

Carta do Editor

π ON - ligado em física



Está em www.pion.org.br, o Píon, o Portal de Ensino e Divulgação da Física da Sociedade Brasileira de Física (SBF) que disponibiliza para o público em geral material didático, vídeos, fotografias, ilustrações, simulações educativas, entre outros recursos relacionados à física e ao ensino dessa ciência. Baseado nas idéias de interatividade e colaboração, o projeto prevê a participação dos usuários na produção ou indicação de conteúdos para o portal. Além disso, o Fórum do portal será um espaço para discussões, críticas e troca de experiências entre professores, alunos e amantes da física.

Reproduzo as palavras de Alaor Chaves, Presidente da SBF no lançamento do Portal:

Dois dos feitos da tecnologia – o computador e as telecomunicações ultra-rápidas – possibilitaram a World Wide Web (WWW), criada no CERN (Centro Europeu de Pesquisas Nucleares) por Tim Berners-Lee para compartilhamento entre pesquisadores dos dados experimentais gerados naquele laboratório. A WWW, um subproduto da pesquisa em física, promoveu um salto espetacular na difusão de idéias e informações em escala global. Como era de se esperar, terminou por invadir o ambiente de educação formal, além de se transformar no principal mecanismo contemporâneo de difusão do conhecimento.

Para se inserir nessa nova cultura, é

preciso cautela. A quantidade das fontes disponíveis de informação é muito grande e sua qualidade mostra um amplo espectro. No que se refere à física, há na Internet publicações muito boas, mas vemos também aquelas com erros conceituais, com excesso de formalismo, às vezes em formato inadequado, em linguagem inadequada. Há ainda imposturas intelectuais, das quais a física tem sido um objeto preferido por tantos “sábios”, pessoas que alegam entender a física a partir de uma visão mais abrangente, mais holística.

Por isso, são necessárias iniciativas como a da SBF. Sem a pretensão de fazer um trabalho jornalístico como o de grandes agências de notícias ou de funcionar como uma produtora áudio-visual, a SBF pretende realizar o essencial: reunir em seu portal bons textos, vídeos, imagens, simulações e arquivos de áudio criados para divulgação e educação na área da física.

Com um corpo de colaboradores de primeira linha, a SBF tem o respaldo e o conhecimento científico para realizar esse trabalho. Um dos atrativos do portal é a publicação de adaptações para a Internet de alguns dos artigos da revista *Física na Escola*, uma publicação da entidade concebida e editada por Nelson Studart, que também é o criador deste portal. Mesmo assim, a tarefa não é fácil. Para que seja realizada de maneira efetiva, a participação do internauta é muito importante: sugerindo,

questionando, criticando e desenvolvendo seus próprios produtos culturais!

Em sua última entrevista à imprensa, o físico César Lattes, descobridor do píon, partícula subatômica que deu nome a este portal, apontou que “o ensino da física deveria ter mais experiências” e que “é sempre melhor que o aluno faça o próprio equipamento”. Em consonância com as idéias de Lattes, o portal incentiva, por meio dos recursos nele encontrados, a realização de experiências simples, que não requerem mais do que materiais de uso doméstico. O portal também estimula o internauta a criar e publicar seus próprios materiais de divulgação, sejam vídeos, textos, imagens, simulações etc.

RBEF na Web of Science

A Revista Brasileira de Ensino de Física (www.sbfisica.org.br/rbef) acaba de ser indexada em uma das mais importantes bases de dados existentes no mundo, a que permite acesso a trabalhos publicados em todas as áreas do conhecimento em revistas de pesquisa de grande impacto. É, sem dúvida, o reconhecimento internacional da relevância dos artigos da RBEF. Parabéns aos autores e revisores.

Nelson Studart

Carta dos Leitores

Uma aula de física inusitada

O que vou lhes contar pode parecer um tanto fantasioso ou retirado de algum livro de histórias, mas ao passar pela situação que descreverei, percebi que pode ser algo muito interessante para se divulgar e discutir a prática do ensino de física e ciências como um todo...

Sou estudante do curso de física da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis. Tenho 20 anos e estou cursando o penúltimo período da graduação. Desde cedo, fui fascinado pelo universo, pelas estrelas e por tudo que compete à área da astrofísica e cosmologia. Ao mesmo tempo, sempre achei muito interessante discutir física e tentar explicá-la de uma forma adequada para pessoas que têm pouco ou nenhum contato com a ciência, fazendo-as refletir sobre como as coisas acontecem e estão relacionadas... e cada vez que faço isso é possível ver no semblante dos participantes da conversa o espanto e, principalmente, o entusiasmo de conseguir respostas para perguntas que talvez estivessem guardadas em suas mentes há anos sem quaisquer explicações coerentes.

O fato

Era quarta-feira de Cinzas, 6 de fevereiro de 2008. Estava eu em um centro cirúrgico em Florianópolis para passar por um procedimento simples. Cheguei no horário marcado e fiz todo o processo de internação. O médico estava atrasado, portanto fiquei deitado na maca sem mais o que fazer, e pensando na vida. Uma enfermeira entra no quarto, senta-se ao meu lado e começa a me fazer algumas perguntas, a fim de preencher alguns documentos. Pergunta vai, pergunta vem, acabo por dizer que estou no último ano do curso de física. Curiosa, ela pergunta qual área da física me interessava, e respondi que gostava muito de astrofísica e cosmologia, disciplina que tratava do Universo, dos planetas, das estrelas, etc. Então ela diz: “como a astrologia, então, né?”

Bom, neste momento percebi que era

necessário esclarecer a ela a diferença, a grande diferença, entre *astronomia* (e os correlatos) e *astrologia*, falando da necessidade da ciência (englobando basicamente as ciências da natureza) em experimentação e salientando o fato de que ela não é composta de verdades absolutas, mas sim *construída* (com muitas decepções, inclusive!) a partir de paradigmas que podem ser “quebrados” mediante um fato novo que entre em conflito com as “verdades” já estabelecidas [1]. Já a *astrologia*, é uma pseudociência, a qual não teve palavras para descrever no momento.

Até este ponto, eu estava ainda pensativo, pois ela poderia reprimir meus comentários, e eu, deitado na maca dentro do centro cirúrgico, não estava disposto a discutir, e a física era a última coisa que me passava pela cabeça... mas então, para meu espanto, ela começou levantar outras questões que lhe passavam pela cabeça e que, talvez, não tivera a oportunidade de perguntar a alguém. Quando comecei a explicar, ainda bem tímido e desajeitado (leve-se em conta a minha situação e o meu estado psicológico...), outras enfermeiras começaram a se interessar pela conversa e acabaram entrando na sala de cirurgia. Diversas perguntas apareceram, como, por exemplo, “como ocorrem as marés?”, “por que o céu é azul?”, “por que o nascer e o pôr-do-sol deixam o céu avermelhado?”, “onde mais pode haver vida no Universo?”, “em quais outros planetas pode existir vida?”, “e os anéis de Saturno?”, “e a cor das estrelas?”, “como os dinossauros foram extintos?”.

Quando me dei conta da situação, estava cercado por todas as três enfermeiras do centro cirúrgico sentadas em cantos e posições opostas dentro da sala de operação. Eu, deitado completamente na horizontal, apenas mexendo a cabeça e com os holofotes cirúrgicos sobre mim, já estava fazendo o maior esforço para me fazer entender. Ao mesmo tempo em que eu fazia o melhor possível para sanar suas dúvidas, também pensava: “que situação!”. E cada uma levantava uma dessas questões que mencionei anteriormente. Oco-

rreu que após algum tempo já estava me sentindo completamente à vontade, como se estivesse apresentando um trabalho na faculdade. No fim das contas, acabamos nos entendendo.

Quando lhes contei que a composição dos anéis de Saturno era basicamente gelo, e a hipótese mais provável para sua origem é que fosse um satélite natural como a nossa Lua que acabou estilhaçada (sem entrar mais em detalhes), elas começaram a anotar tal fato para poder contar quando chegassem em casa. E o mesmo aconteceu quando falei que a cor observada de uma estrela é, de modo geral, devido à sua temperatura, as de coloração azulada sendo as mais quentes.

Em se tratando dos dinossauros, “como é que isso aconteceu? Como é que pode?”. Então pedi para que se lembrassem da superfície da Lua, e imediatamente responderam: “ela é toda irregular, cheia de crateras!”. Justamente! A Lua não é provida de atmosfera como é a nossa Terra, portanto ela fica muito mais vulnerável do que nós a colisões com corpos celestes maciços que vagam pelo espaço com altas velocidades. Para mais um espanto, falei que a Terra também é atingida com uma determinada frequência por certos asteróides, mas eles não chegam a nos causar dano, pois são destruídos pelo próprio atrito com a nossa atmosfera. E o que ocorreu na época dos dinossauros, segundo a teoria mais aceita, é que um grande asteróide colidiu com a superfície do nosso planeta, formando uma cratera que se acredita ser a que existe no México, medindo mais de 150 km de diâmetro. Isso levantou uma grande quantidade de poeira na atmosfera, bloqueando a luz do Sol, matando a vegetação, os herbívoros e, finalmente, os carnívoros. Do total de vida existente por aqui, cerca de 50% a 60% entrou em extinção.¹

A cada pergunta respondida, surgiam novas perguntas e questionamentos a respeito do mesmo e de outros temas. E o que mais me motivou a escrever este breve relato é o comentário delas que ouvi diversas vezes a respeito dos seus professores à época de estudantes: comentavam que gostariam de ter tido um ensino de física diferente do que tiveram na escola, promovendo a discussão desses temas que realmente intrigam e chamam a atenção

...Curiosa, ela pergunta qual área da física me interessava, e respondi que gostava muito de astrofísica e cosmologia, disciplina que tratava do Universo, dos planetas, das estrelas, etc. Então ela diz: “como a astrologia, então, né?”

de todos nós. E diziam: “meu professor de física apenas ia pro quadro enchê-lo de fórmulas para resolver os problemas do livro”, ou “eu nunca tinha pensado que a física poderia ser tão interessante! Agora comecei a gostar!”. Outro comentário do tipo “esta tarde de trabalho já valeu a pena!” também fez com que meu dia tivesse valido a pena.

O médico chegou e elas “reclamaram” pelo encerramento daquela “sessão de física” (acreditam?!).

Agora imagine se tal “reclamação” também ocorresse com nossos alunos, principalmente do ensino médio, quando toca o sinal para o término da aula de física... Talvez o que falte seja uma “pitada” de dia-a-dia e

O início de uma conversa envolvendo física “descambou” para assuntos como vida em outros planetas e dinossauros... e quando o “palestrante” foi interrompido, a platéia “reclamou”!
Alguns professores se recorda de já ter passado por isso?!

de realidade para o aluno por trás do monte de equações que se estuda ao longo dos três anos de física no ensino médio.

Conclusão

Passar por esta situação foi realmente muito inspirador. Afinal, foi um indica-

tivo muito grande de uma forma diferente para tratar o ensino de física: permitiu que eu tivesse uma visão prática do que é contextualizar e colocar o dia-a-dia das pessoas dentro dos conteúdos da área. Pode ser extremamente útil para nós licenciandos a reflexão sobre o tema e sobre como nos preparar melhor para enfrentar uma sala de aula. Existem diversas situações e equipamentos tecnológicos onde a física está presente e, muitas vezes, o

aluno nem faz idéia: Os televisores de plasma e LCD, a fotografia digital, o clima e seus processos, o céu, a localização por GPS, etc. Levar estes temas para a escola, promovendo estudos, discussões, experimentos, pode ser uma ferramenta fantástica para começar a despertar o interesse dos alunos pela física. Quem sabe, até pode servir como um meio mais eficaz de facilitar o diálogo entre *professor-aluno-conteúdo* dentro de um ambiente de ensino-aprendizagem. A reflexão e a prática cabe a todos nós, alunos de

licenciatura e até mesmo professores já atuantes, visando melhorar cada dia mais o nosso cotidiano no ensino de física.

Agradecimentos

Ao professor José de Pinho Alves Filho, que prontamente se colocou à disposição para ler e dar sugestões muito importantes na realização deste texto.

Nota

¹Teoria proposta por Luiz Walter Alvarez, físico americano e ganhador do Prêmio Nobel em 1968.

Marcelo Girardi Schappo
Departamento de Física,
Universidade Federal de Santa Catarina

Referência

[1] Arden Zylbersztajn, *Revoluções Científicas e Ciência Normal Em Sala de Aula*. in: Marco Antonio Moreira; Rolando Axt. (org) *Tópicos em Ensino de Ciências* (Sagra, Porto Alegre, 1991), 1ª ed.

Sugestão de leitura

PCN's – Parâmetros Curriculares Nacionais.

Sobre o último fascículo de FnE...

Nunca é o que parece...

Após exaustivas pesquisas em várias mídias, finalmente encontrei um documento capaz de explicar, de maneira simples e objetiva, as forças “básicas” para movimentar um “veículo” usando exemplos reais, como o caminhão em rampas acentuadas. Trata-se do artigo “Inclinações de ruas e estradas”, de Fernando Lang da Silveira, publicado no último número da FnE. Outra informação que não conseguia obter em lugar algum era com relação ao “mito” dos grandes aclives. O “achômetro” estabelece que aclives “acentuados” como o da Brigadeiro Luiz Antonio (vide Maratona de São Silvestre), aqui

em São Paulo, tinha, no mínimo, 30°. Espantosamente é o que muitas pessoas (inclusive professores universitários) dizem quando são indagadas a respeito.

Por fim, saliento que as informações apresentadas serão muito úteis para a equipe responsável pelo desenvolvimento do protótipo do carro de economia da Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie. Em nome de todo o grupo, agradeço ao autor.

Alexandre Ruiz
Escola de Engenharia Mackenzie - SP
Curso de Engenharia Elétrica
alexandre_ruiz@hotmail.com

3... 2... 1... decolar!

