro de madeira e sobre um pedaço de papel sulfite. Como suporte para os papeizinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite.

Figura 17.28 – Aro de madeira na posição horizontal preso por quatro linhas de seda.

Como detector de eletrização, utilizamos pedacinhos de papel de seda colocados sob o aro de madeira e sobre um pedaço de papel sulfite. Como suporte para os papeizinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite, o qual foi cortado em uma altura adequada para a realização do experimento.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e, após ficar eletrizado, foi aproximado da região do aro oposta àquela que estava sobre os papeizinhos de seda. Dessa forma, o aro, quando colocado em altura apropriada, atraiu pedacinhos de papel de seda, tal como ilustra a Figura 17.30.



Figura 17.29 – Aro de madeira na posição horizontal preso por quatro linhas de algodão amarradas a uma linha de seda. Essa linha está fixada a um palito de madeira fincado em uma caixa de papelão. A figura também ilustra os pedacinhos de papel de seda utilizados como detectores de eletrização, os quais estão posicionados sob o aro de madeira e sobre uma folha de papel sulfite. Como suporte para os papezinhos de papel de seda foi utilizado um cilindro feito com uma folha de papel sulfite.

Vale destacar que neste experimento é mais comum os pedacinhos de papel de seda serem atraídos e repelidos pelo aro, ou serem atraídos e caírem logo em seguida por ação da gravidade, ficando por pouco tempo enfileirados entre o aro e a superfície. Isso talvez seja devido ao balanço do aro quando o tubo de PVC eletrizado é colocado próximo a ele. Sendo assim, a Figura 17.30 foi feita a partir de um vídeo do experimento, pois não foi possível fotografar o momento em que o fenômeno ocorria. É preciso ficar atento à altura do aro em relação à superfície que suporta os papezinhos, pois a má regulagem dessa distância inviabiliza o experimento. Também é preciso aproximar o tubo eletrizado da extremidade do aro com cuidado e vagarosamente, pois o instrumento balança bastante e o intenso chacoalhar do aro impede a atração dos pedacinhos de papel de seda.



Figura 17.30 – O aro de madeira preso a quatro linhas de seda atraindo pedacinhos de papel de seda colocados sobre um pedaço de papel sulfite, após eletrizar o tubo de PVC por meio de atrito com poliamida e aproximá-lo do aro.

Experimento 17.15 – Eletrização de uma bolha de sabão

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Água
Detergente líquido
Xarope de milho (Karo®)
Cachimbo de madeira
Vareta de madeira
Papel de seda
Papel-alumínio
Suporte com base de gesso
Suportes de madeira
Linha de seda
Canudinho de refresco
Rolha de cortiça

Às páginas 38 e 39 do artigo original,³⁵ Gray descreve um experimento em que uma bolha de sabão soprada em um cachimbo de madeira é eletrizada pela aplicação de um tubo de vidro atritado. Para a reprodução deste experimento, utilizamos um cachimbo de madeira suspenso por linhas de seda em uma haste horizontal de um suporte de madeira, tal como ilustra a Figura 17.31.

Para fazer a bolha de sabão, utilizamos uma mistura de detergente líquido, água e xarope de milho (por exemplo, uma marca encontrada no comércio é a *Karo*[®]) na proporção 1:1:0,5. Essa mistura deixa a bolha mais resistente e duradoura, permitindo a realização dos experimentos. É possível encontrar na internet outras receitas para a mistura. Para fazer a bolha, o fornildo do cachimbo deve ser imerso na mistura e, em seguida, a bolha é feita soprando através da piteira. Cabe destacar que, em nossos experimentos, era comum a bolha contrair-se com o passar do tempo. A Figura 17.32 ilustra a bolha soprada no fornildo do cachimbo suspenso.

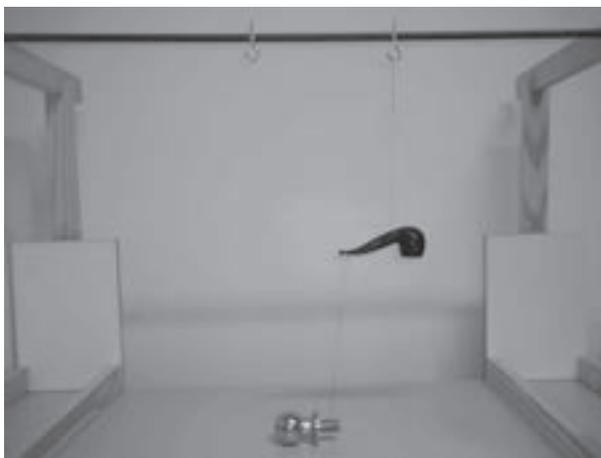


Figura 17.31 – Aparato utilizado para suspender o cachimbo de madeira. No alto da figura há uma haste horizontal presa a dois suportes laterais de madeira. O cachimbo, ao centro da figura, está suspenso por uma linha isolante de seda presa à haste horizontal. Uma segunda linha de seda, presa à piteira, prende-o a uma peça de ferro colocada sobre a mesa, para que o cachimbo fique na posição correta.

35 Ver páginas 162 e 163 deste livro.

Para o primeiro teste que fizemos buscando verificar se a bolha de sabão ficaria eletrizada, colocamos pedacinhos de papel de seda sobre um pequeno suporte de madeira (base + haste vertical) e os colocamos sob o forninho do cachimbo suspenso em linhas de seda, tal como ilustram as Figuras 17.33 e 17.34.³⁶

Antes de iniciar o experimento, verificamos se haveria atração dos papeizinhos de seda pelo forninho ao aproximar um tubo de PVC eletrizado da piteira do cachimbo, o que de fato ocorreu. Tendo isso em vista, não seria possível afirmar que a bolha estaria eletrizada, já que a atração dos papeizinhos, caso ocorresse, poderia ser por ação direta do forninho, e não da bolha. Sendo assim, pensamos em duas soluções: 1) como o pequeno suporte de madeira tem altura fixa de 20 cm e não é possível diminuí-la, utilizamos um canudinho de refresco eletrizado em vez do tubo de PVC. Dessa forma, os papeizinhos não foram atraídos pelo forninho quando o canudo foi aplicado na piteira; 2) fizemos outro suporte utilizando uma pequena base de madeira, um palito de madeira e uma rolha de cortiça, tal como ilustra a Figura 17.35.



Figura 17.32 – Bolha de sabão soprada no forninho do cachimbo suspenso.

36 O pequeno suporte de madeira foi feito em uma marcenaria. Na extremidade superior da haste vertical, colocamos papel-alumínio, por conveniência.

Fizemos esse suporte em uma altura em que fosse possível utilizar o tubo de PVC eletrizado no experimento, ou seja, em uma altura em que o fornildo não atraía os papezinhos de seda posicionados sobre a cortiça.³⁷ Independentemente do suporte utilizado para fazer o experimento, para realizá-lo fazíamos uma bolha no cachimbo e aproximávamos o indutor (isto é, tubo de PVC ou canudo eletrizado por meio de atrito com poliamida, dependendo do suporte utilizado) da piteira do cachimbo, mas de forma que não houvesse contato físico entre eles. Dessa forma, a bolha de sabão atraía os pedacinhos de papel.³⁸ Isso evidencia que ela estava eletrizada. Ressaltamos que a distância entre a parte de baixo da bolha e os papezinhos de seda era maior quando o tubo de PVC e o suporte com rolha eram utilizados, tendo em vista a maior eletrização do tubo em relação ao canudo de refresco.



Figura 17.33 – Cachimbo suspenso por linhas de seda, abaixo do fornildo há um pequeno suporte de madeira.

Quando aproximávamos o tubo de PVC atritado da piteira do cachimbo, em geral, ocorria um estalido, fenômeno que indica a

37 Uma terceira opção seria aumentar a altura do cachimbo.

38 Em geral, a bolha estourava quando os papezinhos chocavam-se contra ela.

ocorrência de uma descarga elétrica entre o tubo e o cachimbo.³⁹ Isso nos levou a testar se a bolha ficaria eletrizada mesmo com o tubo longe do cachimbo. Para isso, após a aproximação do tubo e a ocorrência do estalido, aproximamos da bolha uma tira de papel-alumínio bem fina, a qual foi atraída, evidenciando que a bolha estava eletrizada.⁴⁰ Isso nos levou a verificar se a bolha seria repelida pelo tubo atritado após este ter eletrizado o sistema cachimbo-bolha. Atritamos o tubo com poliamida e o aproximamos da piteira do cachimbo cerca de três vezes, procuramos eletrizar bem o tubo para que em todas as aproximações ocorressem estalidos. Então, após o sistema ficar carregado com as descargas elétricas, aproximamos o tubo da bolha, a qual foi repelida. Algumas vezes, ela foi repelida pelo tubo enquanto estávamos carregando o sistema, ou seja, ao aproximar o tubo atritado da piteira pela segunda ou terceira vez a bolha já era repelida.⁴¹

39 Nesse caso, a eletrização ocorre a partir da aproximação do indutor (isto é, o tubo eletrizado), sem que haja contato físico ou toque com o corpo isolado. Do ponto de vista da Física atual, isso ocorre porque, na medida em que o tubo atritado é aproximado da extremidade do cachimbo de madeira isolado eletricamente, o cachimbo fica polarizado, isto é, a parte mais próxima ao tubo fica com carga de sinal oposto à do tubo e a parte mais afastada do cachimbo fica eletrizada com cargas de mesmo sinal que a do tubo. Esse fenômeno é conhecido como *polarização* ou *indução elétrica*. A partir de uma certa distância entre o tubo e o objeto, ocorre uma descarga elétrica entre eles, o que faz com que o sistema isolado fique carregado eletricamente com carga de mesma natureza que a do tubo.

40 Em geral, a bolha estourava quando a tirinha chocava-se contra ela.

41 Durante a repulsão, era possível ver a bolha se mover lateralmente, mas ela não se desprendia do forninho. Ela voltava à posição inicial após a remoção do tubo ou estourava.



Figura 17.34 – Em detalhe, o cachimbo suspenso e os papeizinhos de seda colocados sobre o pequeno suporte de madeira.



Figura 17.35 – Cachimbo suspenso por linhas de seda. Abaixo do forninho há uma rolha de cortiça presa a um palito e uma pequena base de madeira.

18

EXPERIMENTOS DO ARTIGO 4¹

Neste capítulo, vamos apresentar alguns experimentos que permitem discutir o caráter condutor da água quando colocada sob uma diferença de potencial apropriada. No livro *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*, destaca-se que a água da torneira comporta-se como um condutor elétrico para experimentos de eletrostática usuais, uma vez que descarrega um eletroscópio carregado (Assis, 2010, p.149; Experiência 6.13). No entanto, quando sob uma diferença de potencial de poucos volts ou até algumas centenas de volts, ela se comporta como um isolante elétrico (Ibid., p.156-61; Seção 6.6). Nos experimentos de eletrostática usuais, como os descritos por Gray e reproduzidos neste livro, estamos “lidando com diferenças de potencial de milhares de volts” (Ibid., p.210). Segundo Assis (Ibid., p.210), a água comporta-se como condutor porque, em seu estado natural, tem íons positivos H_3O^+ e íons negativos OH^- , além das moléculas de H_2O . Além disso, a água de torneira ou de chuva tem muitos íons provenientes de impurezas, sais, minerais etc. Sendo assim, quando essa água é submetida a uma alta diferença de potencial (isto é, de milhares de volts), os íons deslocam-se, “fazendo com que ela se comporte como um condutor” elétrico (Assis, 2010, p.210).

1 Gray (1731-2a, p. 227-230). Tradução no Capítulo 8 deste livro.

Vamos apresentar e discutir aqui alguns experimentos realizados originalmente por Gray que evidenciam essa característica condutora da água.

Experimento 18.1 – Experimento em que o tubo eletrizado faz levantar um montinho de água

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Água
Suporte de madeira
Colher de madeira

Às páginas 228 e 229 do artigo original,² é descrito um experimento em que um montinho de água é levantado quando um tubo de vidro eletrizado é aproximado de uma porção de água. Para a reprodução deste experimento, utilizamos um suporte de madeira (base + haste vertical) e uma colher de madeira, da qual serramos o cabo. O aparato utilizado no experimento é apresentado na Figura 18.1.

Para realização do experimento, foi colocada uma certa quantidade de água dentro da colher de madeira. Então, eletrizamos um tubo de PVC por meio de atrito com poliamida e, em seguida, o aproximamos da água. Na medida em que o tubo era colocado bem próximo à superfície do líquido, ocorriam a formação de um montinho de água e um estalido. É importante ressaltar que o montinho se formava e caía imediatamente, não ficava em pé por alguns instantes. Visualmente nos pareceu que a formação do montinho de água e a ocorrência do estalido eram fenômenos que se davam ao mesmo tempo.^{3,4}

2 Ver página 175 deste livro.

3 O experimento também pode ser feito com uma base isolante, por exemplo, de isopor, no lugar do suporte de madeira (base + haste vertical).

4 Tendo em vista que esse fenômeno é bastante difícil de ser fotografado, fizemos um vídeo sobre ele, o qual pode ser acessado no endereço <www.youtube.



Figura 18.1 – Suporte de madeira (base + haste vertical) com uma colher de madeira sem cabo sobre a haste vertical. O conjunto está sobre uma mesa de madeira.

Uma segunda maneira de verificar o fenômeno da formação do montinho de água é utilizando uma grande gota de água. Para a realização do experimento colocamos um pedaço de papel-alumínio sobre o suporte de madeira utilizado anteriormente e uma grande gota de água sobre ele, tal como ilustra a Figura 18.2.⁵

Então, o tubo de PVC eletrizado por meio de atrito com poliamida foi aproximado da água. Dessa forma, também foi possível ver o fenômeno do montinho de água e do estalido. Fizemos ainda um terceiro teste, colocando uma rolha de cortiça com papel-alumínio na ponta sobre o suporte, como ilustra a Figura 18.3.⁶

com/watch?v=wh77Vzw-24s> (Boss et al., 2011a). Nesse caso, a colher de madeira com água está sobre uma base isolante de isopor.

- 5 Utilizamos o papel-alumínio na extremidade superior da haste vertical do suporte de madeira por conveniência, pois tanto a madeira quanto o papel-alumínio comportam-se como condutores elétricos para estes experimentos.
- 6 William Gilbert (1544-1603) “parece ter sido o primeiro a observar um líquido sendo atraído pelo âmbar atritado em uma experiência análoga à que foi” apresentada aqui (Assis, 2010, p.28).



Figura 18.2 – Suporte de madeira (base + haste vertical) com a extremidade superior envolta por papel-alumínio e uma grande gota de água colocada sobre o papel-alumínio.

Em ambos os experimentos descritos, a porção de água está colocada sobre uma superfície condutora e não isolada eletricamente, ou seja, todo o sistema está aterrado. Quando o tubo eletrizado é aproximado da água, ela se deforma de tal maneira que surge uma saliência na superfície do líquido, a qual aponta para o objeto eletrizado. Vamos supor que nosso tubo esteja eletrizado negativamente. Do ponto de vista da Física atual, podemos dizer que a aproximação do tubo de PVC eletrizado faz com que a porção de água se polarize eletricamente como um todo, ficando positiva na região mais próxima do tubo e negativa na região mais distante, a qual está em contato com a superfície. Como essa superfície também é condutora, ocorre a neutralização da parte da água em contato com ela. Sendo assim, a porção de água “fica carregada eletricamente com uma carga” de natureza contrária àquela do tubo eletrizado. Na medida em que cargas de sinais opostos se atraem, a porção de água se deforma; surge uma saliência no sentido do tubo atritado, podendo, inclusive, deslocar-se no sentido dele (Assis, 2010, p.210-1). Os estalidos que são escutados em nossos experimentos evidenciam que há uma descarga elétrica entre a porção de água e o tubo eletrizado. Sendo assim, se a água estiver em um recipiente condutor elétrico, mas este estiver

sobre um suporte isolante, o conjunto recipiente com água ficará eletrizado, como será evidenciado no Experimento 18.2 desta seção. Caso a porção de água esteja sobre um recipiente isolante, ela ficará carregada eletricamente, como será evidenciado no Experimento 18.3 desta seção.

Experimento 18.2 – Experimento em que o recipiente de madeira com água fica eletrizado



Figura 18.3 – Suporte de madeira (base + haste vertical) com a extremidade superior envolta por papel-alumínio, uma rolha de cortiça também envolta com papel-alumínio sobre a haste vertical e uma gota de água colocada sobre o papel-alumínio da rolha.

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Colher de madeira
Papel de seda
Canudinho de refresco
Água
Base de isopor
Linha de seda
Suporte com base de gesso

À página 228 do artigo original,⁷ é descrito um experimento em que uma linha pendular é atraída e repelida por um recipiente isolado contendo água. Como discutido na Subseção 4.4.1, nesse caso a linha pendular de Gray funcionava como um pêndulo elétrico. Ou seja, provavelmente era uma linha isolante com um condutor leve preso em sua extremidade livre inferior. Para a reprodução do experimento, utilizamos uma base de isopor para isolar eletricamente a colher de madeira, a qual foi enchida com água. Utilizamos um pêndulo elétrico como sendo a linha pendular de Gray, isto é, uma linha de seda isolante com um disquinho condutor em sua extremidade inferior. Esse disquinho, no nosso caso, era feito de papel de seda (apesar do nome, o papel de seda comporta-se como um material condutor). Esse pêndulo foi apoiado em um suporte com base de gesso. O aparato é apresentado na Figura 18.4.



Figura 18.4 – Sobre a base de isopor está posicionada uma colher de madeira sem cabo; dentro da colher há uma certa quantidade de água. A figura também mostra um pêndulo elétrico. Isto é, um suporte com base de gesso, fixado a ele há um canudinho de refresco como haste horizontal no qual está presa uma linha de seda com um disquinho de papel de seda na ponta inferior.

7 Ver página 174 deste livro.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliâmida e aproximado da água colocada dentro da colher cerca de três ou quatro vezes, ou até que um montinho de água e um estalido ocorressem. Até esse momento, o pêndulo elétrico estava afastado da colher de madeira. Após ocorrerem o montinho de água e o estalido, o pêndulo elétrico era colocado de forma que o disquinho de papel de seda ficasse na lateral direita da colher (ver Figura 18.4). Sendo assim, o disquinho era atraído por ela, a tocava e, em seguida, era repellido. Então, colocávamos a mão no mesmo plano horizontal do disco e próximo à colher, de tal forma que o disco ficasse posicionado entre a mão e a colher de madeira (ver a Figura 18.5). Na medida em que a mão era colocada, o disquinho começava a oscilar entre ela e a colher. Esse fenômeno evidencia que o conjunto recipiente com água estava eletrizado.



Figura 18.5 – A figura mostra a posição da colher de madeira, do disco de papel de seda e da mão para a realização do experimento.

Também utilizamos um pêndulo elétrico com uma penugem presa na extremidade inferior, em vez do disquinho de papel de seda. Nesse caso, a oscilação foi mais lenta, pois a penugem grudava na colher e demorava alguns segundos para se deslocar para a mão. Uma vez em contato com a mão, ela também demorava alguns segundos para se desprender e voar para a colher novamente.