Li o artigo sobre um foguete construído a partir de garrafas pet de James Sousa no último número da FnE e se o autor tiver algo mais para contribuir com a curiosidade da gurizada da minha escola, desde já agradeço. Pretendemos colocar em prática o foguete logo em seguida

Gilton César
giltoncesarsilveira@bol.com.br



.....
Marcelo Knobel

Instituto de Física Gleb Wataghin,
 Universidade Estadual de Campinas,
 Campinas, SP, Brasil
 E-mail: knobel@ifi.unicamp.br

Dariamente somos inundados por inúmeras promessas de curas milagrosas, métodos de leitura ultra-rápidos, dietas infalíveis, riqueza sem esforço. Basta abrir o jornal, ver televisão, escutar o rádio, ou simplesmente abrir a caixa de correio eletrônico. A grande maioria desses milagres cotidianos são vestidos com alguma roupagem científica: linguagem um pouco mais rebuscada, aparente comprovação experimental, depoimentos de “renomados” pesquisadores, utilização em grandes universidades. São casos típicos do que se costuma definir como “pseudociência”. A definição de pseudociência é muito genérica, e pode incluir, além dos poucos exemplos citados, uma grande quantidade de fenômenos paranormais, sobrenaturais, extra-sensoriais, e qualquer conjunto de procedimentos e “teorias” que tentem se disfarçar como ciência, sem realmente sê-la.

A discussão dos limites entre ciência e pseudociência certamente inclui uma questão mais profunda: o que é ciência? Como defini-la? Esse é um assunto complexo e delicado, e impossível de tratar neste breve artigo. Entretanto, é útil discutir porque devemos nos preocupar com a pseudociência. Alguns dos exemplos citados, e os respectivos personagens envolvidos, não passam de objetos de ironia e diversão para uma camada da população mais instruída. Aparentemente, não podem causar mais impacto do que simples arranhões à já aparentemente consolidada imagem da ciência, que é geralmente vista como um pilar firme onde a sociedade se apóia. Entretanto, vale

Neste artigo são apresentadas algumas idéias gerais sobre o contínuo avanço das pseudociências em nossa sociedade, e como isso pode afetar, mesmo sem querer, as nossas vidas. São discutidos alguns exemplos, e mencionadas, de modo genérico, diversas idéias de como se proteger contra as pseudociências, principalmente com uma educação científica adequada, que busque principalmente a promoção do pensamento crítico.

A discussão dos limites entre ciência e pseudociência certamente inclui uma questão mais profunda: o que é ciência? Como defini-la?

A pseudociência tem esse nome porque tenta mimetizar uma aparência de ciência, incluindo uma linguagem mais complexa, com afirmações veementes de que os resultados são “comprovados cientificamente”, ou abalizados por “estudos aprofundados”

lembrar que inúmeras vezes a pseudociência é utilizada com má fé, destinada a usurpar o dinheiro da população em geral que ingenuamente acredita em evidências casuais, rumores e anedotas. Esse fato se torna ainda mais drástico quando essas crenças atingem a área da saúde, onde o prejuízo financeiro pode vir acompanhado de um irreparável dano físico e/ou mental.

Neste artigo será apresentada uma breve tentativa de delimitação do que pode ser considerado pseudociência, lembrando, entretanto, que os limites geralmente são extremamente tênues. Será dado um exemplo de uma lenda urbana que, por caminhos tortuosos, atingiu diretamente um grande número de pessoas, com o objetivo de ilustrar os potenciais “perigos” da pseudociência. Serão discutidas algumas possíveis ações que os educadores podem realizar, sempre recordando que o

importante é estimular, antes de tudo, o pensamento crítico e a discussão. Finalmente, será comentado um documento que tem gerado ampla polêmica mundial, relacionado com o chamado nível de aptidão, ou alfabetismo,

científico e tecnológico.

Pseudociência: aspectos gerais

A própria definição de pseudociência é uma questão complexa e delicada. Há muitas características comuns que podem ser utilizadas para tentar esboçar uma demarcação. Como já dito, a pseudociência tem esse nome porque tenta mimetizar uma aparência de ciência, incluindo uma linguagem mais complexa, com afirma-

ções veementes de que os resultados são “comprovados cientificamente”, ou abalizados por “estudos aprofundados”. Além disso, a pseudociência normalmente se baseiam em anedotas e rumores para “confirmar” os fatos. Um exemplo comum é ouvirmos (ou recebermos alguma corrente ou correio eletrônico) alguma história mirabolante sobre doenças provocadas por latinhas sujas ou roubo de órgãos para contrabando. Estes rumores que se espalham com uma facilidade impressionante devido à Internet têm o nome de “lendas urbanas”, e também podem ser considerados como um subgrupo da pseudociência.

Em seu clássico livro *O Mundo Assombrado por Demônios – A Ciência vista como uma Vela na Escuridão*, o físico Carl Sagan descreveu, de modo brilhante, um kit de detecção de mentiras ou bobagens (*Baloney Detection Kit*), principalmente no que se refere a afirmações aparentemente científicas. Ele enfatiza o uso do pensamento crítico para reconhecer argumentos falhos ou fraudulentos, o que podemos chamar de um modo geral de “pseudociência”. Além do raciocínio lógico e do reconhecimento de alguns elementos característicos da pseudociência, é particularmente importante conhecer, ao menos superficialmente, como a ciência funciona.

De acordo com Sagan, há algumas ferramentas básicas no kit que devem ser utilizadas para analisar argumentos e afirmações que aparentemente são embasadas em experimentos científicos:

- Sempre que possível deve haver uma confirmação independente dos “fatos”;
- Deve-se estimular um debate substantivo sobre as evidências, do qual participarão notórios partidários de todos os pontos de vista;
- Os argumentos “de autoridade” têm pouca importância – As ‘autoridades’ cometeram erros no passado. Voltarão a cometê-los no futuro. Uma forma melhor de expressar essa idéia é talvez afirmar que em ciência não existem autoridades; quando muito há especialistas;
- Deve-se considerar mais de uma hipótese. Se alguma coisa deve ser explicada, é preciso pensar em todas as maneiras diferentes pelas quais poderia ser explicada. Então se deve pensar em formas de derrubar sistematicamente cada uma das

Seja para decidir um tratamento médico, para analisar criticamente algum boato ou para nos posicionarmos frente a uma decisão importante, a cultura científica de cada indivíduo será sempre o seu melhor conselheiro

- alternativas. A hipótese que sobreviver a esta “seleção natural” tem maiores chances de ser a correta;
- Não se apegar demais à sua própria hipótese. Devem-se buscar razões para rejeitá-la. Se você não fizer isto, outros o farão;
- Quantificar sempre que possível. Aquilo que é vago e qualitativo é suscetível a muitas explicações;
- Se há uma cadeia de argumentos, todos os elos da cadeia devem ser válidos (inclusive a premissa) – não apenas a maioria deles;
- Deve-se sempre questionar se a hipótese pode ser, pelo menos em princípio, falseada. As proposições que não podem ser testadas ou falseadas não valem grande coisa. Devemos poder verificar as afirmativas propostas.

Na realidade há muitas outras características comuns que podem ser utilizadas para tentar esboçar uma demarcação da pseudociência, o que nem sempre é trivial. Além disso, a pseudociência normalmente se baseiam em anedotas e rumores para “confirmar” os fatos, e incluem personagens que afirmam que não são compreendidos e são hostilizados por nossa sociedade, assim como foram Galileu e Copérnico em suas épocas.

Mas por que devemos nos preocupar com a pseudociência? Para os cientistas, a resposta mais simplista poderia indicar uma tentativa de evitar “manchar” a imagem da ciência, que tem consolidado a sua reputação em anos e anos de hipóteses, teorias e experimentos bem sucedidos e capazes de explicar muitos aspectos do universo em que vivemos. Mas, na realidade, a maioria das pessoas vive perfeitamente bem sem saber diferenciar entre ciência e pseudociência. Entretanto, mais cedo ou mais tarde, em alguns momentos da vida, esse conhecimento pode ser muito importante. Seja para decidir um tratamento médico, seja para analisar criticamente algum boato, seja para se posicionar frente a alguma decisão importante que certamente influenciará a vida de seus filhos e netos. A sociedade, como um todo, deve assimilar uma “cultura científica”, com a participação de instituições, grupos

Para Sagan, o uso do pensamento crítico ajuda-nos a reconhecer argumentos falhos ou fraudulentos nas propagandas que nos cercam, naquilo que podemos chamar de um modo geral de “pseudociência”

de interesse e processos coletivos estruturados em torno de sistemas de comunicação e difusão social da ciência, participação dos cidadãos e mecanismos de avaliação social da ciência. Mas ao falar da cultura científica não estamos nos referindo, necessariamente, à “ciência” ortodoxa, entendida como acúmulo de conhecimentos coerentes, fixos e certos que se constroem sob a atenta vigilância de uma metodologia confiável sobre uma realidade natural subjacente (legado da tradição positivista que apela à objetividade da ciência e seu “espírito” altruísta). A cultura científica é entendida, neste sentido mais amplo, como forma de instrução, de acumulação do saber, seja este socialmente válido ou não.

E a necessidade de uma cultura científica aparece claramente na distinção entre ciência e pseudociência. Além dos aspectos já mencionados, muitas vezes somos compelidos a aceitar algo sem fundamento científico, mesmo sem acreditarmos naquilo. A seguir, será dado um exemplo recente que ocorreu na cidade de São Paulo, onde, mesmo sem querer, milhões de cidadãos são obrigados a aceitar uma lenda urbana.

Um exemplo recente de lenda urbana que atinge a população

Em 1999 circulou na Internet de uma série de mensagens alertando para o perigo iminente do uso de celulares em postos de gasolina, relatando o caso de algumas supostas explosões, que na realidade foram posteriormente desmentidas pelas empresas. A mensagem inclusive pedia para que o leitor lesse o manual do telefone celular, onde de fato em alguns casos está escrita uma advertência para evitar o uso do telefone em “atmosfera potencialmente explosivas”, o que inclui os postos de gasolina. De acordo com as companhias de celulares e empresas multinacionais de petróleo esse aviso é necessário apenas para se precaver de responsabilidade e eventuais processos no caso de alguma fatalidade. Assim, tanto as companhias de celulares quanto os postos de gasolina optaram por desaconselhar o uso de aparelhos celulares nos postos, simplesmente baseados no conceito do “melhor prevenir que remediar”.

Em 2003 a prefeita Marta Suplicy regulamentou a Lei 13.440, que proíbe o uso dos telefones celulares em postos de combustíveis da cidade de São Paulo. O

projeto de Lei (138/01) é de autoria do vereador Wadih Mutran (PPB), e fixa multa de R\$ 400,00 tanto para o proprietário do posto quanto para o dono do aparelho. Em caso de reincidência, o valor será dobrado. O motivo seria evitar que ondas eletromagnéticas ou mesmo uma faísca produzida pelo aparelho viessem a explodir os tanques de combustível. Entretanto, trata-se de uma lei sem fundamento técnico ou científico, provavelmente originada dos boatos citados anteriormente.

Considerando as condições atuais dos postos de gasolina e as tecnologias dos celulares, a probabilidade de haver alguma explosão causada pelo uso desse tipo de aparelho é extremamente remota. O perigo relacionado

A Lei 13.440, que proíbe o uso de telefones celulares em postos de combustíveis da cidade de São Paulo pelo suposto risco das ondas eletromagnéticas ou mesmo de uma faísca produzida pelo aparelho vir a explodir os tanques de combustível...

com as ondas eletromagnéticas é simplesmente inexistente. Com relação às eventuais faíscas, é interessante lembrar que todos os carros possuem baterias, e a possibilidade de que essas baterias soltem alguma faísca certamente é muitas vezes maior do que a probabilidade de que a faíscas provenientes do celular possam provocar algum dano. Isso poderia ocorrer, por exemplo, se o aparelho caísse das mãos de uma pessoa, soltando a bateria, e provocando uma faísca que tenha posteriormente contato com alguma poça de gasolina. É interessante notar que até a faísca provocada pela eletricidade estática quando a pessoa desce de um carro (principalmente quando usa roupa de lã em dias secos) pode ser mais perigosa do que o uso do celular. De todas as maneiras, estudos indicam que a soma de todos os riscos de faíscas dos veículos somados são ainda extremamente baixos.

No caso específico da cidade de São Paulo, quem acreditou nesta lenda urbana foram os legisladores, criando uma lei incoerente e sem nenhum suporte científico. É a lenda urbana que virou lei! Neste caso ela é relativamente inócua e até cômica, mas, para variar, quem pagará a conta é a população. Este caso ilustra de modo claro como a pseudociência podem levar a situações insólitas, onde não é necessário acreditar em algo, nem ser ingênuo a ponto de cair em algum “conto do vigário”. Essas situações podem ocorrer, por exemplo, quando os políticos, sem quaisquer justificativas técnicas, resolvem criar leis que são, no mínimo, contestáveis.

Céticos vs. pseudocientistas

Para tentar combater as crenças pro-

pagadas pela pseudociência, surgiram no mundo diversos grupos de pessoas que se auto-denominam “céticos”. Os céticos tentam aproveitar o espaço dado pela mídia aos mais esdrúxulos charlatões para oferecer o contraponto científico, como explicar alguns fenômenos com as ferramentas construídas pela ciência ao longo dos anos. Mas a idéia de ceticismo é um tanto quanto restritiva. Os cientistas devem ser céticos, mas na direção proposta por Sagan, sempre com a mente aberta.

Por exemplo, como físico, acredito na ciência, mas não me considero um cético fundamentalista. Até acredito em coisas incríveis, como em entes que são ondas e partículas simultaneamente, em universos multi-dimensionais, em tempos e comprimentos que dependem da velocidade do objeto, em estruturas nanoscópicas que podem atravessar paredes, e em muitos outros fenômenos que certamente não são nada intuitivos, e continuam sendo impressionantes, mesmo após anos e anos de estudo. O importante é que as teorias sejam comprovadas seguindo critérios rígidos, metodologias adequadas e publicadas em periódicos de circulação internacional, para que outros pesquisadores possam tentar repetir os experimentos e modelos. Se algo novo é proposto ou descoberto, o primeiro passo do cientista é tender ao ceticismo, repetir o experimento, verificar possíveis falhas, buscar explicações alternativas. Vale aqui uma analogia: os pseudocientistas, em geral, podem ser considerados como janelas completamente abertas a novos fenômenos e explicações. Seriam como janelas abertas, mas travadas. Os céticos fundamentalistas, por outro lado, seriam como janelas fechadas, também travadas, onde nada, ou quase nada de novo pode passar.

Mas o verdadeiro espírito científico ocorre quando as janelas estão de fato quase fechadas, ou melhor, fechadas a princípio, mas completamente destravadas para serem abertas no primeiro sinal de ventos renovadores e de mudança.

Sendo assim, para semear uma cultura científica efetiva, é fundamental estimular um espírito crítico aguçado, mas sempre com algumas janelas abertas para enfrentar algo completamente novo e desconhecido, ainda inexplicado, mas

não necessariamente inexplicável.

Aptidão científica e tecnológica

De um modo geral, a discussão sobre o conhecimento mínimo que um cidadão deve ter sobre ciência e tecnologia tem ocorrido mundialmente. É a chamada aptidão (ou alfabetização) científica e tecnológica. Conceitualmente, o alfabetismo tecnológico é mais restrito que a chamada cultura científica comentada anteriormente, pois é centrado fundamentalmente no indivíduo. Entretanto, é interessante discutir a idéia da alfabetização científica e tecnológica, pois em geral é o termo utilizado nos países anglo-saxões, e é o que geralmente é explorado em pesquisas e indicadores de compreensão pública da ciência e da tecnologia divulgados mundialmente. Vale aqui destacar que uma tentativa de mudança na metodologia utilizada nessas pesquisas públicas está sendo elaborada pela Rede Ibero-Americana de Indicadores de Ciência e Tecnologia (RICYT), no projeto Indicadores Ibero-americanos de Percepção Pública, Cultura Científica e Participação dos Cidadãos, no qual o Laboratório de Estudos Avançados em Jornalismo (Labjor), da UNICAMP, participa como parceiro (ver mais detalhes em <http://www.labjor.unicamp.br>).

Em particular, um estudo publicado em 2002 sobre questões relacionadas com aptidão tecnológica tem provocado intensos debates nos Estados Unidos da América (EUA), na área educacional e científica. O estudo intitulado *Technically speaking: why all americans need to know more about technology* (Falando tecnicamente: por que todos os americanos precisam saber mais sobre tecnologia), foi preparado pelo Comitê sobre Alfabetização Tecnológica, formado por um grupo de especialistas dos setores científicos, corporativos e acadêmicos dos EUA.

Esse comitê foi formado pela Academia Nacional de Engenharia americana (NAE) e pelo Centro de Educação do Conselho Nacional de Pesquisa americano (NRC). O texto é resultado de mais de dois anos de discussões desse comitê, e mostra que a enorme maioria da população tem uma visão muito estreita da ciência, da tecnologia e de seu uso no cotidiano. Nesse estudo a tecnologia é vista como algo muito maior do que simplesmente computadores, eletrônica, máquinas, componentes e estruturas, mas inclui também os processos de desenvolvimento, desenho e uso desses sistemas.

...mas é interessante notar que até a faísca provocada pela eletricidade estática quando a pessoa desce de um carro pode ser mais perigosa do que o uso do celular...

O documento analisa de modo geral a visão da aptidão tecnológica nos EUA, e recomenda uma intensa campanha educacional nas escolas, museus, centros de tecnologia, políticos, entre outros. A chamada alfabetização tecnológica inclui não apenas a habilidade de usar equipamentos e sistemas com conteúdo tecnológico, mas um entendimento mais profundo dos riscos e benefícios de seu uso, e uma compreensão razoável dos processos que levaram ao desen-

volvimento desses produtos tecnológicos, incluindo a interconexão complexa entre engenharia, ciência, política, ética, leis, entre outros fatores.

O estudo afirma que todos os educadores deveriam estar mais bem preparados para ensinar sobre ciência e tecnologia, fugindo da idéia da tecnologia como um assunto em separado. Os professores de ciência deveriam ter uma educação mais sólida em tecnologia e engenharia, mas também os professores da área de humanas deveriam ter plena consciência de como a tecnologia se relaciona com as suas respectivas matérias. Nesse sentido nos EUA já existem alguns padrões a serem seguidos pelas escolas, que foram publicados pela *International Technology Education Association* (Associação Internacional de Educação em Tecnologia), *Standards for Technological Literacy: Content for the*

Study of Technology (Padrões para a Aptidão Tecnológica: Conteúdo para o Estudo da Tecnologia), e podem ser encontrados em <http://www.iteawww.org/TAA/STLstds.htm>.

Em uma sociedade onde a ciência e a tecnologia são agentes de mudanças econômicas e sociais, o analfabetismo científico e tecnológico, dos políticos e/ou da população em geral, pode ser um fator crucial para determinar decisões que afetarão o nosso futuro próximo

computadores e da Internet para tentar melhorar o processo de aprendizado em outras disciplinas, em vez de ensinar os estudantes sobre a própria tecnologia. Além disso, muitas escolas acreditam que somente por oferecer aulas com computadores elas já estão ensinando sobre tecnologia, o que certamente impede o estudo de idéias mais gerais sobre ciência e tecnologia.

Em uma sociedade onde a ciência e a tecnologia são agentes de mudanças econômicas e sociais, o analfabetismo científico e tecnológico, seja dos políticos e/ou da população em geral, por exemplo, pode ser um fator crucial para determinar decisões que afetarão o nosso futuro próximo, e

É interessante ilustrar a deficiência no ensino da aptidão científica e tecnológica em um aspecto que aparentemente pareceria um dos poucos lugares onde o tema é tratado, como, por exemplo, na área de computação. Em geral as escolas enfatizam o uso dos com-

Em geral as escolas enfatizam o uso dos computadores e da Internet para tentar melhorar o processo de aprendizado em outras disciplinas, em vez de ensinar os estudantes sobre a própria tecnologia

conseqüentemente o nosso bem estar social. E essas decisões variam desde a escolha de um eletrodoméstico para nossa casa, até questões éticas sobre biotecnologia, bioengenharia e clonagem. É impossível tomar uma decisão consciente se não se tem um mínimo de entendimento sobre a ciência e tecnologia, como elas funcionam e como elas podem afetar as nossas vidas.

Conclusões

Este artigo teve o objetivo simples de levantar algumas questões relacionadas com as diferenças entre ciência e pseudociência, os motivos pelos quais é importante discutir essas diferenças, e como pode-se inserir essa discussão na sala de aula. Nesse sentido, o texto não procura expressar um ponto de vista particular nem entrar em maiores detalhes sobre teorias e conceitos mais elaborados. Em outras palavras, busca-se apenas levantar perguntas, sem necessariamente respondê-las.

É importante destacar que são justamente os cientistas e educadores que devem sempre procurar transmitir e estimular o espírito crítico, dando uma idéia de como a ciência é estruturada e como algo se torna, de fato, cientificamente comprovado.

Esse é um dos papéis dos educadores e da divulgação científica, tão necessários para promover a "cultura científica" em nossa sociedade.

O "time" dos físicos quânticos



Convidamos o leitor a decifrar, a partir das caricaturas acima, a "escalação" deste time de físicos de autoria de Vitorvani Soares, físico e professor da UFRJ. Avisamos desde já que determinar esta escalação foi objeto de apostas acirradas entre os alunos no Instituto de Física da UFRJ. Façam suas apostas... (a solução está na página 50).



.....
Rafael Vasques Brandão

E-mail: rafael.brandao@ufrgs.br

Ives Solano Araujo

E-mail: ives@if.ufrgs.br

Eliane Angela Veit

E-mail: eav@if.ufrgs.br

Instituto de Física, Universidade
 Federal do Rio Grande do Sul, Porto
 Alegre, RS, Brasil

No contexto científico contemporâneo, o processo de modelagem assume um papel fundamental na busca por respostas que auxiliam o homem a compreender o mundo em que vive. Já no atual contexto educacional [1-4], tem-se visto que estratégias didáticas baseadas na noção e uso de modelos surgem como alternativas para inserção de conteúdos de natureza epistemológica que, imbricados com conteúdos de física, propiciam aos alunos uma visão mais holística sobre a natureza e a construção do conhecimento científico. Nesse contexto, ao discutir aspectos conceituais da modelagem científica, este trabalho pretende fornecer subsídios para a elaboração de estratégias didáticas que permitam aos professores de física caminhar em direção a um ensino que vise a compreensão, em que, como bem salientado por Eric Rogers, “saber dar nomes novos às coisas é algo bem diferente de compreendê-las” [5]. Ou seja, é preciso dar sentido ao que se estuda:

Estratégias didáticas baseadas na noção e uso de modelos surgem como alternativas para inserção de conteúdos de natureza epistemológica que, imbricados com conteúdo de física, propiciam aos alunos uma visão mais holística sobre a natureza e a construção do conhecimento científico

seja por meio da experimentação, seja por meio da conceitualização. Com isso não se quer dizer que o uso da matemática na solução de problemas da física deve ser relegado, senão que a “matematização” da física não deve ser o ponto de partida nem tampouco o objetivo final. Que sentido faz para um aluno de ensino médio o problema a seguir, se o mesmo for pensado como o *ponto de partida* no estudo do movimento?

Dois móveis, A e B, movimentam-se sobre uma mesma trajetória. As funções horárias do espaço para os movimentos são: $s_A = 20t + t^2$ e $s_B = 400 - 10t$, com s em metros e t em segundos.

a) Classifique os movimentos dos móveis A e B. b) Determine a distância entre A e B no instante $t = 0$. c) Determine o instante e o espaço em que os móveis se encontram. [6, p. 49]

Esta crítica não se refere à tentativa de explicar um fenômeno físico utilizando a matemática, nem toma como alvo o estudo da cinemática, tantas vezes criticada de forma injusta. Por este motivo, discutiremos na última seção deste artigo um problema de cinemática para mostrar que, quando ensinada apropriadamente, pode levar o aluno a compreender pontos cruciais da modelagem científica, como as *idealizações* e as *aproximações*. Dessa forma, nossa crítica se dirige, fundamentalmente, às estratégias didáticas que em momento algum estabelecem uma conexão entre o mundo abstrato (ideal) e o mundo concreto (real). Esta desconexão entre teoria e realidade é um problema frequentemente observado, chegando a gerar nos

alunos posições disparatadas, como a apontada por Mazur [7, p. 4], em um diálogo com um aluno seu:

Professor Mazur, como eu devo responder estas questões? De acordo com o que você nos ensinou, ou da forma que eu penso sobre estas coisas?

A passagem acima evidencia um obstáculo a ser superado no ensino de ciências em geral e da física em particular, seja ela clássica ou moderna: a incomensurabilidade entre as visões de mundo que insistem em coabitar a mente do aluno. Uma sendo formada por concepções científicas que parecem ter pouco a ver com a realidade

Tendo em vista as possíveis melhorias que uma adequada compreensão sobre o processo de modelagem científica pode trazer ao ensino de física, no presente trabalho apresentamos algumas relações existentes entre teoria e realidade, através do uso de estratégias didáticas baseadas na noção de modelo científico. Para tanto, discutimos a partir de dois problemas típicos de física (cinemática e termodinâmica), encontrados em livros de texto de nível médio, algumas das idéias do filósofo da ciência Mario Bunge sobre a construção e a testabilidade de modelos científicos.

e a outra que, embora constituída de concepções alternativas às científicas, fornece explicações para muitas das situações do dia-a-dia. O desafio que se impõe a nós educadores está em reduzir o papel desempenhado pelas concepções alternativas em favor das científicas. Nesse sentido, acreditamos que a modelagem, mais do que uma ferramenta útil para a resolução de problemas, pode contribuir de forma significativa para uma visão de ciência adequada à prática científica moderna, cuja essência está na criação de modelos [8-10], e que foi bem exemplificada por Moreira [11] no artigo sobre os 50 anos do modelo da dupla hélice para a estrutura do DNA.

A modelagem científica

Nos referimos à modelagem científica como um processo de criação de modelos com a finalidade de compreender a realidade. A Fig. 1 ilustra de forma esquemática as relações entre os diversos elementos envolvidos no processo de modelagem.

Na parte superior esquerda do mapa conceitual, vê-se que a modelagem científica é, antes de tudo, um processo de busca por respostas. Assim, os cientistas produzem conhecimento científico formulando questões de pesquisa sobre objetos (ou fatos) reais ou supostos como tais. Por exemplo, átomos, moléculas, células, sistemas, processos, máquinas e sociedades, etc. Nesse processo, eles formulam hipóteses e elaboram modelos conceituais que,

encaixados em teorias gerais, poderão se constituir em modelos teóricos capazes de gerar resultados que possam ser confrontados com os resultados empíricos provenientes da experimentação. Porém, quando um modelo teórico representa o comportamento de um objeto ou fenômeno físico? A adequação de modelos teóricos aos fatos depende basicamente: a) das questões que pretendem responder; b) do grau de precisão desejável em suas previsões; c) da quantidade de informações disponíveis sobre a realidade; e d) das idealizações que são feitas a respeito dos seus referentes.