Realizamos outro teste utilizando uma tirinha de papel-alumínio presa a um canudinho de refresco, portanto, isolada eletricamente, para aproximar da água. Essa tirinha tinha cerca de 3 cm de comprimento e 1 mm de largura. Cortamos uma das suas extremidades de forma pontiaguda. A extremidade não pontiaguda foi presa ao canudo por meio de fita adesiva (ver Figura 18.6).



Figura 18.6 – Tirinha de papel-alumínio presa a um canudinho de refresco.

Como recipiente, utilizamos tanto a colher de madeira apresentada anteriormente, quanto uma peça de PVC, a qual é uma tampa de cano (chamada CAP) com 2 cm de diâmetro interno (ver Figura 18.7).



Figura 18.7 – Recipiente de PVC (CAP de 2 cm de diâmetro interno) cheio de água e sobre uma base de isopor.

Para realizar o experimento, eletrizamos a água por meio da aplicação do tubo de PVC atritado com poliamida, como já descrito, e aproximamos a tirinha de papel-alumínio da sua superfície. Dessa forma, a tirinha foi atraída e repelida. Então, posicionamos o dedo indicador da mão que não segurava o canudo a cerca de 1 cm da superfície da água, de forma que a tirinha de papel-alumínio ficasse entre o dedo e o líquido. Assim, a tira oscilou algumas vezes entre eles. Isso ocorreu tanto para o recipiente de PVC quanto para o de madeira. No entanto, o efeito para o recipiente de PVC é bem maior, sendo que a frequência de oscilação da tirinha é maior. Outrossim, é mais difícil obter a oscilação da tirinha com a utilização do recipiente de madeira. É importante destacar que esse teste foi feito várias vezes e não foi possível obter êxito com tirinhas maiores e/ou mais largas. Além disso, ao aproximar a tirinha da superfície da água, é preciso que ela chegue com uma certa angulação, pois, quando a aproximávamos paralelamente da superfície, em geral, era atraída e ficava presa na água. Mesmo não chegando paralela à superfície, algumas vezes ela era atraída e ficava presa ao líquido. Outro fator de extrema importância para este experimento é a eletrização da água, a qual deve estar bem carregada. Para isso nós atritamos e aproximamos o tubo de PVC várias vezes à água, de forma que antes de cada teste promovíamos inúmeros estalidos por meio da aplicação do tubo carregado. Para finalizar, eletrizamos a água no recipiente de madeira e aproximamos a tirinha da lateral dele, de forma que ficasse entre o recipiente e o dedo da mão. Com esses procedimentos obtivemos a oscilação da tira de papel-alumínio isolada eletricamente da Terra pelo canudo de plástico ao qual estava presa.

Do ponto de vista da Física atual, podemos dizer que o estalido evidencia uma descarga elétrica entre a água e o tubo de PVC eletrizado, carregando eletricamente o conjunto colher de madeira com água. Isso fica evidente na medida em que o disco de papel de seda é aproximado da colher, sendo atraído e repelido. O disco, inicialmente neutro, é atraído pela colher eletrizada por causa da polarização do disco quando se aproxima da colher. Quando ocorre o contato entre

eles, o disco fica carregado com carga elétrica de mesma natureza que a da colher, por isso, passa a ser repelido após o toque. Quando a mão aterrada é aproximada do disco carregado, ele é atraído por ela. Na medida em que ocorre o contato entre eles, o disco descarrega, ficando neutro novamente e sendo atraído pela colher. Isso se repete sucessivamente até que a carga do conjunto colher com água não seja mais suficiente para atrair o disquinho neutro.

Experimento 18.3 – Experimento em que a água é eletrizada quando colocada sobre um recipiente isolante

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Suporte de isopor
Corante alimentício
Papel-alumínio
Peça de PVC
Água

No início do texto original, nas páginas 227 e 228,⁸ Gray descreve um experimento em que uma porção de água é colocada dentro de um recipiente de madeira isolado e é eletrizada por causa da aproximação de um tubo de vidro atritado. Para reproduzir este experimento, utilizamos uma peça de PVC para colocar uma pequena porção de água em cima e o tubo de PVC atritado para eletrizá-la. A Figura 18.8 ilustra o aparato utilizado para o experimento.⁹

Para a realização do experimento, um tubo de PVC foi atritado com poliamida e aproximado da gota de água cerca de três ou quatro vezes ou até que um montinho de água se levantasse e ocorresse

8 Ver página 172 deste livro.

9 A gota de água foi tingida de vermelho para melhor visualização. Isso pode ser feito com corante alimentício, groselha ou com beterraba.

um estalido. Em seguida, uma tirinha de papel-alumínio de cerca de 4 cm de comprimento por 3 mm de largura foi aproximada da água. Dessa forma, foi possível ver a tirinha de papel-alumínio ser atraída pela água, fenômeno que evidencia a sua eletrização. Uma discussão sobre a eletrização da água pode ser encontrada em Assis (2010, p.212-6).



Figura 18.8 – Sobre uma mesa de madeira há um bloco de isopor, uma peça de PVC está posicionada sobre o isopor, e a porção de água está sobre a peça de PVC.

Experimento 18.4 – Experimento filete de água curvando sob ação de um tubo eletrizado

Materiais
Tubo de PVC Poliamida Torneira com água

Um experimento interessante sobre a interação da água com um objeto eletrizado pode ser feito com um filete contínuo de água saindo de uma torneira e um bastão eletrizado, que pode ser um

canudo de refresco, um tubo de PVC etc. Basta aproximar o bastão eletrizado do filete de água saindo da torneira para visualizar a atração da água. Segundo Assis (2010, p.211-2), a referida atração se dá por causa da polarização elétrica inicial do filete de água, uma vez que as cargas de sinal contrário às do tubo movem-se para a face do filete que está voltada para o tubo eletrizado. Já as cargas que ficariam na face oposta do filete, ou seja, na região mais afastada do bastão, são neutralizadas pelo aterramento da água. Uma discussão detalhada sobre essa questão pode ser vista em Assis (2010, p.211-2).¹⁰

10 “Uma experiência análoga a esta parece ter sido realizada pela primeira vez por Jean Théophile Desaguliers (1683-1744) em 1741” (Assis, 2010, p.25-6).

19

EXPERIMENTOS DO ARTIGO 5¹

19.1 Introdução – Os eletretos

O texto de Gray traduzido no quinto artigo sobre eletricidade apresenta uma importante descoberta intencional. Ele descobriu que, ao derreter várias substâncias dielétricas em recipientes de diferentes tipos de materiais, deixá-las solidificar, reaquecer de forma breve os recipientes e extrair as peças do seu interior, tornava as substâncias eletrizadas. Então, embrulhou as peças em materiais como flanelas ou papel e conseguiu manter a eletrização por meses. Segundo Jefimenko e Walker (1980, p.651-2), “há um elemento de mistério nos experimentos de Gray”. Atualmente, sabe-se que, ao colocar dois corpos em contato íntimo, tal como a substância derretida e o recipiente, e em seguida separá-los, gera-se o “aparecimento de cargas superficiais nos dois corpos”. No entanto, Gray reporta que aqueceu novamente a superfície dos materiais antes de retirá-los dos recipientes, o que deveria inibir o aparecimento de qualquer carga superficial nos dielétricos. Dessa forma, a eletrização duradoura encontrada por Gray seria “causada por efeitos não explicáveis facilmente”. De acordo com os autores (Ibid., p.652)

1 Gray (1731-2b, p. 285-291). Tradução no Capítulo 9 deste livro.

“pode ser que a eletrização se devesse ao surgimento de cargas elétricas na interface entre a fase líquida e sólida de um dielétrico; tal efeito foi descrito em 1950, por Joaquim da Costa Ribeiro, que o nomeou como ‘efeito termodielétrico’”.

Segundo Silva Junior (2010), a observação do brasileiro Costa Ribeiro ocorreu durante pesquisas que realizava sobre a formação de sólidos eletrizados quando sob ação de campos elétricos, estando os sólidos próximos ao ponto de fusão. Observou, então, que ocorria a formação de materiais carregados eletricamente mesmo quando não era aplicado campo elétrico, ou seja, o material apresentava eletrização após ser fundido e deixado solidificar-se naturalmente. Isso evidencia que a mudança no estado físico de um dielétrico seria, por si só, capaz de eletrizá-lo, “desde que uma das fases envolvidas na transição fosse a sólida” (Silva Junior, 2010, p.37).

Segundo Gutmann (1948, p.457), “o termo *eletreto* foi cunhado por Oliver Heaviside para denotar uma substância permanentemente eletrificada exibindo cargas elétricas de sinal oposto em suas extremidades”. Outros autores definem *eletretos* “como materiais dielétricos que apresentam uma eletrização ‘quase permanente’”, sendo que os termos *permanente* ou *quase permanente* significam que o tempo de decaimento da carga é muito maior que o período em que o material é estudado (Silva Junior, 2010, p.1).

Segundo Gutman (1948), o primeiro pesquisador a investigar sistematicamente os eletretos depois de Gray foi Mototaro Eguchi, que reportou vários resultados experimentais importantes. Ele derreteu uma mistura de cera de carnaúba, resina e cera de abelha, fazendo com que a substância se solidificasse na presença de um forte campo elétrico. Ele percebeu que discos preparados dessa forma apresentavam uma carga elétrica negativa de grande intensidade sobre a face em contato com o ânodo e uma carga elétrica positiva de grande intensidade sobre a face em contato com o cátodo. Ou seja, apresentavam carga elétrica oposta àquela dos eletrodos adjacentes. No entanto, ele notou que essas cargas eram temporárias e decaíam em um curto intervalo de tempo, isto é, em poucos dias. Após o decaimento dessas cargas, verificou que

ocorria “a formação de cargas de sinais opostos”, sendo “cargas positivas voltadas para o ânodo e cargas negativas voltadas para o cátodo”, de tal forma que as superfícies do material passavam a apresentar cargas de mesmo sinal que os eletrodos formadores adjacentes. Nenhum decaimento foi notado por um período de três anos. Concluiu-se que a eletrização não poderia ser um fenômeno de superfície, deveria “ser um efeito de volume” (Gutmann, 1948, p.457). Explicações sobre o comportamento dos eletretos vieram alguns anos depois, com as contribuições do brasileiro Bernhard Gross.² Não apresentaremos aqui discussões sobre as teorias que versam sobre o assunto, porque fogem ao escopo deste livro.

O nosso objetivo é apresentar uma forma de produzir eletretos com base nos experimentos descritos por Gray, ou seja, a partir do derretimento e da solidificação de algumas substâncias em determinados recipientes. Os experimentos que serão descritos aqui foram realizados duas vezes, em momentos distintos. Para diferenciar os experimentos realizados em um e em outro momento, vamos chamar de “primeira rodada” a primeira vez em que os experimentos foram realizados, e de “segunda rodada”, a segunda vez. Os experimentos da primeira rodada foram feitos na casa de um dos autores, mas, por questões de conveniência, os da segunda rodada foram feitos no Laboratório Didático de Química do Centro de Formação de Professores da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB/CFP). Desde já, ressaltamos que todos os experimentos e procedimentos que realizamos podem ser feitos em casa, desde que tomados os devidos cuidados. Por questões de organização do texto, descreveremos os procedimentos realizados na segunda rodada, mas faremos também as observações referentes à rodada anterior. Da primeira para a segunda vez que os experimentos foram feitos, utilizamos alguns materiais diferentes, já que a primeira rodada nos ensinou bastante e nos permitiu aprimorar alguns procedimentos. Ao longo do texto faremos as observações referentes a essas alterações.

2 Ver Leal Ferreira (2000) e Sessler (1999).

19.2 Os materiais utilizados

Utilizamos seis substâncias diferentes: cera de carnaúba clara, cera de carnaúba escura, cera virgem de abelha, parafina, enxofre em pó e goma-laca³ (ver Figura 19.1).



Figura 19.1 – As seis substâncias utilizadas. Na fileira superior da esquerda para a direita: cera de carnaúba escura, cera de carnaúba clara e goma-laca. Na fileira inferior da esquerda para a direita: parafina, cera de abelha e enxofre. Elas estavam dentro dos recipientes de flandre antes de serem derretidas.

As três ceras utilizadas (de carnaúba clara e escura e de abelha) e a goma-laca foram compradas em uma casa de materiais para construção; a parafina foi obtida a partir de velas, já o enxofre foi comprado em uma casa de materiais agropecuários. Utilizamos três tipos de recipientes, feitos de materiais diferentes, para derreter as substâncias: um de flandre, um de vidro e um de ferro (ver Figura 19.2).

Como recipiente de vidro, utilizamos uma placa de Petri com cerca de 9,5 cm de diâmetro interno. Na primeira rodada, havíamos

3 Outros nomes: goma-laca indiana, verniz asa de barata, resina laca.

utilizado copos de vidro de 80 ml. As placas de Petri suportam um aquecimento maior do que os copinhos, que podem quebrar quando levados ao fogo. Por isso, na primeira rodada, as substâncias foram derretidas em conchas metálicas e depois colocadas dentro dos copos. No caso das placas de Petri, as substâncias foram derretidas dentro do próprio recipiente. Os recipientes de flandre são formas de empadinha com 8 cm de diâmetro interno, que podem ser adquiridas em lojas de variedades. Na primeira rodada, havíamos utilizado conchas de cozinha, mas concluímos que as forminhas de flandre são mais fáceis de ser manipuladas e levadas ao aquecimento. O recipiente de ferro nós mandamos fazer em uma serralheria, pois não encontramos para comprar no comércio. Para confeccioná-lo, primeiro, o serralheiro cortou um pedaço de cano de ferro com 7 cm de diâmetro interno e 7 cm de altura; depois, utilizou uma placa de ferro para fazer um círculo do tamanho do diâmetro do cano e o soldou em uma das extremidades, fazendo o fundo. Também soldou uma barra fina de ferro com cerca de 13 cm de comprimento para servir de cabo (ver Figura 19.2c).



Figura 19.2 – Recipientes.

Experimento 19.1 – Verificando a condutividade dos materiais antes de derreter

O primeiro passo foi realizar um teste para verificar se os materiais são isolantes elétricos, pois essa é uma importante característica dos materiais que apresentam a eletrização permanente. Para

isso, realizamos o experimento em que o material a ser testado é encostado em um eletroscópio carregado.⁴ Todos os materiais comportaram-se como isolantes, isto é, nenhum deles descarregou o eletroscópio carregado eletricamente (ver Tabela 19.1). Tanto o enxofre quanto a goma-laca foram comprados em forma de pó; sendo assim, para realizar os testes, colocamos uma quantidade das substâncias, separadamente, em um recipiente metálico (por exemplo, a forminha de flandre). Então, segurando o recipiente com a mão, encostamos o material em pó em um canto da cartolina do eletroscópio. As três ceras e a parafina estavam em pedaços, então utilizamos um desses pedaços para fazer o teste.

Tabela 19.1 – Comportamento ou característica das substâncias antes de serem derretidas

Nº	Substância	Comportamento
1	Cera de carnaúba clara	isolante
2	Cera de carnaúba escura	isolante
3	Cera de abelha	isolante
4	Parafina	isolante
5	Goma-laca	isolante
6	Enxofre	isolante

Experimento 19.2 – Verificando a eletrização dos materiais antes de derreter

Realizamos testes para verificar se os materiais apresentavam eletrização antes de serem derretidos. Utilizamos um instrumento

4 O eletroscópio carregado tem sua tirinha de papel de seda levantada. Ao encostar um material isolante na cartolina do instrumento, a tirinha permanece em pé. Caso ela abaixe ao encostar outro material na cartolina, o objeto testado é um condutor elétrico. Uma discussão pormenorizada sobre esse teste foi apresentada no Experimento 2, na Subseção 4.3.2 deste livro.

que tem o mesmo princípio de funcionamento daquele que Gray chamou de *linha pendular*.⁵

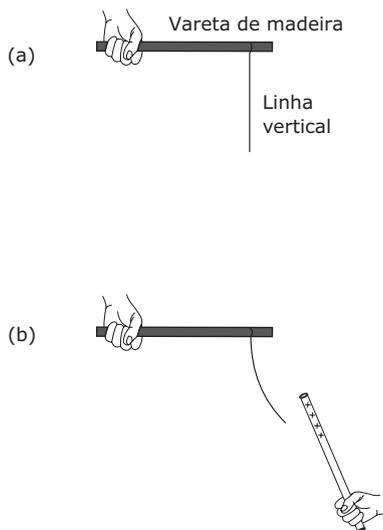


Figura 19.3 – (a) Linha pendular de Gray, feita com uma linha condutora de algodão. (b) Linha pendular sendo atraída por um tubo eletrizado. Figura adaptada de Assis (2010, p.91).

5 Dispositivo feito com uma linha vertical presa a uma vareta de madeira. Em algumas situações, o instrumento era utilizado para testar se os corpos estavam eletrizados (ver Figura 19.3). Quando feito com essa finalidade, a linha do dispositivo deve ser de material condutor elétrico, por exemplo, de linho ou algodão. O teste era feito aproximando-se um corpo da linha na vertical. Se ela fosse atraída pelo corpo, esse corpo estava eletrizado (Assis, 2010, p.90).* Gray mencionou explicitamente que esse instrumento é mais sensível para verificar se um corpo está eletrizado do que o teste em que o corpo atrai pequenos objetos colocados sobre uma superfície: “A melhor maneira de observar estas atrações é segurando o corpo que atrai em uma mão e uma fina linha branca amarrada à extremidade de uma vareta na outra [mão]. Dessa forma, graus muito menores de atração serão percebidos do que utilizando de lâminas de latão” (Gray, 1731-2b, p.289).

* A linha pendular parece ter sido mencionada por Gray (1731-2a, p.227-30) pela primeira vez em um artigo como uma *pendulous thread*. A tradução desse artigo pode ser encontrada no Capítulo 8. Uma discussão sobre a utilização da expressão linha pendular foi apresentada na Seção 4.4 deste livro.

O aparato que utilizamos para fazer os experimentos consiste em um poste de sustentação, com um segundo palito de madeira colocado em forma Γ , e uma linha de material condutor (por exemplo, de algodão) presa na ponta do segundo palito (ver Figura 19.4).⁶



(a) Poste de sustentação com um palito de madeira colocado na ponta em forma Γ . Na extremidade do segundo palito tem uma linha de algodão.



(b) Linha de algodão sendo atraída por um canudo eletrizado.

Figura 19.4 – Aparato para verificar a eletrização dos objetos.

Para fazer as medidas, o objeto eletrizado deve ser aproximado da linha. Se ela se movimentar, isto é, for atraída, o objeto está carregado eletricamente. As pedras de ambas as ceras de carnaúba apresentaram uma pequena eletrização em algumas regiões, mas não apresentaram em outras partes. Como eram pedaços grandes, testamos várias partes da peça. Os outros materiais não apresentaram qualquer eletrização. A eletrização apresentada pelas pedras das ceras de carnaúba pode ser devida à manipulação do material, que são vendidos em sacos plásticos, pois pode ocorrer atrito entre os pedaços do material dentro da embalagem (ver Tabela 19.2).

6 É fundamental que os dois palitos de madeira estejam em contato para que o sistema fique aterrado. Para prender os dois palitos, pode-se utilizar fita adesiva.