A modelagem, mais do que uma ferramenta útil para a resolução de problemas, pode contribuir de forma significativa para uma visão de ciência adequada à prática científica moderna, cuja essência está na criação de modelos

Adicionalmente, é desejável que os modelos sejam compatíveis com grande parte do conhecimento científico previamente estabelecido. Estes requisitos de cientificidade, embora necessários, de modo algum são suficientes quando alcançados independentemente. Contudo, nenhum modelo teórico tem a pretensão de representar completamente qualquer sistema ou fenômeno físico. Em geral, eles são concebidos para descrever *certos fenômenos* que exibem estrutura e/ou comportamento semelhantes. Por isso, possuem um *domínio de validade*. Por concentrarem-se em um número limitado de características essenciais, espera-se que, mais

cedo ou mais tarde, falhem ao representar aspectos da realidade. Nesses casos, dizemos que o domínio de validade do modelo foi extrapolado. De forma semelhante, as teorias gerais também possuem limitações. O exemplo clássico é o da mecânica newtoniana que descreve com boa aproximação o movimento de objetos macroscópicos usuais, porém, com o surgimento de outras teorias, suas leis e princípios demonstraram-se limitados para a descrição do movimento nas regiões de altas velocidades (da ordem da velocidade da luz), e de pequenas dimensões (escalas atômica e sub-atômica).

Daqui para frente, utilizaremos o termo “modelo conceitual” como sinônimo de representação simplificada, idealizada, de um sistema ou fenômeno natural, aceita pela comunidade científica. Vejamos um exemplo nesse sentido.

Considere a foto de um homem, um manequim de plástico e um macaco. Qual desses modelos é o mais adequado para representar um homem? A resposta é: depende. A foto deve ser um bom modelo para um pintor, pois retrata a fisionomia da pessoa. O manequim é uma representação tridimen-

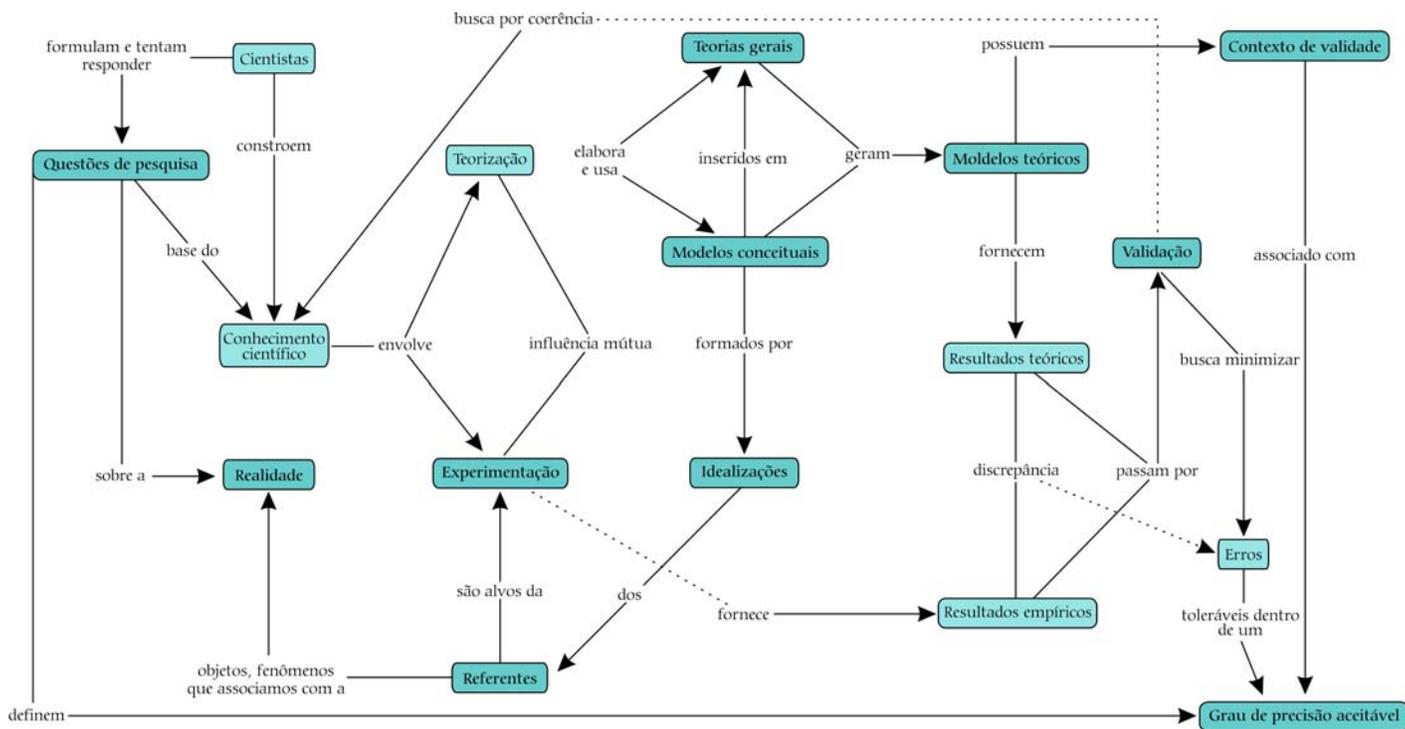


Figura 1. Mapa conceitual relacionando os diversos elementos presentes no processo de modelagem de aspectos da realidade.

sional do corpo humano, sendo um bom modelo para um alfaiate. Já o macaco é fisiologicamente semelhante ao ser humano e deve ser o modelo preferido por um biólogo. [12, p. 44]

O exemplo acima ilustra também uma outra idéia muito importante quando se trabalha com modelagem: a de que não existem modelos corretos, mas sim adequados. Alguns modelos conceituais são mais adequados do que outros por enfatizarem certos aspectos negligenciados pelos demais. Para tanto, analisemos um exemplo de interesse da física: o movimento real de um projétil. Até que ponto esta situação pode ser representada por um

O computador, visto como uma ferramenta didática no auxílio da aprendizagem, pode fornecer oportunidades ímpares para a contextualização, visualização e apresentações das mais diversas situações físicas que possam dar sentido ao conceito físico que esteja sendo trabalhado pelo professor

modelo de partícula em movimento parabólico sob a ação da força da gravidade? Em outros termos, faz sentido comparar os resultados de um modelo que despreza a resistência do ar, a variação da aceleração gravitacional, o empuxo, o raio de curvatura da Terra e a sua velocidade de rotação, com os dados experimentais (para o alcance, a altura máxima, o tempo de voo, etc.)? E a resposta poderia ser: faz sentido dependendo do tipo de projétil, das condições iniciais de lançamento (posição e velocidades de translação e rotação) e do grau de precisão que se deseja. Ou seja, todas essas hipóteses simplificadoras, ou melhor, idealizações, são *válidas* para condições muito específicas. Assim, um objeto de área “pequena”, densidade “muito maior” do que a do ar, velocidade linear “baixa” e que gire “pouco” pode ser descrito com boa aproximação por um modelo baseado nas hipóteses acima. As expressões entre aspas podem adquirir diferentes interpretações, dependendo do grau de precisão que se deseja obter com

o modelo. Entretanto, para outras condições que não estas, os efeitos acima podem-se tornar relevantes. No artigo em que discutem a aerodinâmica da bola de futebol, Aguiar e Rubini [13] concluem que a trajetória descrita pela bola que Pelé chutou no jogo de futebol Brasil x Tchecoslováquia pela Copa de 1970 no México, próximo à linha do meio-campo, em direção à meta adversária – jogada que ficou conhecida como “o gol que Pelé não fez” – só pode ser entendida ao levarmos em conta os efeitos de resistência do ar, incluindo a crise do arrasto, e o Efeito Magnus devido à rotação da bola em torno do seu centro.

Apesar de não ser o foco do presente trabalho, destacamos que uma das formas mais promissoras para a integração de discussões sobre modelagem científica em sala de aula possa dar-se por meio da modelagem computacional aplicada ao ensino de física. O computador, visto neste processo como uma ferramenta didática no auxílio da aprendizagem, pode fornecer oportunidades ímpares para a contextualização, visualização e apresentações das mais diversas situações físicas que possam dar sentido ao conceito físico que esteja sendo trabalhado pelo professor. Para saber um pouco mais sobre este assunto, sugerimos a leitura dos trabalhos de Medeiros e Medeiros [14], Araujo *et al.* [15] e Dorneles *et al.* [16].

Em suma, o processo de modelagem reside no fato de que teorias gerais, que em princípio não se pronunciam diretamente sobre a realidade, ao serem enxertadas por modelos conceituais, produzem representações de parte da realidade, isto é, modelos teóricos que fornecem soluções a situações-problema particulares. A Tabela 1, inspirada em Bunge [17, p. 35],

ilustra alguns exemplos de representações feitas em física.

A fim de que se possa avaliar a aplicabilidade dos diversos conceitos associados à modelagem, trataremos de exemplificar o modo como eles podem ser inseridos no contexto de sala-de-aula.

A discussão em sala-de-aula

Nosso objetivo aqui é apresentar uma discussão baseada nas idéias da modelagem sobre dois problemas típicos de livros de texto de física, em nível médio, com a expectativa de que possam servir de exemplos para outras discussões nas demais áreas da física. Vejamos o primeiro exemplo:¹

Um caminhão com 20,0 m de comprimento atravessa uma ponte com 80 m de extensão com velocidade constante de 72,0 km/h (20,0 m/s), como ilustra a Fig. 2.

O fenômeno físico de interesse refere-se ao movimento dos corpos. Seu enunciado contextualiza este fenômeno ao descrever a situação de um caminhão atravessando uma ponte. A partir dessa contextualização é possível formular algumas questões: qual o peso máximo do caminhão que a ponte pode suportar? Qual o valor do coeficiente de atrito entre os pneus do caminhão e a ponte? Qual deve ser a velocidade do caminhão para atravessar a ponte em um certo intervalo de tempo? Qual o intervalo de tempo gasto pelo caminhão para atravessar a ponte com certa velocidade? As duas primeiras questões pressupõem o estudo das forças envolvidas na situação real, enquanto nas duas últimas o foco está nas variáveis que descrevem o comportamento observável do caminhão ao atravessar a ponte, a saber: o tempo, o comprimento e a velocidade do caminhão, e a extensão da ponte. Ou seja, enquanto as duas primeiras perguntas envolvem a dinâmica do sistema, as duas últimas são típicas de uma descri-

Tabela 1. Alguns exemplos de situações-problema que são modeladas pela física.

Situação-problema a ser modelada	Modelo conceitual	Teoria geral	Modelo teórico
Escoamento da água no interior de uma tubulação	Fluido contínuo sem viscosidade Fluido contínuo com viscosidade	Mecânica dos fluidos	Modelo de fluido ideal Modelo de fluido viscoso
Certa quantidade de gás contida num recipiente fechado	Sistema de partículas, termicamente isolado, que interagem via colisões perfeitamente elásticas	Mecânica estatística e mecânica clássica Mecânica estatística e mecânica quântica	Modelo de gás ideal clássico Modelo de gás ideal quântico
Comportamento da matéria em nível microscópico	Sistema planetário	Mecânica clássica e eletromagnetismo	Modelo atômico de Rutherford
Movimento dos planetas do Sistema Solar		Mecânica clássica	Modelo gravitacional de Newton

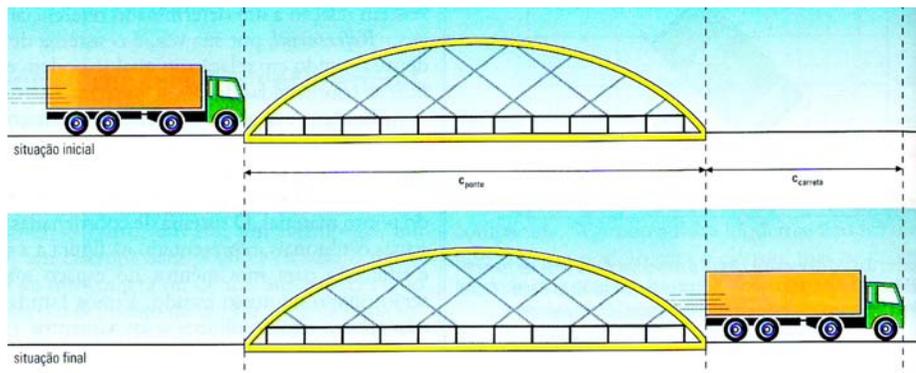


Figura 2. Na parte superior, o instante em que o caminhão entra na ponte. Na parte inferior, o instante em que o caminhão cruza completamente a ponte [18, p. 44].

ção cinemática do movimento. Nesse sentido, a situação descrita acima pode ser objeto de estudo tanto da cinemática quanto da dinâmica. Contudo, em ambas: a) delimitamos o sistema a ser estudado, selecionando os objetos relevantes que farão parte do modelo, isto é, os referentes; b) fazemos idealizações de modo a simplificar o tratamento do problema em função das variáveis e dos parâmetros associados aos referentes; c) estimamos os erros introduzidos pelas idealizações a fim de alcançarmos um grau de precisão aceitável; e d) discutimos a validação da solução encontrada. Em suma, construímos um modelo teórico capaz de gerar resultados que possam ser confrontados com os dados empíricos e analisamos a razoabilidade dos mesmos. Do ponto de vista da cinemática, os referentes envolvidos nesta situação são dois: o caminhão e a ponte. Se estivéssemos tratando o problema do ponto de vista da dinâmica teríamos que incluir a Terra e, ao considerar a resistência do meio, o ar como referentes, também. Consideremos o problema do ponto de vista da cinemática, como proposto por Gaspar [17], formulando as seguintes questões:

- Qual o intervalo de tempo que o caminhão leva para atravessar completamente a ponte?;
- Supondo que a ponte tenha 2000 m de extensão, qual deve ser o intervalo de tempo gasto pelo caminhão para atravessar a mesma?;
- Em qual das situações o caminhão pode ser considerado um ponto material?

A fim de tratar a situação de forma simplificada, faremos as seguintes idealizações: a) desprezaremos todo o tipo de ondulação ao longo da ponte, considerando-a perfeitamente plana; b) consideraremos o movimento do caminhão uniforme, como o próprio enunciado afirma; e c) desprezaremos todo o tipo de sinuosi-

dade durante o movimento, ou seja, o caminhão atravessará a ponte ao longo da direção que coincide com o comprimento da mesma. Com base nestas idealizações, obtemos uma representação esquemática (modelo conceitual) na qual o caminhão descreve um movimento retilíneo e uniforme. Para determinar o intervalo de tempo gasto pelo caminhão ao atravessar a ponte de 80 m de extensão (do item “a” do problema), basta aplicar o conceito de velocidade média à situação idealizada, lembrando que o deslocamento do caminhão equivale à soma da extensão da ponte mais o seu próprio comprimento, de modo que

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Leftrightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{\bar{v}} = \frac{80 \text{ m} + 20 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 5 \text{ s},$$

onde \bar{v} é a velocidade média do caminhão, Δx o seu deslocamento e Δt o intervalo de tempo gasto para atravessar a ponte. De forma análoga, para determinar o intervalo de tempo gasto pelo caminhão para atravessar a ponte de 2.000 m (item “b”), temos que

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\bar{v}} = \frac{2000 \text{ m} + 20 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 101 \text{ s}.$$

Os intervalos de tempo acima foram determinados considerando-se as dimensões do caminhão, isto é, tratando-o como corpo extenso. O item “c” do problema sugere a possibilidade de se considerar o caminhão como um ponto material. A fim de avaliarmos esta possibilidade, calcularemos o erro percentual introduzido por esta simplificação, ou seja, o erro devido à idealização que ignora as dimensões do caminhão, nos dois casos. Para a ponte de 80 m, o intervalo de tempo gasto pelo ponto material ao atravessá-la seria de

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\bar{v}} = \frac{80 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 4 \text{ s}.$$

Conseqüentemente, o erro percentual

associado ao primeiro caso pode ser calculado da seguinte forma

$$e\% = \frac{5 \text{ s} - 4 \text{ s}}{5 \text{ s}} \times 100\% = 0,2 \times 100\% = 20\%,$$

onde $e\%$ é o erro percentual associado à idealização. De modo semelhante, o intervalo de tempo gasto pelo ponto material para atravessar a ponte de 2000 m seria de

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\bar{v}} = \frac{2000 \text{ m}}{20 \text{ m/s}} = 100 \text{ s}.$$

Em conseqüência, o erro percentual associado à idealização, nesta situação, seria de

$$e\% = \frac{101 \text{ s} - 100 \text{ s}}{101 \text{ s}} \times 100\% \approx 0,01 \times 100\% = 1\%.$$

A resposta ao item “c” do problema, com base na análise do erro percentual devido à redução das dimensões do caminhão a um ponto material, poderia ser: embora a simplificação resulte, em ambos os casos, em uma diferença de 1 s entre os intervalos de tempo considerando o caminhão ora como corpo extenso, ora como ponto material, o modelo de ponto material alcança um grau de precisão aceitável somente no caso em que a ponte possui extensão de 2000 m. Outro aspecto importante é a análise da razoabilidade das soluções encontradas. Mesmo um erro de 1%, 1 s, poderia ser relevante na situação hipotética em que a ponte estivesse na iminência de cair. Frequentemente, esta análise acaba servindo como ponto de partida para a formulação de outras questões inicialmente não consideradas, como, por exemplo: e se considerássemos a possibilidade da ponte desmoronar? Neste caso, parece razoável considerar o comprimento do caminhão como sendo a distância entre os seus eixos dianteiro e traseiro para fins de determinação do intervalo de tempo necessário para o caminhão atravessar efetivamente a ponte, antes que a mesma se rompa. Este tipo de questionamento pode contribuir para a conexão entre teoria e realidade, para a conceitualização das grandezas envolvidas e, provavelmente, para uma maior motivação do aluno.

Por último, discutiremos de forma qualitativa um segundo problema de termodinâmica:²

Uma barra de alumínio de comprimento $L = 80 \text{ cm}$ e de seção reta $A = 200 \text{ cm}^2$ tem uma de suas extremidades introduzida em uma caldeira com água em ebulição. A outra extremidade da barra se encontra no ar ambiente, a 20°C . Determine o fluxo de calor Φ que é transferido através da barra para o ar ambiente.

O fenômeno físico de interesse deste problema se refere ao processo de transferência de energia, na forma de calor, denominado condução. O enunciado acima contextualiza este fenômeno ao descrever a situação em que a extremidade de uma barra de alumínio é introduzida em uma caldeira com água a uma temperatura maior do que a temperatura do ambiente em que se encontra o restante do corpo da barra. Com base nesta contextualização, o problema formula a seguinte questão: qual o fluxo de calor Φ transferido ao longo da barra? Em física, o fluxo de calor é definido como sendo a quantidade de energia ΔQ , na forma de calor, que atravessa a área de uma superfície qualquer por unidade de tempo, ou seja

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t},$$

em que ΔQ se mede em joules e Δt em segundos, no S.I. Logo, Φ se mede em J/s. A explicação para a transferência de energia de uma extremidade à outra da barra é fornecida pelo modelo cinético-molecular da matéria, no qual o excesso de movimento dos constituintes microscópicos da região mais aquecida da barra, à temperatura T_2 , se transfere à região menos aquecida, à temperatura T_1 , enquanto a diferença de temperatura se mantém entre elas. A partir de resultados experimentais, verifica-se que o fluxo de calor Φ ao longo da barra pode ser calculado por

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = k A \frac{T_2 - T_1}{L},$$

onde A é a área da seção reta da barra, $\Delta t = T_2 - T_1$ é a diferença de temperatura entre as suas extremidades, e L é o seu comprimento. A constante de proporcionalidade k , na expressão acima, é a condutividade térmica do material de que é feita a barra. Logo, a determinação do fluxo de calor transferido ao longo da barra é meramente uma questão de aplicação da última expressão para Φ . O que

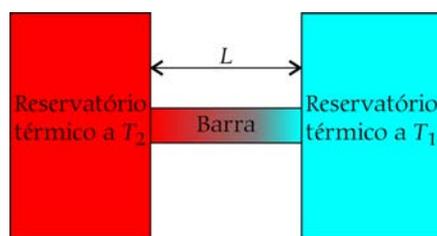


Figura 3. Situação idealizada em que cada extremidade da barra metálica, de comprimento L , encontra-se em contato com um reservatório térmico à temperatura constante, com $T_2 > T_1$.

poucas vezes se discute é a questão do domínio de validade desta equação. A Fig. 3 ilustra de forma esquemática a situação ideal em que: a) a barra é perfeitamente homogênea; b) cada extremidade da barra é mantida em contato com um reservatório térmico à temperatura constante, com $T_2 > T_1$; c) a superfície lateral da barra está envolvida por paredes adiabáticas que evitam a perda de energia para o meio que a circunda; e d) a barra se encontra em regime estacionário, ou seja, é possível associar a cada ponto da barra um valor de temperatura que não depende do tempo, somente da sua localização ao longo da barra.

Como consequência destas idealizações, o fluxo de calor se mantém constante através de qualquer seção reta da barra, o que dá origem à equação apresentada anteriormente. Assim, a validade da equação para o fluxo de calor está relacionada com o cumprimento das condições apresentadas acima, o que, em geral, não se satisfaz. Logo, o que obtemos, na verdade, é uma estimativa (valor aproximado) do fluxo de calor ao longo da barra de alumínio, pois: a) *supomos* a barra como sendo homogênea; b) *tratamos* a caldeira e o ar ambiente como reservatórios térmicos; c) *desprezamos* a perda de energia através da superfície lateral da barra; e d) *supomos* que a barra atinge a condição de regime estacionário após um curto intervalo de tempo. Por fim, esse tipo de discussão levanta uma série de outras questões, tais como: existem reservatórios térmicos? E paredes adiabáticas? Como podemos minimizar os efeitos acima, ao realizar um experimento? Se nos restringirmos à mera aplicação de fórmulas, estaremos deixando de lado toda a física envolvida no problema.

Considerações finais

Neste trabalho chamamos atenção para o distanciamento entre o ensino de ciências e a realidade experienciada pelos estudantes, devido ao modo excessivamente formal como as disciplinas científicas vêm sendo abordadas. Esta abordagem faz uso de regras e esquemas associados especificamente ao contexto escolar de modo que “dois mundos” disjuntos passam a coabitar a mente dos estudantes. Torna-se, então, necessário redirecionar o objetivo do ensino de ciências para a reconstrução conceitual da realidade, ou, em outros termos, dar sentido para aquilo que se quer ensinar. Nesse sentido, discutimos alguns aspectos conceituais envolvidos no processo de modelagem por acreditar que estratégias didáticas baseadas na noção e uso de modelos podem contribuir de forma

significativa para uma melhor compreensão do mundo em que vivemos e do desenvolvimento científico propriamente dito.

Agradecimento

Ao Prof. Alberto Gaspar e à Editora Ática, que cederam o uso da Fig. 2.

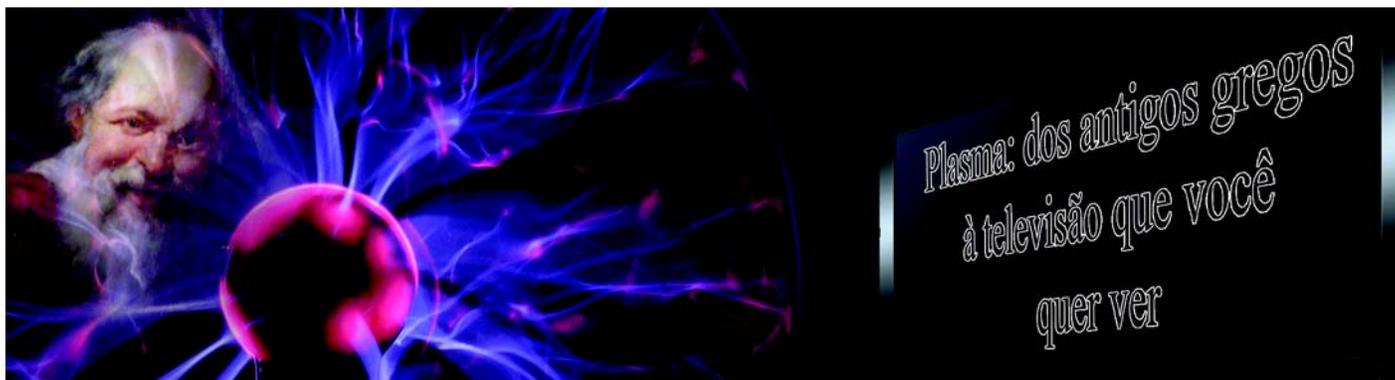
Notas

¹Adaptado de Alberto Gaspar, *Física. Mecânica* (Editora Ática, São Paulo, 2000), p. 44.

²Adaptado de A. Máximo, e B. Alvarenga, *Curso de Física* (Scipione, São Paulo, 2005), p. 105.

Referências

- [1] A. Cupani, e M. Pietrocola, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **19**, 100 (2002).
- [2] I.A. Halloun, *Modeling Theory in Science Education* (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2004).
- [3] R. Justi e J. Gilbert, *International Journal of Science Education* **22**, 993 (2000).
- [4] O. Lombardi, *Educacion en Ciencias* **2**, 5 (1999).
- [5] A. Medeiros, *Física na Escola* **8**:1, 40 (2007).
- [6] P.C.M. Penteadó, *Física. Conceitos e Aplicações* (Moderna, São Paulo, 1998).
- [7] E. Mazur, *Peer Instruction: A User's Manual* (Prentice Hall, Upeer Saddle River, 1997).
- [8] M. Pietrocola, *Investigações em Ensino de Ciências* **4**, 213-227 (1999).
- [9] R.N. Giere, J. Bickle e R.F. Mauldin, *Understanding Scientific Reasoning* (Thomson Wadsworth, Toronto, 2006).
- [10] E.A. Veit e I.S. Araujo, *Educação* **13**, 51 (2004).
- [11] I.C. Moreira, *Física na Escola* **4**:1, 5 (2003).
- [12] L.H.A. Monteiro, *Sistemas Dinâmicos* (Livraria da Física, São Paulo, 2006).
- [13] C.E. Aguiar e G. Rubini, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 297 (2004).
- [14] A. Medeiros e C.F. Medeiros, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **24**, 77 (2002).
- [15] I.S. Araujo, E.A. Veit e M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 179 (2004).
- [16] P.F.T. Dorneles, E.A. Veit e I.S. Araujo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **28**, 487 (2006).
- [17] M. Bunge, *Teoria e Realidade* (Perspectiva, São Paulo, 1974).
- [18] A. Gaspar, *Física. Mecânica* (Ática, São Paulo, 2000), v. 1.



Desde sempre as pessoas se perguntam: do que tudo ao nosso redor é feito? Entender esta inquietação de nós humanos é fácil, pois existe uma grande diversidade de matéria a nossa volta e ainda ao alcance de nossos olhos no espaço. Após a invenção do telescópio, foi possível enxergar mais longe e ver a diversidade de matéria do universo. Será que os constituintes da matéria no nosso planeta são os mesmos constituintes da matéria existente no espaço? Será que existe um “tijolo fundamental” do qual a matéria é constituída? Se existe, como ele é? A aventura da humanidade pela busca destas respostas começou há muito tempo atrás.

O início se deu com o pai do pensamento científico ocidental - Tales de Mileto. Nossa história começa na Grécia antiga, mais precisamente há 2.500 anos. Foi neste período que viveu Tales, na cidade grega de Mileto - onde fica a atual Turquia. Tales buscava a resposta para a constituição básica de tudo que existe ao nosso redor, e formulou uma teoria. Ao contemplar as conchas marinhas encravadas muito acima do nível do mar concluiu - corretamente - que o nível do mar teria sido muito mais alto antigamente. Ele também observava a chuva cair sobre o mar Egeu, e a névoa costumeira desta região. Com base em suas observações, ele concluiu que tudo era feito de água. Sua teoria dizia que tudo se originava de um único elemento, a água.