Tabela 19.2 – Eletrização das substâncias antes de derreter

Nº	Substância	Atração
1	Cera de carnaúba clara	pouca atração
2	Cera de carnaúba escura	pouca atração
3	Cera de abelha	sem atração
4	Parafina	sem atração
5	Goma-laca em pó	sem atração
6	Enxofre em pó	sem atração

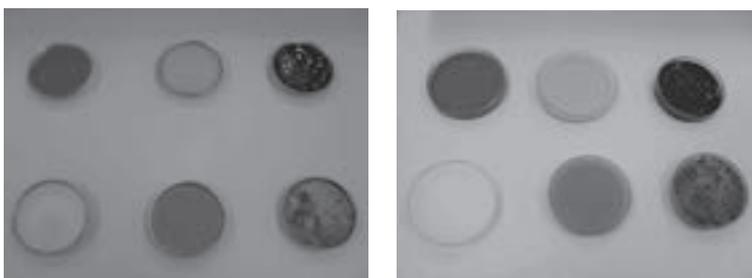
19.3 Confecção das peças de cada substância

As peças da segunda rodada foram feitas no dia 17 de dezembro de 2010. Todas as substâncias foram derretidas separadamente nos três tipos de recipientes, com o objetivo de analisar se haveria alguma diferença na eletrização das peças. Tínhamos uma forma de flandre e um recipiente de vidro para cada tipo de substância, ou seja, seis recipientes de cada tipo. Isso nos permitiu fazer todas as peças de uma só vez. Mas tínhamos apenas um recipiente de ferro. Sendo assim, fizemos uma peça de cada vez. Após fazer cada peça, nós limpávamos o recipiente para que a outra peça pudesse ser feita com o mínimo de contaminação por outras substâncias. Para a limpeza, utilizávamos papel toalha para retirar o excesso de resíduo e, em seguida, limpávamos com palha de aço, água e sabão. Todas as ceras e a parafina foram cortadas em pedaços pequenos para que pudessem ser colocados nos recipientes, facilitando o derretimento. Os recipientes foram aquecidos em uma placa de aquecimento, que foi colocada dentro da capela do laboratório. Após o derretimento, os recipientes ficavam sobre uma pia para que o material líquido pudesse se solidificar, processo que demorava entre uma e três horas. Utilizamos a placa de aquecimento por conveniência, pois poderíamos utilizar um bico de Bunsen ou outra fonte de calor. Na primeira rodada dos experimentos, utilizamos uma lamparina a

álcool e um fogão comum para derreter as substâncias. Isso é possível porque o ponto de fusão dos materiais não é alto, variando entre aproximadamente 60 e 115°C.

A Figura 19.5 mostra as substâncias solidificadas dentro dos recipientes de flandre e de vidro após o aquecimento.

Como dissemos inicialmente, todos os experimentos e procedimentos que realizamos podem ser feitos em casa, mas é preciso tomar os devidos cuidados. O manuseio e o aquecimento das substâncias devem ser feitos com cautela e utilizando equipamentos apropriados. Muitas empresas que trabalham com produtos químicos disponibilizam, em seus sites, fichas técnicas sobre os materiais com que trabalham.



(a) Substâncias solidificadas no recipiente de vidro.

(b) Substâncias solidificadas no recipiente de flandre.

Figura 19.5 – Substâncias solidificadas dentro dos recipientes de flandre e de vidro após o aquecimento.

Antes de iniciar a realização dos experimentos descritos aqui, nós lemos algumas dessas fichas para tomar conhecimento dos riscos e das precauções a serem tomadas. Sugerimos que o leitor faça o mesmo, pois o manuseio errado pode causar problemas de saúde.

A título de ilustrar a importância desse cuidado inicial, vamos apresentar aqui algumas informações que encontramos em várias fichas técnicas. No caso do enxofre, a inalação pode causar irritação nas vias aéreas superiores, dor de cabeça, náuseas e tontura; em altas concentrações, pode chegar a causar confusão mental e perda de

consciência; em contato com a pele e com os olhos, pode causar irritação. É um sólido inflamável, cuja poeira ou vapor podem formar misturas explosivas com o ar. O aquecimento do enxofre produz gás dióxido de enxofre (SO₂), o qual é altamente tóxico e irritante. Sugere-se que o indivíduo que manipula a substância utilize equipamentos de proteção individual (EPIs) para evitar o contato direto com o material, tais como: luvas impermeáveis, óculos de segurança e instrumentos para proteção respiratória adequada. Para proteção respiratória, algumas fichas indicam o uso de respiradores com filtro mecânico. Nunca se deve comer, beber ou fumar nas áreas em que o produto for manipulado.⁷

Podemos pensar que a parafina, presente nas velas que usamos em nossas casas, é inofensiva, mas isso não é verdade. Sua queima pode produzir fumos irritantes, que, em altas concentrações, podem causar dor de cabeça, náuseas e tontura. A cera de abelha, quando derretida, também produz fumos nocivos, podendo irritar o sistema respiratório e os olhos. Em contato com a pele, a goma-laca pode causar irritações. Seu local de armazenamento deve ser mantido com boa ventilação, para não permitir que a formação de poeira exceda os limites toleráveis. O manuseio deve ser feito com a utilização de EPIs adequados, como óculos, respirador com filtro mecânico, luvas etc.⁸ Além disso, o derretimento das substâncias,

7 A “Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico FISPQ” da Petrobras sobre o enxofre sólido pode ser encontrada em <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/3c15848043a7a52c83a88fecc2d0136c/fispq-quim-enxofre-solido.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 19 jun. 2012.

8 Algumas FISPQ sobre parafina, cera de abelha e goma-laca podem ser obtidas nos sites: <http://www.gmceras.com.br/FISPQ_Parafina_Macro.pdf>; <<http://www.casquimica.com.br/fispq/Parafina140145.pdf>>; <<http://www.bbquimica.com.br/bbq/produtos/content/parafina.pdf>>. <http://www.quimidrol.com.br/site/admin/user/anexos/quimico_5270e69ee625494e244d9e62a47b1536.pdf>; <http://www.emfal.com.br/alcool/_ArquivoProdutos/58248.pdf>; <<http://www.ironfittings.com.br/> (Goma laca indiana e nacional)>; <http://www.quimidrol.com.br/site/admin/user/anexos/quimico_5b42776a9d9ef1d00b6a26b7b6256ef8.pdf>; <http://www.gatopreto.com.br/wp_gato/wp-content/uploads/2009/12/Microsoft-Word-FISPQ-022023052.pdf>; <<http://www.quimidrol.com.br/site/admin/user/>

quando feito fora de um laboratório e da capela (em casa, por exemplo), deve ser feito em local bem ventilado.

Após a solidificação das substâncias é preciso retirar as peças dos recipientes. Eles foram rapidamente aquecidos para que a camada da substância em contato com sua parede fosse derretida. Isso faz com que as peças se desgrudem e fiquem soltas, permitindo sua remoção, tal como descrito por Gray. Depois desse rápido aquecimento, as peças eram removidas e colocadas sobre uma bancada, para secar a camada derretida. Houve certa dificuldade na retirada das peças das placas de Petri, mesmo após o aquecimento da camada superficial da peça e com ela estando solta dentro da placa; elas demoravam para sair quando o recipiente era colocado de “boca para baixo”. Evitamos ficar manuseando as peças para retirá-las, pois o contato poderia eletrizar por atrito e trazer resultados falsos aos nossos testes. Para retirar a peça de goma-laca da placa de Petri, precisamos quebrar o recipiente, pois essa substância apresentou-se bastante quebradiça depois de solidificada e o breve aquecimento para derreter sua camada superficial não se mostrou eficaz. Quando utilizamos copinhos de vidro como recipiente, na primeira rodada, também encontramos certa dificuldade para retirar as peças de seu interior após solidificadas. Mesmo após o aquecimento do copo e o derretimento da camada externa da peça, ela não saía quando o recipiente era colocado de “boca para baixo”. Foi preciso recorrer a um instrumento pontiagudo para espetar a peça e retirá-la. Por isso, sugerimos que, ao utilizar esse tipo de recipiente, seja colocado algum objeto que sirva de cabo para a retirada da peça e que depois possa ser utilizado para o manuseio da mesma, como ilustra a Figura 19.6.

No entanto, é importante que o material utilizado como cabo seja isolante. Nesse caso, utilizamos prendedores de roupa feitos de plástico. Para saber se o material é condutor ou isolante, carregue um eletroscópio com um objeto eletrizado. Em seguida, encoste o material na cartolina do instrumento elétrico. Se a tirinha abaixar, o

material é condutor; caso contrário é isolante.⁹ Colocamos o cabo na peça logo após derramar a substância derretida dentro do recipiente, com ela ainda líquida, pois, como já dissemos, o material não foi derretido dentro dos copinhos.



(a) Copo em pé.



(b) Copo deitado.

Figura 19.6 – Copo de vidro com cera de carnaúba escura e um cabo com material de plástico (isolante elétrico).

Por causa da profundidade do recipiente de ferro e da dificuldade de retirar as peças de seu interior – adversidade que já havíamos enfrentado ao retirar as peças dos copinhos de vidro na primeira vez que fizemos os experimentos –, optamos por colocar um cabo isolante nessas peças. O cabo era inserido tão logo a substância derretia, ou seja, com o material em estado líquido.¹⁰ A confecção das peças por meio do recipiente de ferro levou quase o dia todo, pois, como já mencionamos, foi preciso fazer uma peça de cada vez. Não foi possível extrair a peça de goma-laca desse recipiente; em todas as tentativas a peça se quebrava em muitos

9 Este procedimento foi descrito com detalhes no Experimento 2, na Subseção 4.3.2 deste livro.

10 Após testar alguns materiais isolantes, optamos por utilizar prendedores de roupa feitos de plástico, os quais podem ser adquiridos em lojas de variedades. Cada prendedor gerava dois cabos, pois eram divididos ao meio. Podem ser utilizados quaisquer outros materiais isolantes; cabe ao leitor fazer os testes e encontrar a melhor opção.

pedaços pequenos. Os recipientes de flandre, devido ao formato oblíquo de suas paredes e por ser um material relativamente flexível, não apresentou dificuldades para a extração das peças. Vale destacar que algumas substâncias diminuem de volume em relação à fase líquida, quando se solidificam. Por isso, é comum o aparecimento de buracos na superfície das peças durante o processo de solidificação.

Experimento 19.3 – Verificando a eletrização das peças após o derretimento

Depois que todas as peças já estavam prontas, fizemos testes para verificar quais delas apresentavam eletrização, portanto, quais se comportariam como eletretos. A única substância que não apresentou qualquer eletrização foi o enxofre, em nenhuma das três peças. Fizemos os testes por vários dias, para termos certeza de que as peças não estavam eletrizadas.¹¹ Todas as outras peças estavam eletrizadas, para os três tipos de recipientes. O procedimento para o teste foi aquele descrito no Experimento 19.2. Portanto, em nossos testes o material do recipiente não interferiu na formação do eletreto. No entanto, não podemos afirmar nada sobre a densidade superficial de carga em cada peça e se os recipientes interferem nessa questão.

Experimento 19.4 – Verificando o tipo de carga das peças um dia após sua fabricação

11 Em outro trabalho desenvolvido sobre a mesma temática, o enxofre também não apresentou eletrização após o tratamento descrito aqui. A hipótese levantada por Silva Junior (2013, p.15) para esse fenômeno é que “as cargas que seriam responsáveis pela eletrização” do material ficaram na camada derretida da substância que permaneceu no recipiente após o breve aquecimento para extração da peça. Sendo assim, essas cargas seriam “superficiais ou de pequena penetração”.

Fizemos testes para verificar o tipo de carga das peças um dia após sua fabricação. Nossa referência para o teste foi um canudo de plástico atritado com papel sulfite. Com base na série tribo-elétrica apresentada por Assis (2010, p.127), o canudo de plástico atritado com papel adquire carga negativa. Para o teste utilizamos uma “linha pendular” presa à um suporte isolante, como apresenta a Figura 19.7.

O procedimento consiste em carregar a linha de algodão por meio de contato com um canudo eletrizado por meio de atrito com papel sulfite. Após esse contato, a linha passa a ser repelida pelo canudo, indicando que ambos estão carregados com cargas de mesma natureza. Então, cada peça eletrizada foi aproximada da linha. Se houvesse atração, a carga da peça era de natureza oposta à do canudo; se houvesse repulsão, a carga da peça era de mesma natureza. É necessário carregar a linha a cada nova aproximação da peça, pois ela perde a carga com facilidade e pode indicar um resultado falso se estiver pouco eletrizada.



Figura 19.7 – Poste de sustentação com um canudo de plástico colocado em sua extremidade superior em forma Γ . Na extremidade do canudo há uma linha condutora de algodão.

Além disso, é preciso tomar cuidado ao aproximar a peça da linha carregada, pois, se a distância entre elas for muito peque-

na, pode ocorrer atração mesmo se ambas estiverem carregadas com carga de mesma natureza.¹² Esse teste também pode ser feito com um pêndulo elétrico, como apresenta Assis (2010, p.78-9). Em seguida, apresentaremos as Tabelas 19.3, 19.4 e 19.5 com os resultados sobre o tipo de carga das peças.

Tabela 19.3 – Substâncias derretidas no recipiente de vidro

Nº	Substância	Atração/Repulsão	Tipo de carga
1	Cera de carnaúba clara	repele	negativa
2	Cera de carnaúba escura	repele	negativa
3	Cera de abelha	repele	negativa
4	Parafina	repele	negativa
5	Goma-laca	repele	negativa
6	Enxofre	não eletrizou	não eletrizou

Tabela 19.4 – Substâncias derretidas no recipiente de ferro

Nº	Substância	Atração/Repulsão	Tipo de carga
1	Cera de carnaúba clara	repele	negativa
2	Cera de carnaúba escura	repele	negativa
3	Cera de abelha	repele	negativa
4	Parafina	repele	negativa
5	Goma-laca	não tem peça	não tem peça
6	Enxofre	não eletrizou	não eletrizou

12 Para distâncias muito pequenas é possível que ocorra atração elétrica entre dois corpos carregados com cargas de mesma natureza (Assis, 2010, p.131, 205-10).

Tabela 19.5 – Substâncias derretidas na concha de flandre

Nº	Substância	Atração/Repulsão	Tipo de carga
1	Cera de carnaúba clara	repele	negativa
2	Cera de carnaúba escura	repele	negativa
3	Cera de abelha	repele	negativa
4	Parafina	repele	negativa
5	Goma-laca	repele	negativa
6	Enxofre	não eletrizou	não eletrizou

Experimento 19.5 – Verificando o tempo pelo qual as peças apresentam eletrização

Agora, nosso objetivo é verificar por quanto tempo as peças permanecem em seu estado de eletrização. Após realizados todos os experimentos, todas as peças foram embaladas, separadamente, em flanelas brancas de algodão (ver Figura 19.8). Todas as peças foram guardadas em uma caixa de madeira (ver Figura 19.9).

Nos primeiros meses, as medidas foram feitas a cada três dias; depois passamos a fazer os testes duas vezes por semana. As peças da segunda rodada foram feitas no dia 17 de dezembro de 2010. No dia 10 de outubro de 2011, a maioria das peças ainda apresentava eletrização (ver Tabelas 19.6, 19.7 e 19.8). Ao longo dos meses, a eletrização foi diminuindo. Cabe ressaltar que estamos utilizando uma linha pendular (isto é, uma linha condutora de algodão presa a uma vareta de madeira) cuja linha de algodão é bem fina. Isso dá uma sensibilidade maior ao instrumento. Algumas peças já apresentam uma atração bem “sutil” da linha, ou seja, a atração ocorre apenas quando a peça é colocada bem próxima à linha, a poucos milímetros dela.



(a) Peça sobre a flanela de algodão.



(b) Peça embalada na flanela de algodão.

Figura 19.8 – Embalagem das peças.



Figura 19.9 – Caixa de madeira utilizada para guardar as peças.

Tabela 19.6 – Duração de eletrização das substâncias derretidas no recipiente de vidro

Nº	Substância	Ainda atraía em 10/2011?	Mês em que parou de atrair
1	Cera de carnaúba clara	sim	—
2	Cera de carnaúba escura	sim	—
3	Cera de abelha	não	maio/2011

4	Parafina	sim	—
5	Goma-laca	sim	—
6	Enxofre	não eletrizou	não eletrizou

Tabela 19.7 – Duração de eletrização das substâncias derretidas no recipiente de ferro

Nº	Substância	Ainda atraía em 10/2011?	Mês em que parou de atrair
1	Cera de carnaúba clara	sim	—
2	Cera de carnaúba escura	sim	—
3	Cera de abelha	não	maio/2011
4	Parafina	não	julho/2011
5	Goma-laca	não tem peça	não tem peça
6	Enxofre	não eletrizou	não eletrizou

Experimento 19.6 – Tempo que uma peça de cera carnaúba escura permanece eletrizada quando deixada ao ar livre

Fizemos uma peça de cera de carnaúba escura em um recipiente de flandre e deixamos exposta ao ar livre, com o intuito de verificar por quanto tempo ela apresentaria a propriedade atrativa. Essa propriedade durou cerca de três meses, do dia 17 de dezembro de 2010 ao dia 14 de março de 2011. Quando deixadas expostas ao ar livre, as peças eletrizadas provavelmente atraem contaminantes, como poeira, íons, partículas de umidade¹³ etc., o que contribui para que

13 Segundo Gutmann (apud Germant, 1948, p.461), os “eletretos são excessivamente sensíveis à umidade”; por isso, exposições prolongadas ao ar úmido causam-lhes danos permanentes, em razão da penetração de água.

percam sua eletrização mais rapidamente. Por causa disso, os eletretos comerciais, como os encontrados em aparelhos eletrônicos, são isolados do ar externo por uma camada protetora de alumínio, colocada sobre suas faces (Silva Junior, 2013, p.15-6; Ferraz Netto, 1994).

Tabela 19.8 – Duração de eletrização das substâncias derretidas na concha de flandre

Nº	Substância	Ainda atraía em 10/2011?	Mês em que parou de atrair
1	Cera de carnaúba clara	sim	—
2	Cera de carnaúba escura	sim	—
3	Cera de abelha	não	julho/2011
4	Parafina	sim	—
5	Goma-laca	sim	—
6	Enxofre	não eletrizou	não eletrizou

Experimento 19.7 – Tempo que um canudo de plástico eletrizado por atrito com papel sulfite permanece eletrizado

No dia em que as peças foram feitas (17 de dezembro de 2010), atritamos um canudo de plástico com papel sulfite para verificar por quanto tempo ele apresentaria eletrização se fosse guardado embalado em uma flanela de algodão. Ele apresentou eletrização por cerca de três meses, do dia 17 de dezembro de 2010 ao dia 25 de março de 2011.¹⁴

14 Uma interessante discussão sobre eletretos pode ser vista em Ferraz Netto (1994).

20

EXPERIMENTOS DO ARTIGO 6¹

Neste capítulo, vamos apresentar a reconstrução de alguns experimentos descritos por Gray que, do ponto de vista da Física atual, evidenciam a eletrização sem contato ou toque entre o objeto eletrizado (isto é, indutor) e aquele a ser eletrizado. Em geral, utilizamos como indutor um tubo de PVC eletrizado por meio de atrito com poliamida. Um fator relevante nos experimentos a seguir é que o corpo a ser eletrizado pelo indutor sempre estará isolado eletricamente, seja por meio de fios isolantes (isto é, de seda ou de poliamida), seja por meio de uma base de isopor. Ou seja, o isolamento dos corpos é condição *sine qua non* para que possamos evidenciar os fenômenos descritos.