Um de seus discípulos discordava de seu mestre - como todo bom discípulo. Para Anaxímenes o elemento do qual todo o resto deriva não era a água, e sim o ar. Ele dizia o seguinte: tudo era constituído

de uma substância básica que, quando rarefeita, constituía o ar. Logo tudo era ar, em uma fase de maior ou menor compressão.

Na cidade grega de Éfeso viveu por volta de 500 a.C. um grande filósofo da antiguidade: Heráclito. Ele tinha sua própria teoria para a grande diversidade de matéria ao nosso redor: tudo era originado pelo fogo, pois para ele a matéria está em constante mudança e o fogo é o agente desta mudança.

Em uma colônia grega na ilha da Sicília, viveu por volta do século V a.C. o filósofo Empédocles. Para ele a idéia de que

tudo era feito a partir de um único elemento não poderia estar correta; então ele propôs que tudo era constituído não de um, mas de quatro elementos: ar, água, terra e fogo.

Aos nossos olhos modernos, poderíamos olhar os elementos básicos de Empédocles como sendo

cada um deles representante de uma fase ou estado da matéria. O ar é a fase gasosa, a terra a sólida, a água a líquida. E o fogo? O fogo também pode ser considerado como uma fase da matéria. Os gregos antigos não tinham como saber isto, mas o fogo não se enquadra em nenhuma das três fases citadas antes porque não tem as características das mesmas. Ele está em uma quarta fase da matéria chamada de plasma¹.

A idéia de que tudo era formado destes quatro elementos foi duradoura, em parte porque foi defendida pelo filósofo que influenciou o pensamento humano durante mais tempo, Aristóteles, cujas idéias foram aceitas durante 2000 anos (as idéias de Galileu e Newton são aceitas há menos de 500 anos!). Por este fato, os

A busca do “tijolo fundamental” do qual a matéria é constituída começou há muito tempo atrás. Para Tales, tudo se originava da água; para seu discípulo Anaxímenes, era o ar; para Heráclito tudo era originado pelo fogo e para Empédocles tudo era constituído não de um, mas de quatro elementos: ar, água, terra e fogo

.....
Felipe Damasio

Colégio São Bento, Criciúma, SC, Brasil

E-mail: felipedamasio@uol.com.br

Gilberto Calloni

Colégio São José, Caxias do Sul, RS, Brasil

E-mail: gilberto_call@tvdturbo.com.br
.....

A televisão de plasma é um objeto de conhecimento comum, porém não o seu funcionamento. A palavra plasma já faz parte do vocabulário de muitas pessoas devido a estes eletrodomésticos, mas talvez algumas destas não saibam que sua utilidade não se limita aos televisores. Partindo deste tema, o presente texto promove uma discussão do conceito físico de plasma. Parte-se desde dos primórdios do pensamento científico ocidental até aplicações tecnológicas modernas como as televisões. O texto aborda a evolução da idéia de átomo, as fases da matéria, a definição física de plasma, a geração de luz, o funcionamento das lâmpadas fluorescentes e das televisões, incluindo a de plasma.

quatro elementos são ditos aristotélicos. Aristóteles ainda introduziu um quinto elemento, pois para ele os céus, que abrangiam tudo que não estivesse no nosso planeta, não eram feitos dos mesmos elementos deste. Para Aristóteles os céus eram imutáveis, diferente da Terra, onde a matéria poderia sofrer modificações. O mundo celeste era preenchido por um quinto elemento - o 'éter' ou 'quinta-essência'.

Viagem ao íntimo da matéria

Vamos continuar ainda com os gregos antigos. Agora nossa viagem chega à pergunta feita por Leucipo, no século V a.C. Seus questionamentos eram: a matéria é contínua ou é constituída de unidades mínimas? Se pudéssemos cortar um corpo chegaríamos a uma porção que seria indivisível? Leucipo acreditava que existia esta unidade mínima que seria indivisível, a qual ele chamou de 'átomo', que em grego significa 'indivisível'. Sua idéia foi refinada por um discípulo chamado Demócrito. Para ele, os átomos eram em número infinito e estavam em constante movimento. Existiria um número gigantesco de átomos diferentes, e estas diferenças estariam nas formas, massas e tamanhos. A idéia dos átomos nos parece extremamente moderna, só que foi esquecida durante dois milênios em detrimento da teoria dos quatro elementos aristotélicos.

A idéia atômica foi revivida por um professor de química do século XVIII, que acreditava ainda na indivisibilidade do átomo. Ele imaginava os átomos como uma espécie de bolinhas muito, mas muito pequenas; este é o modelo atômico de Dalton - ele ainda foi o descobridor da doença conhecida como daltonismo, em que a pessoa não consegue distinguir alguns tipos de cores dos corpos. Desde então a idéia atômica foi sendo refinada até chegar à forma atual.

O modelo atual de átomo afirma que ele é composto por um núcleo e pelos elétrons orbitando na coroa eletrônica. Na parte central do átomo temos o núcleo. Esta região é muito, mas muito pequena em relação ao tamanho total do átomo, embora concentre quase toda a sua massa. Nesta região central se localizam dois tipos de partículas, os prótons (p^+) e os nêutrons (n^0).

A carga do próton é a de menor valor que existe e é positiva; os nêutrons não

possuem carga resultante.

Ao redor do núcleo existe uma espécie de nuvem onde outras partículas se localizam. Estas partículas são os elétrons (e^-), e possuem carga elétrica negativa, e de mesmo valor que a carga do próton (a única diferença é que são cargas de sinais opostos). Então quando se fala em carga elétrica, lembre-se que esta é uma propriedade da matéria. Da mesma forma que a matéria tem massa, algumas partículas que constituem a matéria têm carga elétrica. A Fig. 1 representa a idéia do modelo atual do átomo. Esta figura não pode ser tomada ao pé da letra; ela apenas serve para dar uma idéia da estrutura do átomo.

Diferente do que pensava Demócrito, o número de átomos diferentes entre si é surpreendentemente pequeno, cerca de uma centena. Eles estão organizados na tabela periódica dos elementos proposta inicialmente pelo cientista russo Mendeleev. Os átomos se diferenciam basicamente pelo número de prótons no seu núcleo; este número é chamado de 'número atômico'. Por exemplo, o número atômico do hidrogênio é 1, significando que ele possui um próton no seu núcleo, ao passo que o número atômico do urânio é 92; portanto, ele possui 92 prótons em seu núcleo. A grande diversidade da matéria existente no universo não é devida a um grande número de átomos distintos, e sim ao grande número de combinações que este número limitado de átomos pode fazer entre si. Sal de cozinha e ácido clorídrico contém o elemento cloro, mas são muito diferentes, pois o cloro se combina com elementos diferentes: no sal de cozinha, com o sódio; no ácido clorídrico, com o hidrogênio.

Fases da matéria

Os átomos que constituem os corpos se organizam de maneiras diferentes. Podemos chamar de matéria a tudo o que

é composto de átomos. Esta matéria pode se organizar de diferentes formas, e estas formas podem, por sua vez, apresentar-se nos estados sólido, líquido e gasoso, dependendo da temperatura e pressão a que a matéria esteja submetida. A estes estados em que podemos entrar a matéria damos o nome de 'fases' ou 'estados de agregação' da matéria. Na fase sólida as

partículas estão fortemente unidas e mais juntas umas em relação às outras do que em outras fases. À temperatura ambiente uma moeda de alumínio se apresenta nesta fase da matéria. Já na fase gasosa as partículas estão fracamente unidas e bem separadas, tendo a tendência de ocupar todo volume disponível. À temperatura ambiente o ar está nesta fase da matéria. Na fase líquida temos uma situação intermediária entre a fase sólida e gasosa. As partículas na fase líquida estão tão juntas quanto na fase sólida, mas a interação entre elas é mais fraca que nesta fase e mais forte do que na fase gasosa, ou seja, elas não estão unidas de forma tão forte como na fase sólida nem tão fraca como na fase gasosa.

Para moldar o ferro na forma de cadeiras ou mesas é necessário derreter o ferro (torná-lo líquido), e após isto colocá-lo em moldes com a forma desejada.

Quando ele voltar a ser sólido (resfriado, portanto) ele tomará a forma que se desejava. Se continuássemos a aquecer o ferro líquido, ele iria se tornar gasoso. Por outro lado, se o oxigênio do ar

for resfriado suficientemente, ele poderá se tornar líquido, e se continuarmos esfriando ainda mais, ele se tornará sólido. Portanto todos os elementos conhecidos podem assumir estas três fases da matéria. As mudanças de fase de um elemento (de sólido para líquido, ou de líquido para gasoso, por exemplo) recebem nomes específicos como mostra Fig. 2.

...sendo revivida somente no século XVIII por Dalton, que imaginava os átomos como uma espécie de bolinhas muito, mas muito pequenas; este modelo ficou conhecido como "modelo atômico de Dalton"

Leucipo, na Grécia de V a.C., acreditava que a matéria era constituída de unidades mínimas, que ele chamou 'átomo', 'indivisível', em grego. Mas tal idéia foi esquecida durante dois milênios em detrimento da teoria dos quatro elementos aristotélicos...

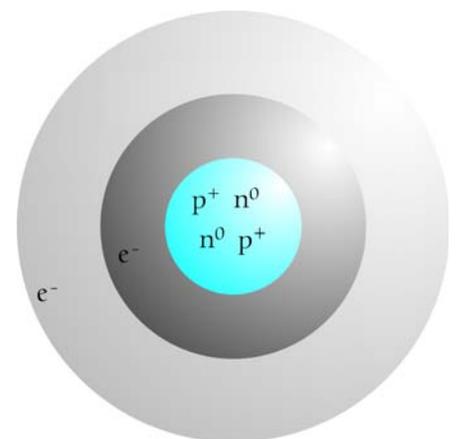


Figura 1. Concepção moderna e esquemática de um átomo de Hélio. As regiões sombreadas indicam a localização mais provável de se encontrarem os elétrons. A região central indica o núcleo, com dois prótons e dois nêutrons. A figura não está em escala.

Das três fases da matéria apenas duas podem fluir, daí dar-se o nome de 'fluidos' a elas. Os fluidos são os líquidos e os gases. Assim, uma moeda de alumínio não está na fase fluida, ao passo que um litro de água ou 300 ml de ar estão.

O quarto estado da matéria

Além dos três estados analisados existe um outro, chamado plasma. A nomenclatura plasma foi utilizada pela primeira vez em 1926, pelos físicos I. Langmuir e H. Mott-Smith. Na verdade, chamar o plasma de quarto estado da matéria não é justo, de certo ponto de vista. Deveríamos chamá-lo de primeiro estado da matéria, pois deste estado é formado cerca de 99% de toda a matéria visível do universo; os outros três constituem, portanto, o 1% restante. Mas o que é um plasma? Para entender o que ele é, devemos voltar à estrutura atômica e termos claras algumas definições: o átomo é constituído de um núcleo com carga positiva e eletrosfera negativa. Quando o número de cargas positivas é igual ao número de cargas negativas o átomo é dito eletricamente neutro. Mas existem processos em que um átomo pode ganhar ou perder elétrons. Quando ele ganha elétrons, sua carga negativa é maior do que a positiva (ele está negativamente carregado). Quando o átomo perde elétrons, sua carga positiva é maior do que a negativa (ele está positivamente carregado). Os elétrons que se desligaram do átomo e que não estão mais ligados a ele são chamados de 'elétrons livres'. Quanto aos átomos em si, se um átomo tem número de prótons e elétrons diferentes, ele é chamado 'íon'. Este íon pode ser positivo (mais prótons do que elétrons), o chamamos 'cátion'. Quando o íon é negativo (mais elétrons do que

prótons), o chamados 'ânion'. Agora que sabemos o que são átomos neutros, íons e elétrons livres, podemos definir o que é um plasma:

Plasma é um gás que contém uma mistura variada de átomos neutros, átomos ionizados e elétrons livres em constante interação elétrica.

Lembre-se: cargas opostas se atraem e iguais se repelem, e a isto chamamos interação elétrica. Quando partículas portadoras de carga elétrica se mantêm em movimento, estabelece-se uma corrente elétrica. Estes portadores de carga são os elétrons em sólidos mas, nos líquidos e gases, além dos elétrons também os íons positivos e negativos são portadores de carga.

Apesar de os íons terem carga líquida positiva ou negativa, o plasma não tem; como um todo ele é eletricamente neutro, pois nele existe igual quantidade de cargas positivas e negativas, exatamente como em um gás constituído somente com moléculas neutras.

Então qual a diferença entre um gás formado por moléculas neutras e um plasma? Um plasma tem a capacidade de conduzir facilmente corrente elétrica. Além disto, absorve certos tipos de radiação que passariam sem interagir em um gás formado de moléculas neutras.

Os plasmas normalmente são criados aquecendo-se um gás a temperatura muito elevada, quando então alguns elétrons recebem energia suficiente para se desligar dos átomos a que estavam presos, resultando átomos com carga positiva (cátions) e elétrons livres (aqueles que se desligaram). Mas... existe plasma em nosso mundo cotidiano? Sim!!! Onde ele está? A lâmpada fluorescente talvez seja a aplicação mais imediata, e vamos detalhar mais sobre ela adiante neste texto. Os letreiros de néon são outro exemplo: eles usam gás neônio, emitindo luz vermelha. Os outros tipos de cores decorre do uso de gases de diferentes tipos de átomos; o argônio brilha na cor azul, o sódio na amarela, o hélio na rosa. A luz emitida não é gerada pelo plasma, mas sim pelas moléculas neutras do gás, da forma como veremos na

próxima seção. O papel do plasma nos letreiros, nas lâmpadas fluorescentes e nas telas das televisores de plasma é o de coadjuvante; quem faz o papel principal de emitir luz são os átomos de gás eletricamente neutros. As lâmpadas de vapor usadas em vias públicas também utilizam plasma para emitirem luz. Pode-se usar neste tipo de lâmpada alguns tipos de elementos para formar o gás: mercúrio e sódio são os mais comuns. Um lindo fenômeno, chamado de aurora boreal no hemisfério norte e aurora austral no hemisfério sul, é constituído de plasmas brilhando na alta atmosfera. Existe uma região atmosférica, a cerca de 80 km de altitude, chamada de ionosfera. Como o próprio nome diz, ela é um plasma. Esta camada reflete ondas de rádio de baixa frequência, como as de AM, ao passo que deixa passar ondas de rádio de alta frequência, como as de FM e de televisão. É por este motivo que é possível captar rádios AM de localidades distantes - até de outros continentes - e não se consegue captar as rádios FM e os canais de TV destes lugares. Como vemos, o plasma está mais presente em nosso cotidiano do que poderíamos supor inicialmente. Além do mais, uma maneira promissora de gerar energia utiliza plasma. Trata-se da fusão nuclear. Tal processo é o responsável pela geração de energia nas estrelas, onde hidrogênio é transformado em hélio, resultando na liberação de energia de acordo com a famosa equação de Einstein, $E = m.c^2$. Muito esforço tem sido feito para que tais reações sejam reproduzidas de forma controlada aqui na Terra, visando-se tornar uma alternativa viável para geração de energia.

Chamar o plasma de quarto estado da matéria não é justo, de certo ponto de vista. Deveríamos chamá-lo de primeiro estado da matéria, pois deste estado é formado cerca de 99% de toda a matéria visível do universo

deríamos supor inicialmente. Além do mais, uma maneira promissora de gerar energia utiliza plasma. Trata-se da fusão nuclear. Tal processo é o responsável pela geração de energia nas estrelas, onde hidrogênio é transformado em hélio, resultando na liberação de energia de acordo com a famosa equação de Einstein, $E = m.c^2$. Muito esforço tem sido feito para que tais reações sejam reproduzidas de forma controlada aqui na Terra, visando-se tornar uma alternativa viável para geração de energia.

E o átomo disse: faça-se a luz!

Agora vamos analisar uma explicação microscópica de como se gera luz. Primeiro temos que dizer que os átomos têm níveis de energia, que podem conter ou não elétrons. Cada nível de energia pode ser ocupado por um determinado número de elétrons. Para entender, observe a Fig. 3. A eletrosfera é dividida em sete camadas que podem ser chamadas por números ou letras. Quanto maior o número da camada, maior a energia de um elétron que está alojado nela. Assim, um elétron na camada M tem energia maior que outro na camada K. Um na camada Q tem mais energia que outro na camada M.

Os elétrons podem "pular" de cama-

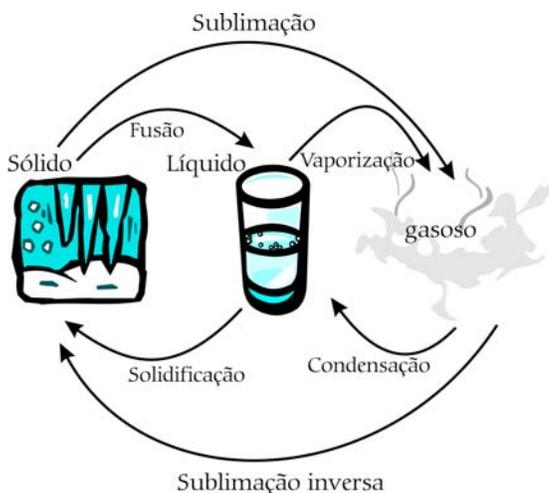


Figura 2. Classificação das mudanças de fases de um elemento

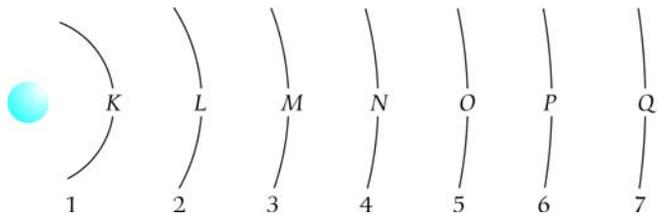


Figura 3. Os níveis de energia na moderna concepção do átomo.

da. Para passar de uma camada de menor energia para uma de maior, o elétron deve receber energia de fora do átomo (Fig. 4). Logo, para um elétron da camada K pular para a camada L, M ou N, por exemplo, ele deve receber energia de fora do átomo e também o estado/camada para onde ele vai não deve estar totalmente ocupado, como esquematizado na figura a seguir. Chama-se este átomo que recebeu energia e no qual um ou mais elétrons mudaram de camada de energia, de estado excitado do átomo.

Quando os elétrons dos estados excitados voltam para as suas camadas de origem, eles irão liberar energia. Esta energia liberada normalmente é na forma de luz, muitas vezes na faixa do ultravioleta, que

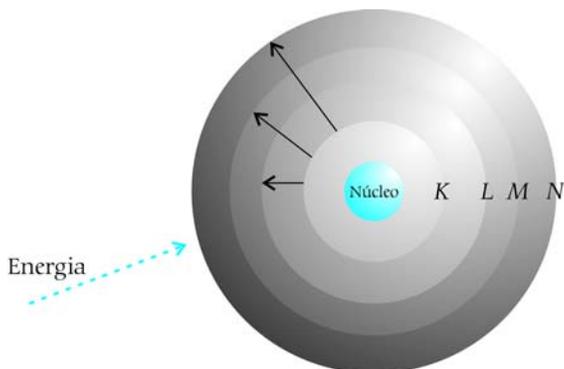


Figura 4. Um elétron passa da camada de menor energia para a de maior energia ao receber energia de fora do átomo.

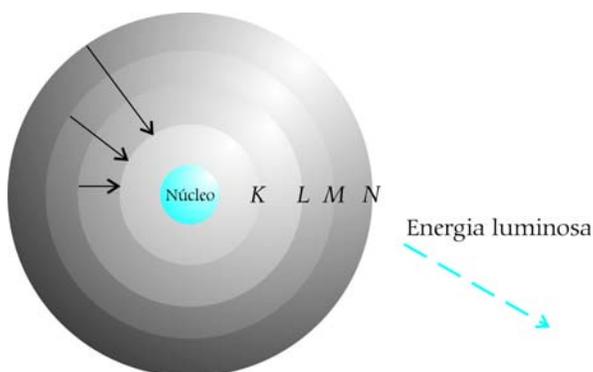


Figura 5. Um elétron passa da camada de maior energia para a de menor energia ao liberar uma certa quantidade de energia normalmente na forma de luz.

não é visível a nós humanos. A Fig. 5 exemplifica a situação descrita. Nas lâmpadas fluorescentes, como veremos, há geração de luz ultravioleta e para transformá-la em luz visível, os fabricantes usam uma camada de

fósforo em suas paredes.²

Lâmpadas fluorescentes: uma aplicação brilhante!

Como já foi dito, uma das aplicações cotidianas mais populares do plasma é a lâmpada fluorescente. Vamos entendê-la melhor agora. Neste tipo de lâmpada existe um cilindro que contém gás dentro dele. Este gás normalmente é neônio misturado com argônio e com uma pequena quantidade de mercúrio. Em uma das extremidades desse cilindro está o catodo (terminal negativo) e na outra extremidade o anodo (terminal positivo). A lâmpada tem suas paredes recobertas com uma camada de fósforo, cuja função é transformar a luz ultravioleta em luz visível. A Fig. 6 mostra de maneira esquemática uma lâmpada fluorescente.

Quando a lâmpada está brilhando, dentro dela existe um plasma em ação: ao se ligar a lâmpada, cria-se uma diferença de potencial entre o catodo e o anodo. Esta diferença de potencial fará os elétrons fluírem de um em direção ao outro através do gás dentro da lâmpada. Estes elétrons irão ionizar o gás dentro da lâmpada, formando um plasma, que é condutor e mantém a corrente elétrica

fluindo. Esta corrente, fluindo através do plasma, ativará alguns átomos de mercúrio presentes no gás dentro da lâmpada, e, do modo como comentado na seção anterior, estes emitirão luz na faixa do ultravioleta, que não é visível ao homem. O plasma tem a função de excitar os átomos de mercúrio, não de emitir luz. Como já havíamos dito, ele é um coadjuvante para os outros brilharem. O processo no gás dentro dos brilhantes luminosos comerciais é o mesmo, e tais luminosos são genericamente conhecidos como néon.

Televisão de plasma: entender o funcionamento não custa nada, mas comprar uma...

Para grande surpresa, a televisão de plasma não é uma invenção das mais recentes. Ela remonta à década de 60 do século passado, e foi inventada na universidade americana de Illinois, pelos cientistas Donald L. Bitzer e H. Gene Slottow. Estas primeiras telas de plasma eram monocromáticas, nas cores laranja ou verde. Na década de 70 do século passado, o cientista Larry Weber, da mesma universidade, construiu uma tela colorida como conhecemos hoje. Antes de conhecermos a televisão de plasma, falemos rapidamente sobre as tradicionais. Elas utilizam a tecnologia de tubo de raios catódicos, que nada mais é que um canhão que emite um feixe de elétrons dentro de um tubo de vidro. Seu funcionamento é basicamente o seguinte: o feixe de elétrons excita os átomos de fósforo na tela da televisão. A imagem é produzida pelos diferentes brilhos em diferentes áreas da tela. Na tela existem células unitárias capazes de brilhar em três cores diferentes, vermelho, verde e azul. Com a combinação destas três cores em diferentes proporções é possível formar qualquer cor desejada. Assim, se a imagem que queremos no canto da tela é amarela, o feixe de elétrons irá

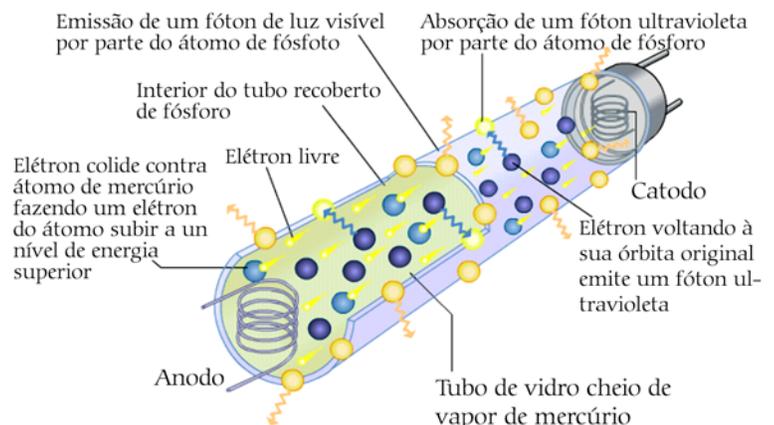


Figura 6. Esquema da lâmpada fluorescente.

combinar as cores da célula unitária de tal forma a formar o amarelo. Esta célula unitária é chamada pela palavra de origem inglesa *pixel*. Quanto maior o número de *pixels* em uma tela, melhor será a imagem. A grande desvantagem do televisor tradicional de tubo de raios catódicos é o seu tamanho. Quanto maior deseja-se a tela, maior terá que ser o tamanho do tubo para que os raios catódicos alcancem totalmente, e muito maior será a TV. Quem já viu uma TV tradicional de 29 polegadas sabe do que estamos falando. Então era preciso uma nova tecnologia para se comercializar televisores com telas maiores, e adivinhem qual é uma delas? Exatamente, a tela de plasma! Esta tecnologia permite construir grandes telas sem a necessidade do enorme tubo de raios catódicos da televisão tradicional; as de plasma medem apenas uns 15 cm de espessura.

Mas como isto é possível? A idéia da televisão de plasma é fazer brilhar pequenos pontos, que se comportam como se fossem pequenas lâmpadas fluorescentes como as descritas na seção anterior. Estas pequenas lâmpadas fluorescentes são formadas pelas cores primárias que compõem as cores do espectro luminoso (verde, azul e vermelho). Além do mais, as telas de plasma podem ter até um milhão de *pixels*.

A tela de plasma é formada por células que têm basicamente: dois vidros que compõem a tela, dois eletrodos, um gás que preenche o espaço entre os vidros (normalmente néônio ou xenônio) e um material fosforescente. A Fig. 7 esboça uma tela

A grande desvantagem do televisor tradicional de tubo de raios catódicos é o seu tamanho. Quanto maior deseja-se a tela, maior terá que ser o tamanho do tubo para que os raios catódicos alcancem totalmente, e muito maior será a TV

de plasma.

O eletrodo que fica atrás da tela é chamado de eletrodo emissor, e o eletrodo que fica na placa de vidro dianteira, transparente, é chamado de eletrodo de exposição. Esses dois eletrodos criam uma diferença de potencial. Esta diferença de potencial promoverá uma corrente elétrica através do gás presente dentro da célula da tela que promoverá uma descarga, que por sua vez ionizará os átomos do gás dentro do vidro; gás ionizado é um plasma – que também aqui terá o papel de coadjuvante, apenas mantendo a descarga para excitar o gás neutro dentro da tela de plasma para que este, sim, brilhe.

A corrente estimulará os átomos das moléculas neutras do gás, pois os elétrons livres da corrente colidirão com as moléculas de gás, fornecendo a energia necessária para que este se excite.