Outro ponto importante é que o tubo eletrizado é sempre colocado próximo a uma das extremidades das varas, as quais serão bastante utilizadas nos experimentos seguintes, e sem tocá-las. A eletrização a partir da aproximação do indutor (isto é, o tubo eletrizado) ocorre sem que haja contato ou toque com o corpo isolado. Isso ocorre porque, na medida em que o tubo é aproximado de uma vareta de madeira suspenso por linhas de poliamida, por exemplo, a vareta fica polarizada eletricamente. A extremidade próxima ao tubo fica eletrizada com carga de sinal oposto ao do tubo, enquanto a extremidade mais afastada

1 Gray (1731-2d, p. 397-407). Tradução no Capítulo 10 deste livro.

fica eletrizada com carga de mesmo sinal que o tubo. Esse fenômeno é chamado de *polarização* ou *indução elétrica*. A partir de uma certa distância entre o tubo e o objeto, ocorre uma descarga elétrica entre eles, o que faz com que o objeto isolado fique carregado eletricamente. Algumas vezes, em nossos experimentos, ao aproximarmos o tubo atritado da extremidade das varas, foi possível escutar estalidos, o que evidencia a ocorrência da descarga elétrica. Mesmo que não haja estalidos, é possível verificar a eletrização dos objetos isolados por meio da aproximação de uma linha pendular, como será feito a seguir.

Experimento 20.1 – Experimentos com linhas dentro de recipientes

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Eletroscópio
Fita adesiva
Linha de algodão
Linha de seda
Recipientes diversos

No início do texto original, Gray (1731-2d, p.397-407) descreve alguns experimentos em que linhas são penduradas dentro de recipientes. Então, o tubo de vidro eletrizado é aproximado do lado de fora do recipiente para verificar o comportamento da linha presa em seu interior. Para a reprodução desses experimentos, utilizamos oito recipientes, os quais foram adquiridos em uma loja de variedades, sendo dois deles de vidro, três de plástico e três de acrílico (ver Figura 20.1a).

Inicialmente, fizemos um teste para verificar quais recipientes eram feitos de materiais condutores e quais eram isolantes.² Testamos tanto o recipiente em si quanto a sua tampa. O resultado do teste é apresentado na Tabela 20.1. Cada recipiente foi numerado antes de realizarmos os testes.

2 Este teste está descrito no Experimento 2, na Subseção 4.3.2 deste livro.



(a) O grupo de recipientes à esquerda da figura é de vidro, o grupo do centro é de plástico e o grupo da direita é de acrílico.



(b) Em detalhe, um recipiente de vidro com uma linha de algodão presa a sua tampa pelo lado de dentro.

Figura 20.1 – Recipientes.

Para prender as linhas no interior dos recipientes, utilizávamos fita adesiva; assim, a linha era sempre presa ao centro da tampa (ver Figura 20.1b). Dessa forma, aproximávamos o tubo de PVC eletrizado por atrito com poliamida do lado de fora do recipiente e observávamos o comportamento da linha. O resultado desses testes é apresentado na Tabela 20.2.

Alguns comentários sobre o comportamento das linhas

Linha de algodão

Recipientes 1 e 2: O mesmo fio pendurado em um suporte isolante foi atraído a cerca de 13 cm de distância.

Recipiente 4: Algumas vezes, imediatamente após a aproximação do tubo, a linha era levemente repelida e, em seguida, era atraída na direção do tubo eletrizado.

Tabela 20.1 – Teste de condutividade dos materiais utilizados³

Nº	Material	Propriedade condutora	
		Recipiente	Tampa
1	Vidro	condutor	mau condutor
2	Vidro	condutor	condutor
3	Plástico	isolante	isolante
4	Plástico	isolante	isolante
5	Plástico	condutor	condutor
6	Acrílico	isolante	condutor
7	Acrílico	isolante	isolante
8	Acrílico	isolante	condutor

Recipiente 5: A linha balançava um pouco à medida que o tubo era aproximado, não sendo nem atraída nem repelida. Mas após a retirada do tubo ela era atraída pela parede do recipiente onde o tubo foi aproximado, tocava essa parede e retornava à posição inicial, ao centro.

Recipiente 6: Algumas vezes, ao aproximar o tubo, a linha era atraída. Mas em outros momentos, a atração ocorria apenas no instante em que o tubo eletrizado era afastado do recipiente. Assim, a linha era atraída pela parede onde o tubo estava próximo.

Recipiente 7: Parece-nos que, à medida que o tubo eletrizado era aproximado, a linha era levemente repelida antes de ser atraída.

3 O material descrito na segunda coluna da tabela refere-se ao recipiente. Todas as tampas são feitas de plástico.

Linha de seda

Recipiente 3: Quando o tubo eletrizado era aproximado da linha de seda, ela era levemente repelida, voltando à posição inicial assim que o tubo era afastado. Mas se o procedimento fosse realizado várias vezes seguidas, ou seja, se o tubo fosse atritado e aproximado várias vezes consecutivas, em determinado momento, assim que o tubo era afastado, a linha era atraída para a parede do recipiente onde o tubo estava próximo.

Tabela 20.2 – Resultado do experimento

Nº	Material	Linha de algodão	Linha de seda
1	Vidro	não se move	não se move
2	Vidro	não se move	não se move
3	Plástico	atração	repulsão
4	Plástico	atração	repulsão
5	Plástico	se move	não se move
6	Acrílico	se move	se move
7	Acrílico	atração	atração
8	Acrílico	atração	—

Recipiente 6: Quando o tubo eletrizado era aproximado, parecia-nos haver uma pequena atração da linha. Mas, se o procedimento fosse realizado várias vezes seguidas, ou seja, se o tubo fosse atritado e aproximado várias vezes consecutivas, em determinado momento a linha era atraída e encostava na parede do recipiente próximo ao tubo.

Recipiente 7: Nas primeiras aproximações do tubo, não havia movimentação da linha. Mas se o procedimento fosse realizado várias vezes seguidas, ou seja, se o tubo fosse atritado e aproximado várias vezes consecutivas, em determinado momento a linha era atraída.

Recipiente 8: Não percebemos qualquer movimento aparente da linha. Mas por causa do formato do recipiente, cheio de quinas, optamos por não colocar o resultado, pois a observação pode ter sido prejudicada.

Experimento 20.2 – Experimento com uma vareta de madeira na horizontal e uma varinha de madeira na vertical

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Varetas de madeira
Suporte de madeira
Linha de poliamida
Linha de seda
Linha pendular (algodão)

Na página 401 do artigo original,⁴ é descrito um experimento em que uma vareta de madeira é suspensa horizontalmente por linhas isolantes, e uma segunda vareta é pendurada verticalmente sobre a primeira. Para realizar esse experimento, utilizamos um suporte de madeira com haste horizontal de ferro, como ilustra a Figura 20.2.

Também tínhamos a opção de utilizar a haste horizontal de madeira (ver Figura 20.3), mas optamos pela de ferro por conveniência, pois as linhas que suspendem os materiais deslizam com mais facilidade nela e, portanto, torna-se mais fácil manipulá-las.⁵

4 Ver página 202 deste livro.

5 O leitor deve ficar atento a esse suporte de madeira com haste horizontal de ferro, pois nós o utilizaremos em todos os próximos experimentos desta seção. Em algumas fotografias nós apresentaremos, em detalhe, apenas os materiais suspensos na haste horizontal, ou seja, não mostramos o suporte todo. É importante ressaltar ainda que a haste horizontal de madeira tinha 1 m; já para a haste de ferro tínhamos duas opções, uma de 1 m e outra de 2 m. A haste de 2 m foi utilizada em alguns momentos para deixar os cavaletes de madeira que a sustentam mais distantes do material suspenso, como ilustra a Figura 20.4.



Figura 20.2 – Suporte de madeira com haste horizontal de ferro.



Figura 20.3 – Suporte de madeira com haste horizontal de madeira.

Então, penduramos as varetas na haste horizontal do suporte por meio de linhas isolantes, tal como apresenta a Figura 20.5. A distância entre as duas varetas era de cerca de 7 mm, como já explicamos em outras seções, sendo esse o diâmetro de um canudo de refresco. É importante salientar que essa distância pode variar de acordo com quão eletrizado está o objeto utilizado no experimento. A vara de madeira pendurada na horizontal foi obtida cortando

uma colher de madeira adquirida em uma loja de variedades; a vareta vertical é um palito de churrasco.

Para reproduzir o experimento, o tubo de PVC atritado era aproximado da vara de madeira horizontal na extremidade oposta à da vareta vertical.



Figura 20.4 – Suporte de madeira com haste horizontal de ferro e uma vara de madeira pendurada por meio de linhas de poliamida.

Em alguns momentos, ocorriam estalidos quando o tubo era aproximado (mas não encostado) da extremidade da vara de madeira. Esse procedimento era feito três ou quatro vezes antes de aproximar a linha pendular da varinha pendurada na vertical. Então, ao aproximar a linha pendular, ocorria atração entre a linha e a vareta vertical, o que evidencia a eletrização dessa vareta. A linha pendular consistia em uma linha condutora de algodão presa à ponta de uma vareta de madeira.

Experimento 20.3 – Experimento com duas varetas de madeira na horizontal



Figura 20.5 – Em detalhe, a figura apresenta a vareta de madeira horizontal presa por linhas de poliamida (linhas de pesca) na haste horizontal de ferro do suporte de madeira e a vareta vertical presa por linha de seda à mesma haste.

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Suporte de madeira
Rolha de cortiça
Varetas de madeira
Linha pendular (algodão)
Linha de poliamida
Linha de seda

Na página 402 do artigo original,⁶ é descrito um experimento em que duas varetas de madeira são suspensas por fios isolantes uma sobre a outra, sendo que uma delas possui uma bola de cortiça à ponta. Suspendemos, então, duas varetas de madeira no nosso suporte de madeira com haste horizontal de ferro, sendo que uma

6 Ver página 206 deste livro.

delas tinha uma rolha de cortiça presa à sua ponta, conforme ilustra a Figura 20.6.



Figura 20.6 – Em detalhe, a figura apresenta duas varetas de madeira na posição horizontal presas à haste horizontal de ferro do suporte de madeira. A vareta da esquerda com uma rolha de cortiça à sua ponta está presa por linha de seda à haste, e a vareta da direita está presa por linhas de poliamida (linhas de pesca).

A vareta da direita estava suspensa por linhas de poliamida, e a da esquerda tinha uma extremidade suspensa pela vareta da direita e uma extremidade suspensa por linha de seda. Ambas as varetas foram obtidas a partir de colheres de madeira adquiridas em uma loja de variedades e depois serradas. Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado e aproximado (mas não encostado) cerca de quatro ou cinco vezes na extremidade oposta àquela em que estava presa a rolha de cortiça.⁷ Em seguida, a linha pendular foi aproximada da cortiça e foi atraída por ela. Isso evidencia que a rolha estava eletrizada.

7 Cabe destacar que o tubo de PVC era constantemente atritado. Antes de cada aproximação, ele era novamente atritado com poliamida.

Experimento 20.4 – Experimento com corda e vareta de madeira na horizontal

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Suporte de madeira
Vareta de madeira
Rolha de cortiça
Corda
Linha de poliamida
Linha de seda
Linha pendular (algodão)

Na página 403 do artigo original,⁸ é descrito um experimento em que uma vareta de madeira com uma bola de cortiça à ponta é suspensa por linhas isolantes sobre um barbante também suspenso por linhas isolantes. Para reproduzi-lo utilizamos um pedaço de corda de fibra de coco de cerca de 50 cm e uma vareta de madeira de cerca de 30 cm com uma rolha de cortiça fixada a sua extremidade, ambos presos ao suporte de madeira com haste horizontal de ferro por meio de linhas de poliamida e de seda, como ilustra a Figura 20.7.

Optamos por utilizar a corda porque temos indícios de que o barbante que Gray utilizava era grosso. Apesar do nome *barbante*, era algo semelhante a uma corda.⁹ Antes de utilizarmos a corda, foi realizado o teste e verificado que ela se comporta como condutor elétrico em experimentos de eletrostática. Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado e aproximado (mas não encostado) cerca de quatro ou cinco vezes na extremidade da corda oposta àquela em que estava posicionada a vara de madeira. Em seguida, a linha pendular foi aproximada da cortiça e foi atraída por ela. Isso evidencia que a rolha estava eletrizada.

8 Ver página 207 deste livro.

9 Ver nota 16 no Capítulo 7 deste livro.

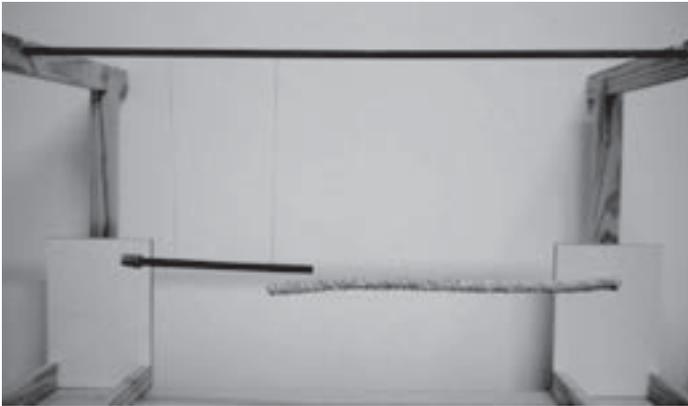


Figura 20.7 – A figura apresenta uma vareta de madeira com uma rolha de cortiça presa a sua ponta e um pedaço de corda, ambos na posição horizontal, suspensos pela haste horizontal de ferro do suporte de madeira. A vareta de madeira está presa por linhas de seda à haste, e a corda está presa por linhas de poliamida (linhas de pesca).

Experimento 20.5 – Experimento com corda e aro de madeira

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Suporte de madeira
Aro de madeira
Corda
Linha pendular (algodão)
Linha de seda
Linha de poliamida

Na página 405 do artigo original,¹⁰ é descrito um experimento em que um aro de madeira é suspenso por linhas isolantes junto a um barbante, também suspenso por linhas isolantes. Para reprodu-

¹⁰ Ver página 213 deste livro.

zir esse experimento, utilizamos um pequeno aro de madeira com diâmetro médio aproximado de 16 cm e um pedaço de corda.¹¹ Ambos foram pendurados no suporte de madeira com haste horizontal de ferro, como descrito na Figura 20.8.



Figura 20.8 – A figura apresenta um aro de madeira e um pedaço de corda suspensos na haste horizontal de ferro do suporte de madeira. O aro de madeira está preso por linha de seda à haste, e a corda está presa por linhas de poliamida (linhas de pesca).

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado e aproximado (mas não encostado) cerca de quatro ou cinco vezes da extremidade da corda oposta àquela em que estava preso o aro. Em seguida, a linha pendular foi aproximada do aro e foi atraída por ele. Isso evidencia que o aro estava eletrizado. Inicialmente, a corda foi posicionada próxima ao centro do aro, mas nesse caso não houve atração perceptível. Sendo assim, nós a posicionamos mais próxima do contorno de madeira do aro. Quanto mais próxima do contorno, maior era a atração da linha pendular. A aproximação entre a corda e o contorno do aro pode ser feita abaixando ou elevando a extremidade da corda que está posicionada dentro do aro.

11 Ver página 349 deste livro.

Experimento 20.6 – Experimento com corda e uma rolha de cortiça presa a uma vareta de madeira vertical

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Vareta de madeira
Suporte de madeira
Rolha de cortiça
Linha pendular (algodão)
Linha de seda
Linha de poliamida

Na página 405 do artigo original,¹² é descrito um experimento em que uma bola de cortiça é fixada a uma vareta e ambas são presas a um funil de vidro. A bola, então, é colocada próxima a um barbante suspenso por linhas isolantes. Para reproduzir esse experimento, utilizamos a corda suspensa por linhas isolantes no suporte de madeira com haste de ferro dos experimentos anteriores, e uma rolha de cortiça presa a uma vareta de madeira fixada em um bloco de isopor. O funil de vidro utilizado por Gray provavelmente comportava-se como isolante elétrico, daí a nossa opção por um bloco de isopor para servir de base, no lugar do funil. A disposição do experimento pode ser vista na Figura 20.9.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado com poliamida e aproximado (mas não encostado) cerca de quatro ou cinco vezes da extremidade da corda oposta àquela em que estava a rolha de cortiça. Em seguida, a linha pendular foi aproximada da rolha e foi atraída por ela. Isso evidencia que a rolha estava eletrizada. Um fator importante neste experimento é a distância entre a rolha de cortiça e a corda. Quanto mais próximas estão a corda e a cortiça, mais evidente é a atração da linha. A partir de determinada distância entre a rolha e a corda, não há atração perceptível.

12 Ver página 214 deste livro.

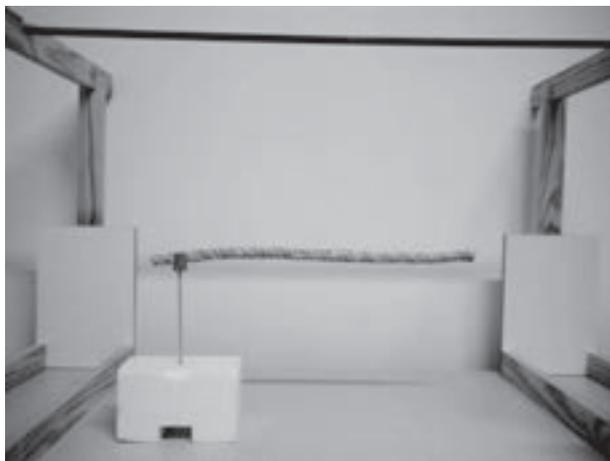


Figura 20.9 – A figura apresenta um pedaço de corda preso por linhas de poliamida (linhas de pesca) à haste horizontal de ferro do suporte de madeira e uma rolha de cortiça presa a uma vareta de madeira fixadas a um pedaço de isopor. A cortiça e a corda não estão encostadas.

Experimento 20.7 – Experimento com corda e uma rolha de cortiça fixada a ela e um aro de madeira posicionado na ponta da corda oposta à cortiça

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Suporte de madeira
Aro de madeira
Agulha de costura
Corda
Rolha de cortiça
Linha pendular (algodão)
Linha de seda
Linha de poliamida

Na página 406 do artigo original,¹³ é descrito um experimento em que um aro de madeira é suspenso por linhas isolantes junto com um barbante com uma bola de cortiça à ponta, também suspenso por linhas isolantes. Para reproduzir esse experimento, utilizamos um pequeno aro de madeira de diâmetro médio aproximado de 16 cm¹⁴ e um pedaço de corda com uma rolha de cortiça presa na ponta oposta àquela em que estava posicionado o aro de madeira. Ambos foram pendurados na haste horizontal de ferro do suporte de madeira, como descrito na Figura 20.10.

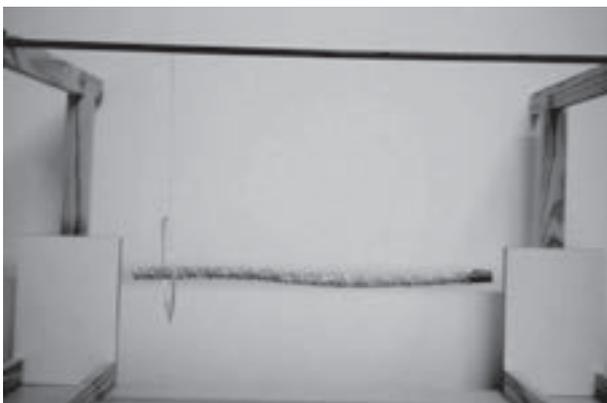


Figura 20.10 – A figura apresenta um pedaço de corda com rolha de cortiça preso por linhas de poliamida (linhas de pesca) à haste horizontal de ferro do suporte de madeira e um aro de madeira preso na mesma haste por linha de seda e posicionado na extremidade da corda oposta àquela em que está a cortiça.

Para fixar a rolha na corda, utilizamos uma agulha de costura, como ilustra a Figura 20.11. Nessa ilustração deixamos a cortiça e a corda com certa distância para evidenciar a agulha, mas, para a realização do experimento, a agulha foi introduzida na corda até que a rolha encostasse nela.

13 Ver página 214 deste livro.

14 Ver página 349 deste livro.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC foi atritado e aproximado (mas não encostado) cerca de quatro ou cinco vezes do aro. Em seguida, a linha pendular foi aproximada da cortiça e foi atraída por ela. Isso evidencia que a rolha de cortiça estava eletrizada. Inicialmente, a corda foi posicionada próxima ao centro do aro, mas nesse caso não houve atração perceptível na cortiça.

Sendo assim, nós a posicionamos mais próxima do contorno de madeira do aro, o que propiciou a atração da linha pela cortiça. A aproximação entre a corda e o contorno do aro pode ser feita abaixando ou elevando a extremidade da corda que está posicionada dentro do aro. Cabe ressaltar que, dependendo do diâmetro do aro e de quão eletrizado está o tubo, a eletrização da corda pode ocorrer devido à aproximação do próprio tubo, e não necessariamente devido à eletrização do aro e de este eletrizar a corda.



Figura 20.11 – Em detalhe, a figura mostra como foi feita a fixação da rolha de cortiça à corda por meio de uma agulha de costura.

21

EXPERIMENTOS DO ARTIGO 7¹

Neste capítulo, apresentaremos a reconstrução de alguns experimentos descritos por Gray que evidenciam a eletrização sem contato físico ou toque entre o objeto eletrizado (isto é, indutor) e aquele a ser carregado ou polarizado eletricamente. Em geral, utilizamos um tubo de PVC eletrizado por meio de atrito com poliamida como indutor. Um fator relevante nos experimentos a seguir é que os corpos a serem eletrizados pelo indutor sempre estarão isolados eletricamente da Terra, seja por meio de fios isolantes (isto é, de seda ou de poliamida), seja por meio de uma base de isopor. Ou seja, o isolamento dos corpos é condição *sine qua non* para que possamos evidenciar os fenômenos descritos. Outro ponto importante é que o tubo eletrizado é sempre colocado próximo a uma das extremidade das barras metálicas² e sem tocá-las. Como já dissemos, nesses experimentos a eletrização ocorre a partir da aproximação do indutor (isto é, o tubo eletrizado), sem que haja contato físico ou toque com o corpo isolado. Do ponto de vista da Física atual, isso ocorre porque, à medida que o tubo atritado é aproximado da extremidade de uma barra de fer-

1 Gray (1735-6b, p. 162-4). Tradução no Capítulo 11 deste livro.

2 Também chamadas de *varas metálicas* ao longo do texto.

ro isolada eletricamente, essa barra fica polarizada eletricamente. A extremidade da barra mais próxima ao tubo fica eletrizada com cargas de sinal oposto ao tubo, enquanto a extremidade mais afastada fica eletrizada com cargas de mesmo sinal que o tubo. A partir de uma certa distância entre o tubo e o objeto, ocorre uma descarga elétrica entre eles, o que faz com que o objeto isolado fique carregado eletricamente, com carga líquida diferente de zero, de mesmo sinal que a carga do indutor. Algumas vezes, em nossos experimentos, ao aproximarmos o tubo atritado da extremidade das varas, foi possível escutar estalidos, o que evidencia a ocorrência da descarga elétrica. Havendo estalidos ou não, é possível verificar a eletrização dos objetos isolados por meio da aproximação de uma linha pendular, como será feito nos experimentos a seguir.

No texto original (Gray, 1735-6b, p.16-24) são descritos alguns experimentos sobre a eletrização, por descarga elétrica, de barras metálicas suspensas ou apoiadas em materiais isolantes. Alguns desses experimentos também evidenciam o fenômeno físico conhecido como *poder das pontas*. Cabe destacar que no artigo original há relatos de que, ao aproximar um tubo de vidro eletrizado de uma barra metálica isolada eletricamente, havia a emissão de luz (isto é, faíscas) e de estalidos. Nos experimentos que realizamos não foi possível obter a emissão de faíscas, apenas de estalidos. Isso pode estar relacionado com o quão eletrizado estava nosso tubo de PVC atritado com poliamida, de tal forma que a eletrização obtida não foi suficiente para evidenciar a emissão das faíscas.

Antes de iniciar a descrição dos experimentos reproduzidos, vamos apresentar e discutir um experimento bastante interessante que evidencia o referido fenômeno do *poder das pontas*.³

3 Para a construção deste experimento, nós nos baseamos em Gaspar (2005, p.239; Experiência 63, “O poder das pontas”) e em Ripe (1990; Experimento “O para-raios (a Igrejinha)”).

Experimento 21.1 – O poder das pontas

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Cartolina ou papel cartão
Fita adesiva e cola
Canudos de refresco
Papel de seda
Agulha ou alfinete
Suporte com base de gesso

Inicialmente, recortamos a cartolina (ou papel cartão) no formato de casinha, como indica a Figura 21.1.



Figura 21.1 – Medidas para a “casinha” de cartolina. Figura adaptada de Gaspar (2005, p.240). Gaspar sugere as dimensões de 7,5 cm de altura e 6 cm de largura.

Cole uma tirinha de papel de seda de cerca de 4 cm de comprimento por 3 mm de largura (por exemplo, aquelas de embalar bala de coco) no ponto “A” da Figura 21.1. Na região em que seria a ponta do telhado, fixe uma agulha de costura (ou um alfinete) com fita adesiva. Agora, prenda o conjunto em um canudo de refresco por meio de fita adesiva na parte de trás do recorte de cartolina. Fixe o canudo no suporte com base de gesso (Ibid., 2005, p.239-40). A Figura 21.2 ilustra o instrumento depois de montado.



(a) A figura apresenta o instrumento elétrico em forma de “casinha” com haste metálica na extremidade superior, tirinha de papel de seda ao centro e canudinho de refresco preso a um suporte com base de gesso.



(b) A figura apresenta, em detalhe, o instrumento elétrico em forma de “casinha” com haste metálica na extremidade superior, tirinha de papel de seda ao centro e canudinho de refresco para o suporte.

Figura 21.2 – Instrumento elétrico para discussão do poder das pontas.

Para realizar o experimento, o tubo de PVC ou canudinho de refresco eletrizado deve ser aproximado da ponta da agulha, sem encostar. Para isso, posicione o tubo eletrizado (ou canudo) a uma certa distância acima da ponta da agulha, cerca de 5 cm. Então, inicie um movimento para baixo aproximando lentamente o tubo da ponta da agulha e observe a tirinha. A partir de uma certa distância, a tirinha de papel de seda começará a levantar. Nesse momento, interrompa o movimento do objeto indutor até que a tirinha acabe de se levantar (ver Figura 21.3). Depois que o objeto indutor permanecer próximo à agulha por alguns segundos, é possível afastá-lo; mesmo assim, a tirinha continuará levantada. Isso mostra que a casinha ficou eletrizada, tendo uma carga resultante diferente de zero (Gaspar, 2005, p.241).



(a) Tubo de PVC próximo à ponta da haste metálica.



(b) Tubo de PVC próximo à ponta da haste metálica e a tirinha de papel de seda levantada devido à ação do tubo.

Figura 21.3 – Aproximação do indutor ao instrumento.

É importante que o tubo ou canudo indutor esteja bem eletrizado (Gaspar, 2005, p.241). Este experimento ilustra uma propriedade física chamada de *poder das pontas*. A aproximação do indutor à ponta da agulha polariza eletricamente o instrumento por indução, gerando uma concentração de cargas opostas à do indutor, bastante grande na região da ponta. Essa quantidade de cargas concentradas em uma região facilita a descarga elétrica entre o indutor e a “casinha” (Ibid., p.242).

Apresentaremos a seguir uma reprodução dos experimentos mais importantes de Gray nesse artigo.

Experimento 21.2 – Eletrização de uma barra metálica isolada eletricamente

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Linha pendular de algodão
Barra metálica
Bases de isopor
Prego

Nas páginas 17 e 18 do artigo original,⁴ Gray descreve um experimento em que uma barra metálica isolada é eletrizada por meio da aproximação de um tubo de vidro eletrizado. Para reproduzir esse experimento, utilizamos duas barras metálicas de ferro (isto é, dois vergalhões) de 50 cm, uma delas sem ponta afiada nas extremidades e a outra com uma das extremidades com a ponta afiada, e bases de isopor. As barras de ferro foram compradas em uma serralheria. Para realizar os experimentos, as barras foram apoiadas em bases de isopor e o tubo de PVC atritado com poliamida foi aproximado de uma das extremidades da vara. Inicialmente, realizamos um experimento com a barra sem ponta afiada, como ilustra a Figura 21.4.

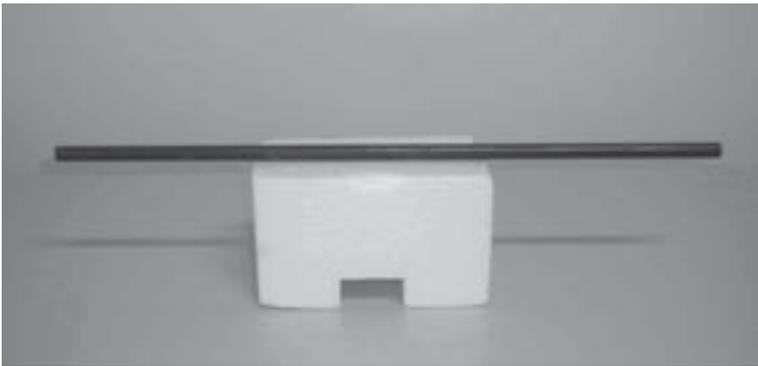


Figura 21.4 – Barra de ferro sem ponta afiada, apoiada sobre uma base de isopor.

Após atritar o tubo de PVC e aproximá-lo de uma das extremidades da barra (sem que houvesse contato entre eles), foi possível escutar um estalido. Este nem sempre ocorria na primeira aproximação do tubo, o qual deve estar bem eletrizado. Para verificar se a barra estava eletrizada, aproximamos uma linha

4 Ver página 223 deste livro.

pendular (isto é, linha condutora de algodão presa a uma vareta de madeira), a qual foi atraída, evidenciando que a peça de ferro estava carregada eletricamente.

Continuando o experimento, atritamos e aproximamos o tubo de PVC cerca de quatro ou cinco vezes de uma das extremidades da barra. Em quase todas as aproximações escutamos um estalido. A ideia de usar esse procedimento é deixar a peça de ferro o mais eletrizada possível. Após essa sequência de aproximações do tubo atritado, colocamos o dedo indicador da mão próximo a uma das extremidades da barra. Algumas vezes foi possível escutar um estalido quando o dedo chegava bem próximo do metal. Parece-nos que esse estalido ocorria com maior facilidade quando o dedo era aproximado da quina da face da extremidade da vara. Cabe ressaltar que não havia uma distância fixa para a ocorrência do estalido ao se aproximar o tubo eletrizado ou o dedo da mão da barra metálica; essa distância variava bastante e, algumas vezes, não houve estalido. Do ponto de vista da Física atual, é possível dizer que o estalido evidencia a ocorrência de uma descarga elétrica entre a vara de ferro e o tubo de PVC atritado, deixando a vara eletrizada. O leitor deve ficar atento a esse fenômeno, pois ele será recorrente nos experimentos seguintes.

Outro teste foi feito com a barra metálica que tem uma das extremidades afiada (isto é, pontiaguda), como ilustra a Figura 21.5. Na extremidade pontiaguda adaptamos a ponta de um prego, pois a extremidade da vara não veio da serralheria tão afiada quanto queríamos. Sendo assim, cortamos a ponta de um prego e fixamos em uma cavidade que fizemos na extremidade já afiada na serralheria. O procedimento utilizado foi o mesmo do teste anterior, mas aqui o tubo era sempre aproximado das extremidades da vara metálica pela reta formada com o seu alongamento, ficando o tubo e a barra ortogonais, como ilustra a Figura 21.6.

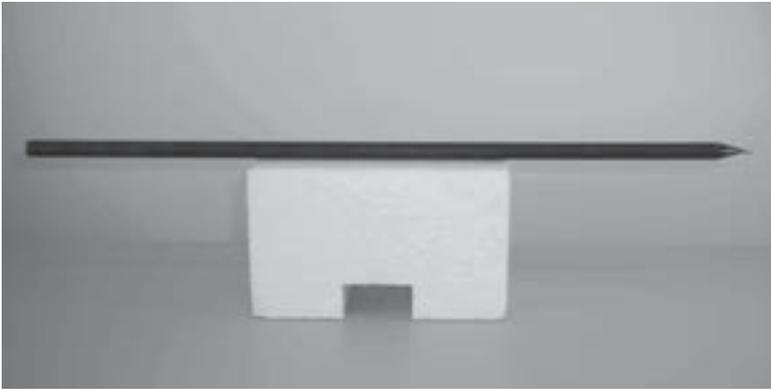


Figura 21.5 – Barra de ferro com uma das pontas afiada apoiada sobre uma base de isopor.

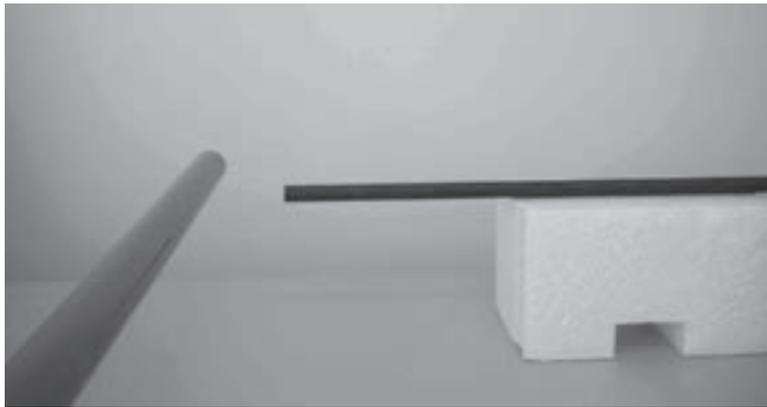


Figura 21.6 – Tubo de PVC sendo aproximado da barra de ferro de forma que fiquem ortogonais.

Colocávamos o tubo a cerca de 20 cm da extremidade da vara e o aproximávamos lentamente. Notamos que, ao aproximar o tubo de PVC eletrizado da extremidade com a ponta afiada, os estalidos eram diferentes daqueles emitidos pelas extremidades não afiadas. Na medida em que o tubo era aproximado da extremidade pontiaguda ocorriam vários pequenos (isto é, com som mais baixo)

estalidos consecutivos, algo semelhante ao barulho emitido ao se rasgar um pedaço de pano, mas com volume bem menor. De outro lado, quando o tubo era aproximado da extremidade não pontiaguada, em geral ocorria apenas um estalido mais alto, mais intenso do que aqueles que ocorriam na extremidade pontiaguada. Isso está de acordo com o que Gray (1735-6b, p.16-24) reporta na página 22 (item 3) do artigo original. Algumas vezes ocorreram dois estalidos ao aproximar o tubo da extremidade não pontiaguada, mas o segundo tinha menor intensidade, e o tubo de PVC eletrizado já estava praticamente encostado na vara de ferro.

Experimento 21.3 – Eletrização de duas barras metálicas separadas por certa distância

Materiais
Tubo de PVC Poliamida Bases de isopor Barras metálicas Linha pendular de algodão

Na página 21 do artigo original,⁵ item 2, é descrito um experimento em que duas ou três barras metálicas isoladas eletricamente são colocadas a uma certa distância uma da outra, e o tubo eletrizado é aplicado em uma das extremidades do conjunto. Para reconstruir este experimento, utilizamos duas barras metálicas de 50 cm colocadas em forma V sobre bases de isopor, como ilustra a Figura 21.7.

Para realizar o experimento, um tubo de PVC atritado com poliamida foi aproximado cerca 4 ou 5 vezes da extremidade “X” da barra “A”, sendo que ocorreram estalidos na maioria das aproximações. Em seguida, uma linha pendular de algodão foi aproximada da extremidade “Y” da outra barra (B), sendo atraída e evidencian-

5 Ver página 232 deste livro.

do sua eletrização, apesar da distância entre elas. A barra “B” apresentou eletrização mesmo quando a vara “A” foi retirada de perto dela, após a aproximação do tubo atritado.



Figura 21.7 – Duas barras metálicas de 50 cm colocadas em forma V sobre bases de isopor.

Isso evidencia que, para as distâncias que utilizamos entre as barras, cerca de 2 cm, houve descarga elétrica entre elas. Dessa forma, a eletrização da vara “B” não ocorreu apenas por causa da indução elétrica de “A”.⁶ Além da linha de algodão, em outro teste aproximamos o dedo indicador da extremidade “Y” após aplicar o tubo cerca de quatro ou cinco vezes na extremidade “X” da barra “A”, sendo que algumas vezes ocorreram estalidos com a aproximação do dedo.⁷ Cabe destacar que a distância máxima entre as

-
- 6 Apesar de a Figura 21.7 mostrar que as extremidades próximas são, respectivamente, uma pontiaguda e outra não pontiaguda, também fizemos os testes aproximando as duas extremidades não pontiagudas, obtendo os mesmos resultados.
- 7 Esses estalidos por causa da aproximação do dedo não ocorriam sempre; para isso, nós atritávamos bastante o tubo antes de aplicá-lo. Para que houvesse os estalidos, foi necessário colocar o dedo bem próximo à extremidade da vara, e eles só ocorreram quando o dedo foi aproximado da extremidade não pontiaguda.

barras metálicas para que ocorra o fenômeno descrito pode variar de acordo com a eletrização do tubo e as peças de metal utilizadas.

Experimento 21.4

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Linha pendular de algodão
Suporte com base de gesso
Cartolina
Régua
Bola metálica
Barra metálica
Bases de isopor
Anteparo de papel-alumínio
Fita adesiva

Na página 22 do artigo original,⁸ item 4, é descrito um experimento em que um bastão de vidro eletrizado é aproximado e eletriza uma bola metálica isolada eletricamente. Para reproduzir esse experimento, utilizamos uma bola para engate de reboque de automóveis e bases de isopor. A bola foi comprada em uma loja de acessórios para automóveis e tem 5 cm de diâmetro (ver Figura 21.8).

A bola metálica foi fixada em uma base de isopor, na qual foi feito um furo para encaixar o parafuso da bola, como mostra a Figura 21.9. Para realizar o experimento, um tubo de PVC foi atritado com poliamida e aproximado da bola cerca de quatro ou cinco vezes. Dessa forma, houve a emissão de estalidos, e a bola metálica ficou eletrizada. Isso foi verificado com a aproximação de uma linha pendular de algodão, a qual foi atraída pela bola.

Em outro teste, aproximamos o dedo indicador da bola após ocorrerem os estalidos devidos à aplicação do tubo de PVC eletrizado. No primeiro teste, o tubo atritado foi aplicado cerca de quatro

8 Ver página 233 deste livro.

ou cinco vezes para que a bola ficasse mais eletrizada; então, ele foi afastado e o dedo foi aproximado da bola.



Figura 21.8 – Em detalhe, a bola metálica de 5 cm de diâmetro.



Figura 21.9 – Tubo de PVC atritado sendo aproximado da bola de metal fixada em uma base de isopor.

Nesse caso, algumas vezes houve um pequeno (isto é, baixo) estalido quando o dedo estava muito próximo à bola (isto é, a menos de 0,5 cm). No segundo teste, eletrizamos o tubo e o aproximamos da bola metálica, mantendo-o a cerca de 1 cm (ou um pouco menos) dela. Então, o dedo foi aproximado da bola pelo lado oposto ao tubo. Nesse caso houve um estalido mais forte (isto é, alto) e ele ocorreu com o dedo mais distante da bola do que no teste anterior.

Na página 22 do artigo original,⁹ item 5, é descrito um experimento em que uma barra metálica isolada eletricamente é colocada próxima a uma bola metálica também isolada e o tubo aplicado na extremidade da barra. Para a reprodução deste experimento, utilizamos a bola de metal do experimento anterior e uma barra de ferro de 50 cm, tal como ilustra a Figura 21.10.



Figura 21.10 – À esquerda está a bola metálica sobre uma base de isopor, e à direita uma barra de ferro sobre uma base de isopor. Embaixo da base de isopor que suporta a barra metálica há algumas peças de PVC apenas para ajustar a altura da barra.

Ao aproximar o tubo de PVC eletrizado da extremidade da barra metálica daquela oposta à que estava em frente da bola, cerca de quatro ou cinco vezes (na maioria das aproximações houve estalidos), a bola foi eletrizada. Isso foi verificado por meio da aproximação de uma linha pendular de algodão, a qual foi atraída pela bola. Esta apresentou eletrização tanto com a barra metálica posicionada como na Figura 21.10, quanto com a barra afastada daquela posição. Isso evidencia que, para as distâncias que utilizamos entre os objetos, cerca de 2 cm, houve descarga elétrica entre a bola e a barra. Dessa forma, a eletrização da esfera não foi apenas devido à indução elétrica gerada pela barra carregada. O experimento foi realizado tanto com a extremidade pontiaguda de frente para a bola, quanto com a extremidade não pontiaguda; ambas promoveram a eletri-

9 Ver página 233 deste livro.

zação da bola. No entanto, quando foi utilizada uma extremidade pontiaguda, a esfera ficou mais carregada eletricamente do que quando utilizamos a extremidade não pontiaguda. Para fazer essa verificação, utilizamos o aparato descrito na Figura 21.11.

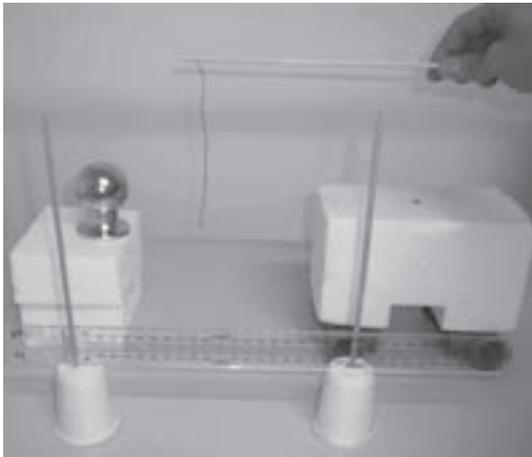


Figura 21.11 – À esquerda e ao fundo está a bola metálica sobre uma base de isopor; à direita e ao fundo, uma base de isopor para as barras de ferro. Na frente da figura há dois suportes com base de gesso e uma régua posicionada sobre eles. No alto da figura, uma linha de algodão presa a um palito de madeira segurado por uma mão.

A linha pendular de algodão era lentamente aproximada da bola, de tal forma que, no momento em que ela começava a ser atraída, parávamos o movimento e anotávamos a posição da régua em que ela estava. Fizemos esse teste algumas vezes; em todos eles a linha foi atraída a maior distância quando a esfera foi eletrizada pela extremidade pontiaguda. Cabe destacar que o referido instrumento utilizado para os testes tem limitações claras, mas o nosso intuito era ter uma ideia sobre a maior ou menor eletrização tendo em vista o tipo de extremidade da barra, a partir dos materiais que tínhamos disponíveis. Também é importante destacar que, ao eletrizar as bar-

ras, tomamos o cuidado de promover sempre o mesmo número de aproximações do tubo de PVC eletrizado, para tentar minimizar o fato de a eletrização da bola ser maior ou menor por causa da maior eletrização da barra. Tendo em vista esse resultado, é possível atribuir a maior eletrização da esfera a partir da barra com extremidade pontiaguda ao fenômeno do poder das pontas.

Gray também descreve outro experimento semelhante ao anterior, mas, em vez da bola, ele utiliza uma placa metálica em frente à barra metálica. Para a reconstrução deste experimento, utilizamos um anteparo de papel-alumínio, como ilustra a Figura 21.12.



Figura 21.12 – À esquerda está o anteparo de papel-alumínio sobre uma base de isopor, e à direita uma barra de ferro sobre uma base de isopor, a qual é formada por duas peças de isopor.

Para fazer o anteparo, recortamos um retângulo de cartolina de cerca de 20 cm por 12 cm; então, o encapamos com papel-alumínio e o fixamos por meio de fita adesiva em um suporte com base de gesso. É importante ressaltar que todos os materiais desse anteparo são condutores elétricos, por isso é fundamental que ele esteja sobre uma base isolante. Ao aproximar o tubo de PVC eletrizado da extremidade da barra metálica, daquela oposta à que estava em frente ao anteparo, cerca de quatro ou cinco vezes (na maioria das aproximações houve estalidos), o anteparo foi eletrizado. Isso foi verificado por meio da aproximação de uma linha pendular de algodão, a qual foi atraída pelo anteparo. Este apresentou eletriza-

ção tanto com a barra metálica posicionada como na Figura 21.12, quanto com a barra afastada daquela posição. Isso evidencia que, para as distâncias que utilizamos entre os objetos, cerca de 2 cm, houve descarga elétrica entre a barra e o anteparo. Dessa forma, a eletrização do anteparo não ocorreu por causa da indução elétrica gerada pela barra carregada. O experimento foi realizado tanto com a extremidade pontiaguda de frente para o anteparo, quanto com a extremidade não pontiaguda, sendo que ambas promoveram a eletrização do anteparo. No entanto, quando foi utilizada a extremidade pontiaguda, ele ficou mais carregado eletricamente do que quando utilizamos a extremidade não pontiaguda. Para fazer essa verificação, utilizamos o mesmo aparato e procedimento do experimento anterior.

22

EXPERIMENTOS DO ARTIGO 8¹

Neste capítulo, apresentaremos a reconstrução de alguns experimentos descritos por Gray que evidenciam a eletrização sem contato físico ou toque entre o objeto eletrizado (isto é, indutor) e aquele a ser eletrizado. Em geral, utilizamos como indutor um tubo de PVC eletrizado por meio de atrito com poliamida. Um fator relevante nos experimentos a seguir é que o corpo a ser eletrizado pelo indutor sempre estará isolado eletricamente, seja por meio de fios isolantes (isto é, de seda ou de poliamida), seja por meio de uma base de isopor. O isolamento dos corpos é condição *sine qua non* para que possamos evidenciar os fenômenos descritos.

Outro ponto importante é que o tubo eletrizado é sempre colocado próximo a uma das extremidades das varas de madeira e sem tocá-las. Como já dissemos, nesses experimentos a eletrização ocorre a partir da aproximação do indutor (isto é, o tubo eletrizado) sem que haja contato físico ou toque com o corpo isolado. Do ponto de vista da Física atual, isso ocorre porque, à medida que o tubo atritado é aproximado da extremidade de uma vara de madeira isolada eletricamente, a vara se polariza eletricamente; esse fenômeno é conhecido como *polarização* ou *indução elétrica*. A partir de uma certa

1 Gray (1735-6c, p. 166-170). Tradução no Capítulo 12 deste livro.

distância entre o tubo e o objeto, ocorre uma descarga elétrica entre eles, o que faz com que o objeto isolado fique carregado eletricamente, com carga líquida diferente de zero. Algumas vezes, em nossos experimentos, ao aproximarmos o tubo atritado da extremidade das varas, foi possível escutar estalidos, o que evidencia a ocorrência da descarga elétrica. Havendo estalidos ou não, é possível verificar a eletrização dos objetos isolados por meio da aproximação de uma linha pendular, como será feito nos experimentos a seguir.

No texto original (Gray, 1735-6c, p.166-170) são descritos alguns experimentos sobre a eletrização, por descarga elétrica, de varas de madeira suspensas ou apoiadas em materiais isolantes. Nesse artigo há relatos de que, ao aproximar um tubo de vidro eletrizado de uma vara de madeira isolada eletricamente, havia a emissão de luz (isto é, faíscas). Nos experimentos que realizamos, não foi possível obter a emissão de faíscas, apenas de estalidos. Isso pode estar relacionado com o quão eletrizado estava nosso tubo de PVC atritado com poliamida, de tal forma que a eletrização obtida não foi suficiente para evidenciar a emissão das faíscas. Descreveremos aqui dois experimentos envolvendo a eletrização de madeira.

Experimento 22.1 – Eletrização de uma vara de madeira isolada eletricamente

Materiais
Tubo de PVC Poliamida Suporte de madeira Vara de madeira Linha pendular de algodão Linha de seda

Na página 166 do texto original,² Gray descreve um experimento em que uma vara de madeira isolada eletricamente por meio de

2 Ver página 239 deste livro.

fios isolantes é eletrizada quando se aproxima um tubo de vidro carregado. Para a reconstrução deste experimento, suspendemos uma vara de madeira de 30 cm em fios isolantes (isto é, de seda ou de poliamida) fixados a um suporte de madeira com haste horizontal metálica, como ilustra a Figura 22.1.



Figura 22.1 – Suporte de madeira com haste horizontal de ferro e uma vara de madeira pendurada por meio de linhas de poliamida.

Para a realização do experimento, um tubo de PVC foi atritado com poliamida e aproximado de uma das extremidades da vara isolada. Com isso, algumas vezes ocorreram estalidos à medida que o tubo se aproximava. Esses estalidos não ocorriam em todas as aproximações do tubo atritado e, para que ocorressem, era necessário que o tubo estivesse bem eletrizado. Os estalidos indicam a ocorrência de descargas elétricas entre a madeira e o PVC eletrizado. A fim de testar a eletrização da vara, utilizamos uma linha pendular (isto é, linha condutora de algodão presa a um palito de madeira), a qual foi atraída pela vara, indicando que essa vara estava carregada eletricamente.

Experimento 22.2 – Eletrização de um anteparo de papel-alumínio a partir da eletrização de uma vara de madeira

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Vara de madeira
Suporte com base de gesso
Anteparo de madeira
Linha pendular de algodão
Linha de seda
Base de isopor
Papel-alumínio
Fita adesiva

Na página 169 do texto original³ é descrito um experimento em que um anteparo de madeira é eletrizado por uma vara de madeira isolada eletricamente e carregada pela aplicação de um tubo de vidro atritado. Para a reconstrução desse experimento, utilizamos uma base de isopor para isolar eletricamente a vara de madeira e um anteparo de madeira isolado também por meio de isopor, como ilustra a Figura 22.2.

O anteparo é uma colher de madeira cujo cabo foi cortado, conforme a Figura 22.3. Ao aproximar o tubo de PVC eletrizado da extremidade da vara de madeira daquela oposta à que estava em frente ao anteparo, cerca de quatro ou cinco vezes (em algumas aproximações houve estalidos), o anteparo foi eletrizado. Isso foi verificado por meio da aproximação de uma linha pendular de algodão, a qual foi atraída pelo anteparo. Este apresentou eletrização tanto com a vara de madeira posicionada como na Figura 22.2, quanto com a vara afastada daquela posição. Isso evidencia que, para as distâncias que utilizamos entre os objetos, cerca de 2 cm, houve descarga elétrica entre a vara e o anteparo. Dessa forma, a eletrização do anteparo não foi apenas por causa da indução elétrica gerada pela vara carregada.

3 Ver página 244 deste livro.

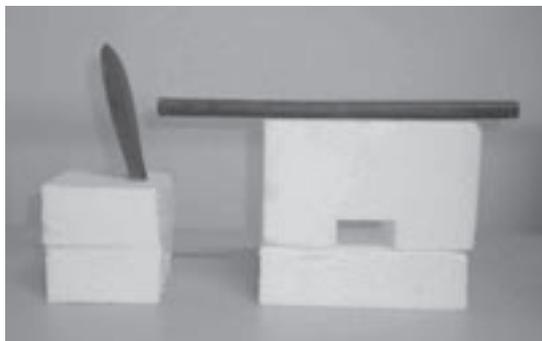


Figura 22.2 – À esquerda, há um anteparo de madeira sobre uma base de isopor; à direita, há uma vara de madeira sobre uma base de isopor.

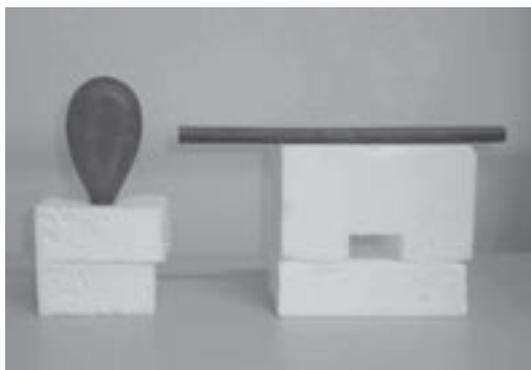


Figura 22.3 – À esquerda, a colher de madeira utilizada como anteparo no experimento sobre uma base de isopor; à direita, há uma vara de madeira sobre uma base de isopor.

Também realizamos o experimento com um anteparo de papel-alumínio, como ilustra a Figura 22.4. Para fazer o anteparo, recortamos um retângulo de cartolina de cerca de 20 cm por 12 cm. Então, o encapamos com papel-alumínio e o fixamos por meio de fita adesiva em um suporte com base de gesso. É importante ressaltar que todos os materiais desse anteparo são condutores elétricos, por isso, é fundamental que ele esteja sobre uma base isolante.

Além desse, também realizamos o experimento com a vara suspensa por meio de linhas isolantes de seda, como ilustra a Figura 22.5. Todos apresentaram os mesmos resultados quanto à eletrização dos materiais.



Figura 22.4 – À esquerda, há um anteparo de papel-alumínio sobre uma base de isopor; à direita, há uma vara de madeira sobre uma base de isopor.



Figura 22.5 – À esquerda, há um anteparo de papel-alumínio sobre uma base de isopor; à direita, há uma vara de madeira suspensa por linhas de seda fixadas na haste horizontal de um suporte de madeira.

23

EXPERIMENTOS DO ARTIGO 10¹

Neste capítulo, apresentaremos a reconstrução de um experimento que Gray comenta e descreve nos artigos 9 e 10 (Gray, 1735-6d, p.220; Ibid., 1735-6a, p.400-3). Esse experimento consiste em fazer uma bolinha de cortiça, presa a uma linha de seda, orbitar em torno de uma esfera condutora colocada sobre uma base isolante eletrizada. Neste experimento, tanto a base isolante quanto a esfera e a cortiça estão eletrizadas com cargas de mesma natureza. Sendo assim, a interação elétrica entre a esfera e a cortiça é *repulsiva*. Chamamos a atenção para o fato de a linha que sustenta o pedaço de cortiça ser de material isolante. Isso é fundamental para que seja possível manter a bolinha de cortiça eletrizada depois que ela adquire alguma carga.

Experimento 23.1

Materiais
Tubo de PVC
Poliamida
Linha de seda
Bolinha de cortiça
Base de PVC
Esferas diversas

1 Gray (1735-6d, p. 220; 1735-6a, p. 400-403). Tradução no Capítulo 14 deste livro.

Para a reconstrução do experimento, utilizamos esferas de tamanhos e materiais diversos, como madeira, vidro, metal e cerâmica. Como base isolante utilizamos uma peça de PVC de 15 cm de diâmetro.² Cortamos um pedaço de cortiça do tamanho aproximado da cabeça de um alfinete e aparamos as pontas, com o objetivo de deixá-lo o mais arredondado possível.³ A bolinha de cortiça foi presa a uma linha de seda isolante. O aparato utilizado pode ser visto nas Figuras 23.1 e 23.2.



Figura 23.1 – No alto da figura, uma mão segura a linha de seda, em cuja extremidade inferior está presa uma bolinha de cortiça. A cortiça gira, no plano equatorial, ao redor de uma esfera eletrizada de madeira colocada sobre uma base de PVC atritada.

Para realizar o experimento, inicialmente a base de PVC foi atritada com poliamida, para que ficasse o mais eletrizada possível. Então, uma esfera condutora é colocada no centro da base eletrizada. Em nossos experimentos, a base eletrizada não deixava a esfera suficientemente carregada para a realização do experimento. Por isso, após colocá-la sobre a base, ela era eletrizada aproximando um tubo de PVC atritado com poliamida. Dessa forma, a esfera adquiria car-

-
- 2 Aquelas utilizadas para tampar canos de PVC e cujo nome é CAP. Em geral, elas são vendidas em lojas de material para construção.
 - 3 As pontas foram aparadas para tentarmos manter o objeto mais tempo eletrizado, diminuindo a perda de carga elétrica do pedacinho de cortiça para o ambiente, por causa do fenômeno conhecido como *poder das pontas*.

ga elétrica de mesma natureza que a da base. Em seguida, a bolinha de cortiça presa à linha de seda de cerca de 15 cm era aproximada da esfera eletrizada, pela lateral ou pela vertical que passava junto ao lado da esfera.



Figura 23.2 – Em detalhe, bolinha de cortiça flutuando em torno da esfera de madeira.

Em ambos os casos, após a cortiça tocar a esfera eletrizada, era preciso movimentar a mão que segurava a linha até aproximar-se da vertical que passava pelo centro da esfera. Ao tocar a esfera, a bolinha de cortiça se eletrizava e era repelida pela esfera. Dessa forma, ganhava movimento e circulava em torno da esfera, em seu plano equatorial. Outra maneira de fazer o experimento é eletrizando a cortiça por meio do contato com o tubo de PVC atritado, antes de aproximá-la da esfera. Nesse caso, a cortiça também era aproximada da esfera pela vertical que passa pelo seu centro.⁴

É importante destacar que só foi possível ver a cortiça girar em torno da esfera eletrizada quando a linha de seda era segurada pela

4 Tendo em vista que não é possível fotografar esse fenômeno, fizemos um vídeo sobre ele, o qual pode ser acessado no endereço: <www.youtube.com/watch?v=RtWRVr-1A1U> (Boss et al., 2011b). A bolinha de cortiça está presa a uma linha de seda, orbitando ao redor de uma esfera condutora eletrizada que está sobre uma base isolante eletrizada.

mão. Quando a linha estava presa a um suporte fixo, não houve movimento circular. Isso evidencia que o movimento de rotação da cortiça está atrelado aos pequenos movimentos da mão, sejam eles involuntários ou não. Em nossos testes ficou evidente para nós que o giro da cortiça ocorria devido aos pequenos movimentos da mão que segurava a linha.

Em geral, a cortiça dava uma volta ou menos de uma volta ao redor da esfera. Poucas vezes foi possível ver duas voltas completas. Procurávamos deixar a mão que segurava a linha de seda próxima à vertical que cruza o centro da esfera. Não percebemos qualquer padrão quanto ao sentido de giro (isto é, horário ou anti-horário) da bolinha de cortiça. Esse sentido de giro pareceu-nos ser aleatório e dependente de alguma condição inicial, como o movimento da mão ou do ar, a posição da mão, a forma como a cortiça tocava a esfera ou como ela era aproximada da esfera (no caso de a cortiça já estar eletrizada) etc. Além disso, não percebemos qualquer regularidade quanto à velocidade da cortiça com relação ao apogeu ou perigeu. Ou seja, ela poderia deslocar-se ao redor da esfera com velocidade maior no apogeu do que no perigeu, ou com velocidade menor no apogeu do que no perigeu, ou ainda com a mesma velocidade nesses dois locais. Algumas vezes, foi possível ver uma diferença de velocidade enquanto ela executava o giro, mas isso nos pareceu, também, estar relacionado a alguma condição inicial do sistema. Além disso, a cortiça cessava o movimento, em geral, no máximo com uma volta completa. Portanto, é natural que na fase final do circuito descrito por ela sua velocidade seja menor. Cabe ressaltar que em parte das aproximações da cortiça não houve movimento em torno da esfera eletrizada. Também é importante destacar que a distância entre a cortiça e a esfera, quando há repulsão entre elas, varia de acordo com quão eletrizadas estão as peças.

As esferas utilizadas foram adquiridas de formas variadas. Das esferas de madeira, três delas foram encomendadas a um marceneiro que faz peças de madeira redondas em um torno mecânico; as outras duas foram adquiridas em uma loja especializada no comércio de brinquedos de madeira. Pedimos ao marceneiro que fi-

zesse duas esferas nas medidas citadas por Gray em seu artigo, ou seja, uma esfera com 1 polegada (2,54 cm) e outra com 1,5 polegada (3,75 cm) de diâmetro; pedimos que a terceira tivesse 6 cm de diâmetro. As duas esferas compradas na loja de brinquedos de madeira tinham 2 polegadas (5 cm) de diâmetro. Das esferas de vidro, duas são bolinhas de gude adquiridas em loja de variedades; uma delas tem quase 2 cm de diâmetro e a outra, 3 cm de diâmetro. A terceira esfera de vidro foi comprada em uma loja de decoração para residências e tinha cerca de 8 cm de diâmetro. Nessa mesma loja foi comprada a esfera de cerâmica, cujo diâmetro era cerca de 10 cm. Como esfera de ferro, utilizamos uma bola para engate de reboque de automóveis, de 5 cm de diâmetro, que foi adquirida em um loja para acessórios de automóveis. Também adquirimos uma segunda esfera de metal com cerca de 5 cm de diâmetro, a qual foi retirada de um haltere para musculação. As bolinhas de gude e as esferas de madeira são mostradas na Figura 23.3.



(a) Bolinhas de gude.



(b) Esferas de madeira.

Figura 23.3 – Bolinhas de gude e esferas de madeira utilizadas no experimento.

Cabe destacar que realizamos o experimento com todas as esferas, e com todas elas foi possível obter os resultados. No entanto, algumas eletrizam com mais facilidade do que as outras; quanto mais eletrizada está a esfera, mais fácil é realizar o experimento. Tendo em vista a relação custo-benefício, as esferas mais indicadas, pelo menos em nossos testes, são as bolinhas de gude, pois elas são fáceis de encontrar e eletrizam o suficiente para a realização do experimento.

PARTE V
CONCLUSÃO

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escassez de material histórico de qualidade para a educação científica é um problema bem documentado na literatura da área de ensino de Ciências, em especial no que se refere à falta de traduções de fontes primárias.¹ Nesse contexto, há também uma discussão quanto à acessibilidade do material traduzido para professores e alunos. Ou seja, não basta que sejam produzidos materiais de qualidade; é preciso que seu conteúdo seja acessível.² Diante disso, levantamos duas questões: 1) Quais elementos podem ser inseridos em uma tradução de fonte primária, a fim de ampliar seu acesso para professores e alunos? 2) Como tais elementos podem ampliar o acesso às traduções de fontes primárias?

Entendemos que traduções de fontes primárias podem ter seu acesso ampliado se fizerem parte de um material mais amplo que contenha elementos como comentários em forma de notas, figuras, sugestões de experimentos históricos com material de baixo custo, uma breve biografia do autor do texto, uma linha do tempo e algumas informações introdutórias. Esses elementos são recursos didáticos que podem dar ao leitor maior condição de compreender

1 Para mais detalhes, ver Bueno (2009), Martins (2006), Montenegro (2005) e Galdabini e Rossi (1993).

2 Para mais detalhes, ver Bastos (2009).

aquilo que está lendo, na medida em que disponibilizam informações que não estão no texto original e que são fundamentais para seu entendimento.

Diante do exposto, este livro tem como resultado final um material de história da Ciência, voltado para a educação científica, que não só disponibiliza traduções dos dez textos de Stephen Gray que versam sobre a temática eletricidade, mas permite maior acesso de professores e alunos ao conteúdo desses textos traduzidos. Buscamos propor, discutir e elaborar recursos didáticos para serem inseridos nas traduções, tendo em vista promover a maior acessibilidade de seu conteúdo para docentes e aprendizes. A partir da elaboração desse material, procuramos contribuir para a diminuição da escassez de material histórico adequado para a educação científica, um problema sério que pode colocar em xeque a aproximação entre história da ciência e ensino de Ciências. Além disso, este livro contribui para a discussão sobre a acessibilidade de material histórico para a educação científica, ponto que entendemos como essencial quando se pensa no sucesso daquela aproximação.

O material que produzimos é composto por traduções de textos de fonte primária escritos no início do século XVIII por Stephen Gray. Junto com as traduções, foram inseridos comentários em forma de notas de rodapé, sendo estes de dois tipos. Um traz informações sobre a época em que os textos foram escritos, buscando contribuir para a análise diacrônica dos fatos e ideias. O outro tipo traz discussões sobre os experimentos e fenômenos descritos nos textos a partir da Física que está colocada em nossos livros-texto. Essas discussões visam ajudar a refletir sobre os conceitos físicos que são objeto de ensino nas escolas.³

Todos os comentários apresentados no material foram feitos por nós, uma vez que os originais não têm esse elemento. Os textos traduzidos passaram a contar com uma série de figuras, sendo que a maior parte delas foi feita por nós, em um software específico. Algumas ilustrações foram adquiridas em fontes secundárias. Todas

3 Para mais discussão sobre *anacronismo* e *diacronismo*, ver Kragh (2001).

as figuras presentes nas traduções foram inseridas por nós, uma vez que os originais não trazem ilustrações.

Neste livro, disponibilizamos para os leitores um conteúdo que explica como reproduzir um conjunto de experimentos históricos feitos com material de baixo custo, referentes a experimentos descritos por Gray. Apesar de esses experimentos serem feitos com materiais diferentes dos originais, guardam importantes características, princípios físicos e fenômenos fundamentais em relação àqueles descritos nos textos (Chang, 2011; Medeiros; Monteiro Jr., 2001). A opção pelo material de baixo custo deve-se à sua maior acessibilidade e possibilidade de aplicação em sala de aula.⁴ Os comentários em forma de notas e as figuras estão disponíveis para o leitor no próprio texto. Já os experimentos históricos feitos com material de baixo custo foram colocados em capítulos separados, e são correspondentes a cada artigo traduzido.

Também elaboramos uma breve biografia sobre Gray e um conjunto de informações introdutórias. A partir desses recursos, é possível disponibilizar informações gerais sobre a vida do autor e o período em que viveu, sobre o contexto científico e elementos conceituais da época. Tais informações podem ser relevantes para uma análise diacrônica dos fatos e das ideias. As informações introdutórias foram disponibilizadas no Capítulo 4, elaborado especificamente para a discussão de elementos dos textos que devem ficar claros previamente para o leitor, a fim de que ele tenha melhores condições de entender o conteúdo das traduções.

Ainda com relação aos recursos produzidos para a elaboração do material histórico, cabe destacar que alguns desses elementos foram anacronizados. Se partirmos da acepção do termo expressa nos dicionários, isto é, atribuir a uma época elementos que não lhe são peculiares, perceberemos que algumas das figuras que fizemos apresentam informações que não são próprias do início do século XVIII. Como já apontamos, os sinais de “+” e/ou “-” representando cargas elétricas de naturezas distintas foram idealizados

4 Para mais detalhes, ver Metz e Stinner (2006).

posteriormente aos trabalhos de Gray. Dessa forma, as figuras são representações dos experimentos e dos fenômenos descritos nos textos, mas as cargas ilustradas são sempre um auxílio para as discussões dos fenômenos feitas a partir da “teoria atual” da Física. Vale ressaltar que as figuras representam nossas interpretações dos experimentos descritos nos textos. Os experimentos com material de baixo custo também são anacronizados, pois muitos dos materiais que utilizamos, como os canudos de plástico, o tubo de PVC, a poliamida, entre outros, não são peculiares ao tempo em que Gray escreveu seus artigos. Da mesma forma, as notas que apresentam discussões dos fenômenos a partir das ideias presentes nos livros-texto de hoje são elementos anacronizados, uma vez que se fundamentam em conhecimentos de momentos posteriores à época dos textos traduzidos aqui.

Essas notas não se enquadram na definição usual do conceito de *anacronismo* presente na historiografia da ciência, isto é, de “estudar o passado com os olhos do presente”, ignorando o contexto da época, promovendo uma análise descontextualizada que traz sérias distorções para a interpretação dos fatos. Muitas vezes, faz-se uma análise preconceituosa, “selecionando e enaltecendo conceitos”, teorias e cientistas em detrimento de outros fatores que são ignorados ou ridicularizados (Martins, 2005, p.314; Forato et al., 2009). Sem dúvida alguma, esse tipo de análise não traz qualquer contribuição para a educação científica. Ressaltamos que o nosso objetivo, ao fazer análises conceituais a partir das ideias presentes nos livros-texto de hoje, não é tecer qualquer crítica ou fazer julgamentos descontextualizados, mas sim fazer um exercício de reflexão sobre os fenômenos reportados por Gray, a partir da Física atual, buscando com isso uma melhor compreensão dos conceitos que estão nos nossos livros-texto.⁵

Durante a elaboração deste livro, nós nos deparamos com algumas dificuldades que julgamos pertinente reportar nestas considerações finais. Com relação à tradução, houve uma dificuldade em

5 Para mais detalhes sobre essa abordagem, consultar Kragh (2001).

razão da escrita da época. Por exemplo, palavras que tiveram a grafia alterada; a fonte em que os textos foram impressos, que muitas vezes gera confusão entre algumas letras (como o “s” e o “f”, por exemplo), principalmente para o leitor iniciante; a pontuação dos textos, que às vezes dificulta o entendimento dos relatos; o estilo de escrita, que difere daquele a que estamos acostumados. O primeiro texto, em especial, trouxe uma dificuldade maior, porque nele não há pontuação, o que torna o processo de tradução bastante laborioso. Com relação à construção das figuras, cabe destacar que, para elaborar muitas delas, foi preciso um trabalho minucioso de estudo, análise e interpretação das descrições. Muitas vezes não foi possível entender a conformação dos instrumentos e experimentos apenas com base na leitura imediata das descrições presentes nos textos. Em algumas situações, fomos auxiliados por conhecimentos que já havíamos adquirido com o estudo do próprio trabalho de Gray, em momentos anteriores à redação deste livro. No que tange aos experimentos históricos com material de baixo custo, destacamos duas dificuldades: 1) na obtenção dos fenômenos descritos; 2) na aquisição de alguns materiais para a construção dos experimentos.

Alguns fenômenos descritos por Gray não foram obtidos com os experimentos que realizamos; um exemplo disso é a luz que os textos reportam aparecer quando o tubo de vidro eletrizado era aproximado de alguns objetos. Ao que nos parece, a eletrização obtida com o tipo de vidro utilizado por Gray e por seus contemporâneos, como Hauksbee e Du Fay, era bem mais intensa do que aquela que obtemos com o tubo de PVC atritado com poliamida – assim, o efeito luminoso reportado por Gray e por outros pesquisadores daquele período só seria possível a partir de um objeto que estivesse bem mais eletrizado do que o tubo de PVC. Durante todo o período em que elaboramos este livro, procuramos materiais que pudessem apresentar maior eletrização do que o PVC, mas não foi possível encontrar nenhum. O fato de não conseguirmos chegar aos fenômenos descritos não coloca em xeque o trabalho de Gray, mas ilustra algumas limitações inerentes ao material que utilizamos. Na Seção 4.5 foram discutidas outras dificuldades relacionadas com a

comparação entre os fenômenos obtidos por Gray com os vidros de sua época e aqueles obtidos atualmente com os vidros comuns encontrados nas residências ou no comércio.

Com relação à dificuldade enfrentada para encontrar alguns materiais, destacamos o caso da linha de seda. Pequenos carretéis dessa linha são facilmente encontrados em algumas cidades, em lojas de material de costura. No entanto, inexistem em outras cidades, fato que vivenciamos ao longo da elaboração deste livro. Da mesma forma, não foi fácil encontrar esferas de madeira para realizar os experimentos do Artigo 10, traduzido por nós no Capítulo 14 desta obra, as quais só foram obtidas porque contamos com a colaboração de dois amigos que se dispuseram a procurá-las e conseguiram adquiri-las para nós.

É interessante fazer alguns comentários sobre a aproximação entre a história da ciência e o ensino de Ciências. Nos últimos anos, essa aproximação tem ganhado destaque na educação em Ciências, tendo em vista as contribuições que pode trazer para a alfabetização científica e para a formação do cidadão crítico e atuante na sociedade.⁶ Considerando esse cenário, apresentamos três desafios elencados por Freire Jr. (2002, p.24-7). O primeiro deles diz respeito à eficácia dos aspectos históricos na educação em Ciências, sendo destacado que na abordagem histórica é preciso atentar para a importância dos conteúdos da ciência. O segundo desafio discute o problema da pequena quantidade de pesquisas empíricas a respeito da aplicação em sala de aula de propostas metodológicas organizadas a partir da abordagem histórica. O terceiro propõe uma discussão acerca de qual é a história da ciência que interessa para a educação em Ciências.

Entendemos que a história da ciência pode contribuir de forma bastante importante para a compreensão dos conceitos científicos. A compreensão plena de alguns desses conceitos (ou seja, um entendimento real que não se limite a uma resolução algorítmica de contas) seria bastante facilitada – e talvez só assim seja possível –

6 Para mais detalhes, ver Matthews (1994, 1995).

se o processo de ensino-aprendizagem fosse realizado a partir da análise conceitual por meio do estudo histórico. Caso contrário, estamos fadados a permanecer nesse processo de ensino-aprendizagem que permite aos alunos, no máximo, a aprendizagem por memorização. A Física não é trivial, como muito bem argumenta a professora Penha Dias (2001, p.226-7). Compreender esse corpo de conhecimento organizado, articulado e complexo não é uma tarefa fácil, apesar de muitos dos professores não terem isso em mente na sua prática docente diária.⁷

De outro lado, a história da ciência poderia servir de substrato para uma reflexão sobre a Física que temos em nossos livros-texto atuais, a partir de fenômenos físicos descritos em textos antigos.⁸ A história da ciência fornece-nos inúmeros fenômenos que permitem uma reflexão sobre os “conceitos atuais” em situações bastante diversificadas e que não são assépticas como aquelas disponibilizadas pelos livros-texto, cujo objetivo, em geral, é de ensinar o aluno a operar um algoritmo de resolução de problemas.

Com relação às pesquisas que envolvem história da ciência e educação científica, entendemos ser fundamental que haja mais estudos empíricos em sala de aula. Isso é indispensável se quisermos pensar em uma abordagem histórica que contribua, de fato, para a alfabetização científica. Essas pesquisas revelam parâmetros importantes que devem ser considerados para uma efetiva e profícua aproximação entre história da ciência e ensino de Ciências. Um exemplo disso foi a pesquisa de mestrado de um dos autores deste livro (Boss, 2009). Após um semestre de discussões de traduções de fontes primárias em sala de aula, em uma disciplina de graduação em Física, ficou evidente para nós que esse tipo de texto deve fazer parte de um material mais amplo que contemple outros elementos para que possa ser acessível a professores e alunos. Ou seja, foi a pesquisa empírica que nos fez perceber a importância de pensar em recursos didáticos para serem disponibilizados com as traduções.

7 Para mais detalhes, ver Robilotta (1988) e Danhoni Neves (1998).

8 Para mais detalhes, ver Kragh (2001).

Com relação a qual história da ciência deve fazer parte da educação científica, a resposta pode ser dividida em duas partes. Primeiro, as pesquisas têm mostrado que tanto a abordagem internalista quanto a externalista têm potencial para trazer contribuições significativas para o ensino de Ciências em qualquer nível.⁹ Portanto, é preciso pensar na educação em Ciências fundamentada em ambas as abordagens. Em segundo lugar, independentemente da abordagem, é preciso que os materiais históricos sejam de qualidade,¹⁰ além de acessíveis. Para que seja minimamente qualificado, um material deve ser elaborado de modo a evitar ao máximo aqueles quatro problemas discutidos pela professora Lilian Martins (2005), isto é: 1) história da ciência puramente descritiva; 2) interpretação anacrônica da História, isto é, descontextualizada, que ignora o contexto da época, preconceituosa, seletiva etc.; 3) utilização ideológica da história da ciência; 4) o “apudismo”. Nesse mesmo sentido, o professor Roberto Martins (2001) destaca erros bastante comuns presentes em trabalhos sobre história da ciência e aponta requisitos necessários para um pesquisador sério nessa área. Não restam dúvidas de que se o material histórico disponível para a educação em Ciências não for de qualidade, tendo em vista o que foi discutido aqui, a abordagem histórica prestará um desserviço para a educação científica, sendo inclusive nociva a ela.

9 Para mais detalhes, ver Freire Jr. (2002).

10 Para mais detalhes, ver Martins (2006).

REFERÊNCIAS

- ASSIS, A. K. T. *Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca*. Montreal: Apeiron, 2008. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Arquimedes.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2012
- _____. *Os fundamentos experimentais e históricos da eletricidade*. Montreal: Apeiron, 2010. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Eletricidade.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2012
- BASTOS, F. História da Ciência e pesquisa em ensino de ciências: breves considerações. In: NARDI, R. (Org.). *Questões atuais no ensino de ciências*. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2009. p. 49-58.
- BLONDEL, C.; WOLFF, B. *Teinturiers et tubes de verre*: Gray et Dufay, 2005. Disponível em: <www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique>. Acesso em: 10 fev. 2012
- BORVON, G. *Pourquoi deux espèces d'électricité? Pourquoi deux sens du courant électrique? L'histoire de l'électricité nous aide à comprendre*. Disponível em: <<http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/ agora/recherchesdidactiques/borvon1/index.php>>. Acesso em: 10 fev. 2012
- BOSS, S. L. B. *Ensino de eletrostática: a história da ciência contribuindo para a aquisição de subsunçores*. Bauru, 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista.
- _____. *Tradução comentada de artigos de Stephen Gray (1666-1736) e reprodução de experimentos históricos com materiais aces-*

- síveis: subsídios para o ensino do eletricidade*. Bauru, 2011. 349 p. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências Universidade Estadual Paulista.
- _____; CALUZI, J. J. Os conceitos de eletricidade vítrea e eletricidade resinosa segundo Du Fay. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 4, p.635-644, 2007.
- _____. Uma breve biografia de Stephen Gray (1666-1736). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 32, n. 1, p.1602, 2010.
- BOSS, S. L. B.; ASSIS, A. K. T.; CALUZI, J. J. *Stephen Gray: monzinho de água*. 2011. Vídeo (19 s). Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=wh77Vzw-24s>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- _____. *Stephen Gray: revolução de pequenos corpos*. 2011. Vídeo (15 s). Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=RtWRVr-1A1U>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- BOSSA, T. H. S. et al. Estudo da condutividade elétrica de vidros de isoladores de linhas de transmissão HVDC dopados. In: CONGRESSO DA ACADEMIA TRINACIONAL DE CIÊNCIAS, II, 2007, Foz do Iguaçu/PR. *Anais eletrônicos...* Foz do Iguaçu/PR, 2007.
- BOYLE, R. *The philosophical works of the Honourable Robert Boyle Esq: abridged, methodized, and disposed under the general heads of physics, statics, pneumatics, natural history, chemistry, and medicine*. SHAW, p.(Ed.) Londres: W. and J. Innys, 1725. Disponível em: <books.google.com/books?id=YYJAAAAMAAJ>. Acesso em: 24 fev. 2011.
- _____. Experiments and notes about the mechanical origin or production of electricity. In: HUNTER, M.; DAVIS, E. B. (Eds.). *The works of Robert Boyle*. Londres: Pickering & Chatto, 2000. p.509-523. v. 8. (Trabalho publicado originalmente em 1675.)
- BUENO, M. C. F. *Os textos originais para ensinar conceitos de mecânica*. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) — Universidade de São Paulo – Instituto de Física, São Paulo, 2009.
- CALUZI, J. J. et al. Otto de Guericke: experiências com um globo de enxofre. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE HISTÓRIA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA, 12, 2010, Salvador.

- Anais eletrônicos...* Salvador: Sociedade Brasileira de História da Ciência, 2010.
- CANBY, E. T. *História da eletricidade*. Tradução de: Helena Paes. Lausanne: Livraria Morais, 1966.
- CARVALHO, A. M. P. *Física: proposta para um ensino construtivista*. São Paulo: EPU, 1989.
- CHAIB, J. p.M. C.; ASSIS, A. K. T. Experiência de Oersted em sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p.41-51, 2007.
- CHANG, H. How historical experiments can improve scientific knowledge and science education: the cases of boiling water and electrochemistry. *Science & Education*, v. 20, n. 3-4, p.317-41, 2011.
- CHIPMAN, R. A. An unpublished letter of Stephen Gray on electrical experiments, 1707-1708. *Isis*, v. 45, n. 1, p.33-40, 1954.
- _____. The manuscript letters of Stephen Gray, F.R.S. (1666-07-1736). *Isis*, v. 49, n. 4, p.414-433, 1958.
- CLARK, D. H.; CLARK, S. P. H. *Newton's tyranny: the suppressed scientific discoveries of Stephen Gray and John Flamsteed*. Nova York: Freeman and Company, 2000.
- CLARK, D. H.; MURDIN, L. The enigma of Stephen Gray astronomer and scientist (1666-1736). *Vistas in Astronomy*, v. 23, p.351-404, 1979.
- COHEN, I. B. Neglected sources for the life of Stephen Gray (1666 or 1667-1736). *Isis*, v. 45, n. 1, p.41-50, 1954.
- _____. *Franklin and Newton – an inquiry into speculative Newtonian experimental science and Franklin's work in electricity as an example thereof*. Cambridge: Harvard University Press, 1966.
- COURTNEY, W. P. Stephen Gray, F. R. S. *Notes and Queries*, v. 6, p.161-163 e 354, 1906.
- DANHONI NEVES, M. C. A história da ciência no ensino de física. *Ciência & Educação*, v. 5, n. 1, p. 73-81, 1998.
- DIAS, p.M. C. (Im)Pertinência da história ao aprendizado da Física (um estudo de caso). *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 2, p.226-235, 2001.
- DOPPELMAYR, J. G. *Neu-entdeckte Phaenomena von bewunderswürdigen Wirkungen der Natur*. Nurenburg: [s.n.], 1774.

- DU FAY, C. F. C. Quatrième mémoire sur l'électricité. De l'attraction et répulsion des corps électriques. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p.457-476, 1733.
- _____. A letter from Mons. Du Fay, F.R.S. and of the Royal Academy of Sciences at Paris, to his Grace Charles Duke of Richmond and Lenox, concerning electricity. Translated from the French by T.S. MD. *Philosophical Transactions*, v. 38, n. 431, p.258-266, 1733-4.
- _____. Cinquième mémoire sur l'électricité: Où l'on rend compte des nouvelles découvertes sur cette matière, faites depuis peu par M. Gray; et où l'on examine quelles sont les circonstances qui peuvent apporter quelque changement à l'électricité pour l'augmentation ou la diminution de sa force, comme la température de l'air, le vuide, l'air comprimé, etc. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p.341-361, 1734.
- _____. Huitième mémoire sur l'électricité. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, p.307-325, 1737.
- EDDY, J. A. The maunder minimum. *Science*, v. 192, n. 4245, p.1189-1202, 1976.
- EFFLUVIUM. In: ENCYCLOPAEDIA; OR, A DICTIONARY OF ARTS, SCIENCES, AND MISCELLANEOUS LITERATURE. Filadélfia: Thomas Dobson, 1798. v. 6, p.365.
- ELECTRICITY. In: ENCYCLOPAEDIA; OR, A DICTIONARY OF ARTS, SCIENCES, AND MISCELLANEOUS LITERATURE. Filadélfia: Thomas Dobson, 1798. v. 6, p.418.
- FERRAZ NETTO, L. *Eletreto – (O “ímã” da eletrostática)*. 1994. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala11/11_T02.asp>. Acesso em: 7 abr. 2013.
- FERREIRA, N. C. O versorium. In: FERREIRA, N. C. (Org.). *Ciência hoje na escola: eletricidade*. v. 12. São Paulo: Global SBPC, 2001.
- FERREIRA, N.; MAURY, J.-P. *Plus et Moins, les Charges Électriques. Qu'est-ce que c'est?* Paris: Ophrys, 1991.
- FIGUIER, L. G. *Ler Merveilles de la Science ou Description Populaire des Inventions Modernes*. Paris: Jouvett et Cie., 1867.
- _____. *Les Merveilles de l'Électricité*. Paris: Association pour l'Histoire de l'Électricité en France, 1985. (Textes choisis présentés par Fabienne Cardot.)

- FORATO, T. C. M. et al. Prescrições historiográficas e saberes escolares: alguns desafios e riscos. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA, VII, 2009, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* Florianópolis: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009.
- FREIRE JR., O. A relevância da Filosofia e da História da Ciências para a formação dos professores de Ciências. In: SILVA FILHO, W. J. (Org.). *Epistemologia e ensino de Ciências*. Salvador: Arcádia, 2002, p.13-30.
- GALDABINI, S.; ROSSI, O. Using historical papers in ordinary physics teaching at high school. *Science & Education*, v. 2, n. 3, p.239-242, 1993.
- GASPAR, A. *Experiências de ciências para o Ensino Fundamental*. São Paulo: Ática, 2005.
- GAUDENZI, G.; SATOLLI, R. *Jean-Paul Marat: Scienziato e Rivoluzionario*. Milano: Mursia, 1989.
- GRAY, S. An account of some new electrical experiments. *Philosophical Transactions*, v. 31, n. 366, p.104-107, 1720-1.
- _____. A letter concerning the electricity of water, from Mr. Stephen Gray to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. *Philosophical Transactions*, v. 37, n. 422, p.227-230 e 260, 1731-2.
- _____. A letter from Mr. Stephen Gray to Dr. Mortimer, Secr. R.S. containing a farther account of his experiments concerning electricity. *Philosophical Transactions*, v. 37, n. 423, p.285-291, 1731-2.
- _____. A letter to Cromwell Mortimer, M.D. Secr. R.S. containing several experiments concerning electricity. *Philosophical Transactions*, v. 37, n. 417, p.18-44, 1731-2.
- _____. Two letters from Mr. Stephen Gray, F.R.S. to C. Mortimer, M.D. Secr. R.S. containing farther accounts of his experiments concerning electricity. *Philosophical Transactions*, v. 37, n. 426, p.397-407, 1731-2.
- _____. An account of some electrical experiments intended to be communicated to the Royal Society by Mr. Stephen Gray, F.R.S. taken from his mouth by Cromwell Mortimer, M.D. R.S. Secr. on Feb. 14, 1735-6. Being the day before he died. *Philosophical Transactions*, v. 39, n. 444, p.400-403, 1735-6.

- _____. Experiments and observations upon the light that is produced by communicating electrical attraction to animal or inanimate bodies, together with some of its most surprising effects; communicated in a letter from Mr. Stephen Gray, F.R.S. to Cromwell Mortimer, M.D. R.S. Secr. *Philosophical Transactions*, v. 39, n. 436, p.16-24, 1735-6.
- _____. A letter from Stephen Gray, F.R.S. to Dr. Mortimer, Secr. R.S. containing some experiments relating to electricity. *Philosophical Transactions*, v. 39, n. 439, p.166-170, 1735-6.
- _____. Mr. Stephen Gray, F.R.S. his last letter to Granville Wheler, Esq.; F.R.S. concerning the revolutions which small pendulous bodies will, by electricity, make round larger ones from west to east as the planets do round the sun. *Philosophical Transactions*, v. 39, n. 441, p.220, 1735-6.
- GUERICKE, O. *Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio*. [S.l.]: Joannem Janssonium, 1672. Disponível em: <http://books.google.com/books?id=ZJU_AAAAcAAJ>. Acesso em: 6 mar. 2011.
- GUERLAC, H. Hauksbee, Francis. In: GILLISPIE, C. C. (Ed.). *Dictionary of Scientific Biography*, v. 6, New York: Charles Scribner's Sons, 1981, p.169-175.
- GUTMANN, F. The electret. *Reviews of Modern Physics*, v. 20, n. 3, p.457-472, 1948.
- HALLIDAY, D. et al. *Fundamentos de Física 2: Gravitação, ondas e termodinâmica*. Tradução de: Amy Bello B. de Oliveira et al. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- HAUKSBEE, F. An account of an experiment made before the Royal Society at Gresham-Colledge, touching the extraordinary elisticity of glass, produceable on a smart attrition of it; with a continuation of experiments on the same subject, and other phenomena. *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 308, p.2327-2335, 1706-7.
- _____. An account of an experiment made before the Royal Society, touching the proportion of the weight of air, to the weight of a like bulk of water, without knowing the quantity of either. *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 305, p.2221-2222, 1706-7.
- _____. An account of an experiment, touching the quantity of air produced from a certain quantity of gunpowder fired in

- common air. *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 311, p.2409-2411, 1706-7.
- _____. An experiment made at Gresham-College, shewing that the seemingly spontaneous ascension of water in small tubes open at both ends is the same in vacuo as in the open air. *Philosophical Transactions*, v. 25, n. 305, p.2223-2224, 1706-7.
- _____. An account of some experiments, touching the electricity and light producible on the attrition of several bodies. *Philosophical Transactions*, v. 26, n. 315, p.87-92, 1708-9.
- _____. An account of the repetition of an experiment touching motion given bodies included in a glass, by the approach of a finger near its outside: with other experiments on the effluvia of glass. *Philosophical Transactions*, v. 26, n. 315, p.82-86, 1708-9.
- _____. *Physico-mechanical experiments on various subjects*. Containing an account of several surprizing phenomena touching light and electricity, producible on the attrition of bodies. Londres: R. Brugis, 1709.
- _____. An account of an experiment, concerning an endeavour to produce light thro' a metallick body, under the circumstances of a vacuum and attrition. *Philosophical Transactions*, v. 27, n. 331, p.328-330, 1710-12.
- HEILBRON, J. L. *Electricity in the 17th and 18th Century: a study of early modern physics*. Berkeley: University of California Press, 1979.
- _____. Gray, Stephen. In: GILLISPIE, C. C. (Ed.). *Dictionary of Scientific Biography*. New York: Charles Scribner's Sons, 1981. v. 5, p.515-517.
- HIPSTTUBE. *Electrical conduction on the wrong track: Stephen Gray*. Produção de History and Philosophy in Science Teaching – HIPSTTUBE. 2010. Vídeo (14:05 min). Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=CXth6EBxBCw&feature=endscreen&NR=1>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- HOTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing History and Philosophy in school Science Education is a challenge: an analysis of obstacles. *Science & Education*, v. 20, n. 3-4, p.293-316, 2011.
- HOME, R. W. *The effluvial theory of electricity*. Nova York: Arno Press, 1981.

- HOUAISS, A. *Houaiss* – dicionário eletrônico da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Objetiva, 2004.
- JEFIMENKO, O. D.; WALKER, D. K. Electrets. *The Physics Teacher*, v. 18, n. 9, p.651-659, 1980.
- LEAL FERREIRA, G. F. Há 50 anos: o efeito Costa Ribeiro. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 3, p.434-443, 2000.
- KRAGH, H. *Introdução à historiografia da Ciência*. Tradução de Carlos Grifo Babo. Porto: Porto, 2001. (Coleção História e Filosofia da Ciência).
- MARTINS, L. A. P. História da ciência: objetos, métodos e problemas. *Ciência & Educação*, v. 11, n. 2, p.305-317, 2005.
- MARTINS, R. A. Como não escrever sobre História da Física um manifesto historiográfico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 1, p.113-129, 2001.
- _____. Introdução: a História das Ciências e seus usos na educação. In: SILVA, C. C. (Org.). *Estudos de História e Filosofia das Ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. p. XVII–XXX.
- MATTHEWS, M. R. *Science teaching: the role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.
- _____. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.
- MEDEIROS, A. As origens históricas do eletroscópio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 24, n. 3, p.353-61, 2002.
- _____; MONTEIRO JR., F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino da Física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, III, 2001, Atibaia. *Anais eletrônicos...* Atibaia: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2001.
- METZ, D.; STINNER, A. A role for historical experiments: capturing the spirit of the itinerant lecturers of the 18th century. *Science & Education*, 2006. DOI: 10.1007/s11191-006-9016-z.
- MONTENEGRO, A. G. P. M. *A leitura de textos originais de Faraday por alunos do Ensino Fundamental e Médio*. 98 f. Dissertação (Mestrado em Educação) — Universidade Estadual de Campinas — Faculdade de Educação, Campinas/SP, 2005.

- NOLLET, J. A. *Essai sur l'électricité des corps*. 3. ed. Paris: H. L. Guerin & L. F. Delatour, 1754.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física básica 1: Mecânica*. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- RIPE. Ciência à Mão. Portal de Ensino de Ciências Experimentoteca Ludoteca. Instituto de Física da USP: Projeto RIPE – Seção Eletrostática. 1990. Disponível em: <www.ludoteca.if.usp.br/index.php>. Acesso em: 14 set. 2010.
- ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco e o preto — Da relevância da História da Ciência no Ensino da Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 5, 1988. Número Especial.
- ROLLER, D.; ROLLER, D. H. D. The development of the concept of electric charge: electricity from the Greeks to Coulomb. In: CONANT, J. B.; NASH, L. K. (Org.). *Harvard case histories in experimental science*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1957, p.543-639.
- SCIENCEBOB. *Amazing Levitating Orb Science Experiment*. Produção de Science Bob on YouTube. 2008. Vídeo (2:07 min). Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=9toZ3fwzv_o&list=UUUqbcRop12FjVcKjCgN46Gw&index=9>. Acesso em: 8 abr. 2013.
- SCHIRMER, S. B.; SAUERWEIN, I. P. S. História e Filosofia da Ciência para sala de aula no EPEF (2002-2010). In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, XIII., 2011, Foz do Iguaçu/PR. *Anais eletrônicos...* Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Física, 2011.
- SESSLER, G. M. Bernhard Gross and the evolution of modern electret research. *Brazilian Journal of Physics*, v. 29, n. 2, p.220-225, 1999.
- SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. A “nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 18, n. 4, p.313-327, 1996.
- SILVA JUNIOR, V. A. *Fabricação e aplicação de eletretos – relatório final de “Tópicos de Ensino de Física I” (F 609)*. 2013. Universidade Estadual de Campinas: Instituto de Física “Gleb Wataghin”.
 _____. *História e propriedades dos eletretos*. Campinas, 2010. Monografia. Instituto de Física “Gleb Wataghin”: Universidade Estadual de Campinas.

- SOUSA, D. F. et al. Eletroscópio de alta sensibilidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 18, n. 1, p.61-64, 1996.
- STEVENS, A.; FLOY, J. *National Magazine*. v. 3. Nova York: Carlton & Phillips, 1853. (The Charterhouse, p.195-201.)
- THOREN, V. E. Flamsteed, John. In: GILLISPIE, C. C. (Ed.). *Dictionary of Scientific Biography*. New York: Charles Scribner's Sons, 1981. v. 5.
- TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE JR., O. The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: a research synthesis of didactic interventions. *Science & Education*, p. 1-26, 2009. Published online: 13 november 2009 – DOI 10.1007/s11191-009-9217-3.
- WEST, J. B. Robert Boyle's landmark book of 1660 with the first experiments on rarified air. *Journal of Applied Physiology*, v. 98, p.31-39, 2005.
- WHELER, G. A letter from Granvile Wheler, Esq; to Dr. Mortimer, Secr. R.S. containing some remarks on the late Stephen Gray, F.R.S. his electrical circular experiment. *Philosophical Transactions*, v. 41, p.118-25, 1739-41.
- _____; MORTIMER, C. An account of some of the electrical experiments made by Granvile Wheler, Esq; at the Royal Society's House, on may 11. 1737. Drawn up by C. Mortimer, M.D. R.S. Secr. *Philosophical Transactions*, v. 41, p.112-17, 1739-41.
- WHITTAKER, E. T. *A history of the theories of aether and electricity: from the age of Descartes to the close of the Nineteenth Century*. Londres: Longmans, Green and CO., 1910.

SOBRE O LIVRO

Formato: 14 x 21 cm

Mancha: 23,7 x 42,10 paicas

Tipologia: Horley Old Style 10,5/14

2012

EQUIPE DE REALIZAÇÃO

Produção Editorial

Casa de Ideias