Os átomos de xenônio e néônio – excitados pela ação dos elétrons livres – emitirão luz quando os elétrons voltarem para níveis de energia mais estáveis. Esta energia é emitida na forma de luz ultravioleta. Como já sabemos, a luz ultravioleta não é visível aos olhos humanos, para enxergarmos termos que transformá-la em

luz na faixa do visível. Como no caso da lâmpada fluorescente, a solução é utilizar o fósforo. A radiação ultravioleta irá interagir com o fósforo presente no interior da célula: ao atingir o fósforo, ele recebe energia e um de seus elétrons passa para um nível de energia maior. Quando este elétron volta ao nível de energia inicial, ele libera energia na forma de luz visível. Na tela de plasma –

diferente da lâmpada fluorescente – a luz emitida é colorida. Isto acontece porque cada célula é formada por três partes que emitem cores diferentes – como mostra a Fig. 7. Com a mistura destas cores temos toda a gama de cores que vemos em uma tela de plasma. Para formar a luz de cor branca, por exemplo, as três cores devem ser emitidas, para ciano somente as cores azul e verde, para magenta, apenas a azul e vermelha, e para formar o amarelo, as cores verde e vermelha. Com o aumento ou diminuição da corrente através do plasma, podemos aumentar ou diminuir a intensidade das cores, podendo gerar uma quantidade significativa de tons de vermelho, verde e azul.

A vantagem da televisão de plasma é que o imenso tubo de raios catódicos dos televisores tradicionais não é necessário, o que permite a construção de um equipamento muito fino. Este tubo de raios catódicos na televisão tradicional é quem ativa os *pixels* na sua tela, enquanto na de plasma os *pixels* são ativados por impulsos elétricos. Além disto, na televisão tradicional os raios catódicos varrem a tela, e os *pixels* não acendem todos juntos; na de plasma todos os *pixels* acendem juntos, permitindo uma imagem de melhor qualidade.

Notas

¹Não confundir com o plasma sanguíneo, são homônimos que se referem a conceitos completamente diferentes.

²Fósforo é tratado aqui como um nome genérico aplicado a substâncias que exibem o fenômeno da “fosforescência”, de modo que “fósforo” não é necessariamente o elemento de número atômico 15.

Saiba mais

- A. Figueredo e M. Pietrocola, *Luz e Cores* (FTD, São Paulo, 1997).
- T. Harris, *HowStuffWorks*, disponível em <http://eletronicos.hsw.uol.com.br/tela-de-plasma1.htm>, acesso em 7/2007.
- F. Novaes, *Seara da Ciência*, Universidade Federal do Ceará, disponível em <http://www.searadaciencia.ufc.br/queremosaber/fisica/oldfisica/respostas/qr0773.htm>, acesso em 7/2007.
- P. Strathern, *O Sonho de Mendeleiev: A Verdadeira História da Química* (Jorge Zahar Ed., Rio de Janeiro, 2002).
- Teleco, *Painel de Plasma: Princípios Gerais da Tecnologia*, disponível em http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplasma/pagina_2.asp, acesso 7/2007.
- L.F. Ziebell, *O Quarto Estado da Matéria* (Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, 2004). Disponível em http://www.if.ufrgs.br/tapf/n15_Ziebell.pdf, acesso em 6/2008.

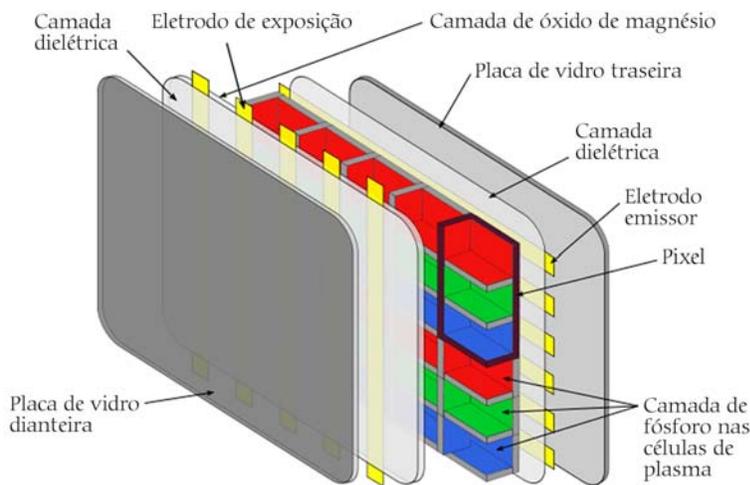


Figura 7. Componentes de uma tela de plasma.



Como ensinar óptica para alunos cegos e com baixa visão?

Eder Pires de Camargo

Departamento de Física e Química,
Faculdade de Engenharia, Universidade
Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP,
Brasil
E-mail: camargoep@dfq.feis.unesp.br

Roberto Nardi

Departamento de Educação, Faculdade
de Ciências, Universidade Estadual
Paulista, Bauru, SP, Brasil
E-mail: nardi@fc.unesp.br

Paulo Roberto Pires Maciel Filho

Colégio Batista Brasileiro de Bauru,
Bauru, SP, Brasil
E-mail: maciel@fc.unesp.br

Débora Renata Vieira de Almeida

Escola Estadual Matilde Vieira, Avaré,
SP, Brasil
E-mail: física_unesp@yahoo.com.br

Neste artigo abordamos o ensino de óptica para alunos com deficiência visual (alunos cegos de nascimento, que perderam a visão ao longo da vida ou com baixa visão). Para tanto, apresentamos sete artefatos tátil-visuais: (1) como ocorre a visão, (2) raio de luz, (3) reflexão regular, (4) refração da luz, (5) dispersão da luz, (6) câmara escura de orifício, e (7) espelhos côncavos e convexos. Os artefatos são táteis e visuais por dois motivos: (a) facilitar a comunicação entre o professor, os alunos videntes e os com deficiência visual, e (b) o professor pode utilizar os artefatos para o ensino dos alunos videntes. É importante lembrar que com a educação inclusiva a sala de aula deve organizar-se para atender as necessidades educacionais de todos os alunos. Esperamos, com este artigo, contribuir para que esse objetivo seja atingido.

Este artigo apresenta materiais para o ensino de óptica a alunos cegos e com baixa visão, além de algumas orientações práticas ao professor de física. O primeiro autor, como deficiente visual e professor de física, sempre foi questionado sobre como ensinar óptica para alunos com deficiência visual. Geralmente o tema assusta docentes que lecionam para esses alunos, e os temores são os seguintes: como ensinar um fenômeno visual para alunos que não enxergam? Como ensinar as cores? Como comunicar a idéia de imagem, refração, etc?

Em primeiro lugar, é preciso reconhecer que a deficiência visual não se limita à cegueira nativa ou adquirida; existem alunos com deficiên-

cia visual que possuem baixa visão. Esse fato é importante, pois, dependendo do tipo de deficiência visual, o aluno pode ou não ver determinados fenômenos ópticos. De acordo com a legislação brasileira, é considerado deficiente visual toda pessoa que possui, em seu melhor olho após correções com óculos ou lentes, uma acuidade visual menor que 20/200, isto é, que vê a menos de 20 m de distância um objeto que uma pessoa de visão comum vê a 200 m [1].

Em segundo lugar, é preciso diferenciar os significados dos fenômenos ópticos em duas classes. Existem aqueles que somente podem ser observados e compreendidos por meio da visão e de idéias visuais. Denominamos esses significados de indissociáveis da visão. São os casos das cores, da idéia de transparente, translúcido e opaco, da concepção de visão, do entendimento de imagem em um espelho plano ou esférico, do significado visual da refração, etc. Esses significados nunca

poderão ser comunicados aos alunos cegos de nascimento. Entretanto, se o aluno enxergou por um tempo ou possui baixa visão, esses significados podem ser comunicados a eles. Existem também os significados cuja compreensão não é dependente da visão. Denominamos tais significados de vinculados a idéias visuais. São os casos dos registros e descrições geométricas de fenômenos ópticos como raio de luz, reflexão, refração, formação de imagem em espelhos e lentes, etc. É muito comum na

óptica a utilização de registros na lousa, *data show*, retroprojektor, em livros, de esquemas visuais dos significados mencionados. Esses significados podem ser comunicados a alunos cegos de nascimento, aos que perderam a visão ao lon-

Fenômenos ópticos são constituídos de vários significados (históricos, filosóficos, tecnológicos, sociais, ligados às idéias não visuais como energia térmica, etc), e esses significados podem ser comunicados aos alunos cegos de nascimento

go da vida ou àqueles com baixa visão. Para que isto ocorra, basta a elaboração de registros táteis desses significados. Esses registros são simples de serem feitos, e pode-se utilizar materiais como barbante, papelão, cola, etc.

Embora os significados visualmente indissociáveis sejam incomunicáveis aos alunos cegos de nascimento, fenômenos que contêm tais significados podem ser enfocados normalmente em classes que contemplam a presença desses alunos. Ocorre que fenômenos ópticos são constituídos de vários significados (históricos, filosóficos, tecnológicos, sociais, ligados às idéias não visuais como energia térmica, etc), e esses significados podem ser comunicados aos alunos cegos de nascimento.

São descritos sete artefatos tátil-visuais para o ensino de óptica, os quais apresentam significados de fenômenos ópticos desvinculados da visão, podendo ser utilizados com os alunos cegos, com

baixa visão e com alunos videntes. Atualmente, devido às recomendações da LDB de 1996 [2], os alunos com deficiência visual estão estudando junto com seus colegas videntes. Particularmente (primeiro autor, Eder, deficiente visual) concordo com essa recomendação legal, pois a diversidade é muito positiva ao ensino de física.

Artefato 1: Como ocorre a visão?

Na Fig. 1 são apresentados quatro quadros que podem ser utilizados para a identificação do conhecimento prévio dos alunos com e sem deficiência visual sobre a ocorrência da visão. Os quadros foram adaptados de Goulart *et al.* [3]. Cada quadro é formado pelos seguintes elementos: sol (fonte de luz), árvore (objeto) e homem (observador). A Fig. 1.1 representa o modelo científico para a ocorrência da visão. A seta que simboliza um raio de luz, parte da fonte de luz, incide no objeto que a reflete até o observador. Os outros quadros representam modelos alternativos para a ocorrência da visão. Na Fig. 1.2 há a representação de uma seta indo do observador para o objeto e outra do objeto para o observador, sem que a fonte de luz participe. Na Fig. 1.3, há a participação da fonte de luz; contudo, o sentido da seta parte do observador para o objeto e outra do objeto para o observador, e na Fig. 1.4 as setas não relacionam diretamente observador e objeto, elas apenas partem da fonte de luz sem atingir o observador.

Para a construção desses quadros, uti-

lize os seguintes materiais:

- 4 placas de papelão de dimensões 32 cm por 28 cm;
- Adesivos de quatro cores diferentes (verde, preto, vermelho e amarelo);
- Duas placas de papelão, cada uma medindo 18 cm por 20 cm;
- Tesoura;
- Cola.

Para confeccionar os quadros, siga os passos: (1) recorte em uma das placas de papelão de 18 cm por 20 cm, seis setas com 8 cm de comprimento, duas com 16 cm de comprimento e uma com 4 cm de comprimento; (2) cole sobre as setas o adesivo vermelho; (3) recorte na outra placa de papelão de 18 cm por 20 cm, quatro siluetas de homenzinhos com 11 cm de altura e quatro siluetas de troncos de árvores com a mesma medida; (4) cole sobre os homenzinhos e sobre os troncos o adesivo preto; (5) recorte o adesivo verde no formato da copa de uma árvore. Fazer quatro copas; (6) recorte pequenos pedaços do adesivo verde. Dobre-os e cole-os sobre as copas de cada árvore a fim de representar tatilmente as folhas; (7) para representar o Sol, faça com os adesivos amarelos, quatro esferas; (8) cole sobre o papelão de dimensões 32 cm por 28 cm a representação do Sol, do homenzinho e da árvore. Em um dos cantos superiores do papelão, cole a representação do Sol. No canto inferior e diametralmente oposto, cole a representação da árvore. Por fim, no outro canto inferior, cole a representação do homenzinho; (9) cole nos quatro

quadros as setas com as seguintes configurações: quadro 1: uma seta do Sol para a árvore e outra da árvore para o homenzinho; quadro 2: uma seta do homenzinho para a árvore e outra no sentido contrário; quadro 3: uma seta do Sol para a árvore e outra do homenzinho para a árvore; quadro 4: uma seta do Sol para a árvore, outra do Sol para o homenzinho e duas partindo do Sol e indo entre a árvore e o homenzinho.

Pode-se conduzir a atividade da seguinte maneira: (1) apresente individualmente aos alunos com deficiência visual os quadros de 1 a 4. Se existir na sala mais de um aluno com deficiência visual, é conveniente que você disponha de mais de um conjunto de quadros. Para os alunos videntes, você poderá fazer registros desses quadros na lousa ou ainda projetá-los por meio de *data show*; (2) faça aos alunos a questão: (a) Qual desses quadros representa melhor a ocorrência da visão? (deixe os alunos com deficiência visual tocarem livremente os quadros, assim eles poderão identificá-los e diferenciá-los); (3) proporcione um momento para que todos os alunos apresentem suas respostas e justificativas para a questão apresentada no item 2; (4) finalizando, realize entre os alunos um debate acerca de suas respostas à questão do item 2. Nesse debate, você poderá apresentar outras duas questões complementares: São elas: (b) Para você o que é a visão? (c) Para você como ocorre a visão?

Atente-se ao fato de estar trabalhando o tema “visão” junto a um aluno que não enxerga. Por isso, valorize suas respostas, bem como, as dos alunos videntes. É por meio do debate entre discentes com e sem deficiência visual que o conhecimento sobre visão do aluno cego será construído. Após o debate, você poderá apresentar o modelo correto. Não faça isso de forma autoritária, procure sempre apresentar os modelos científicos por meio da argumentação e do convencimento.

Artefato 2: raio de luz

A Fig. 2 traz representações táteis e visuais sobre raio de luz e suas combinações, paralelos, convergentes e divergentes.

Para a construção do artefato 2, os seguintes materiais devem ser utilizados:

- Placa de papelão de 40 cm por 40 cm;
- Cartolina preta de 40 cm por 40 cm;
- Quatro metros de Barbante;
- Cola;
- Uma folha de sulfite;
- Régua;
- Lápis.

De posse desses materiais, você poderá

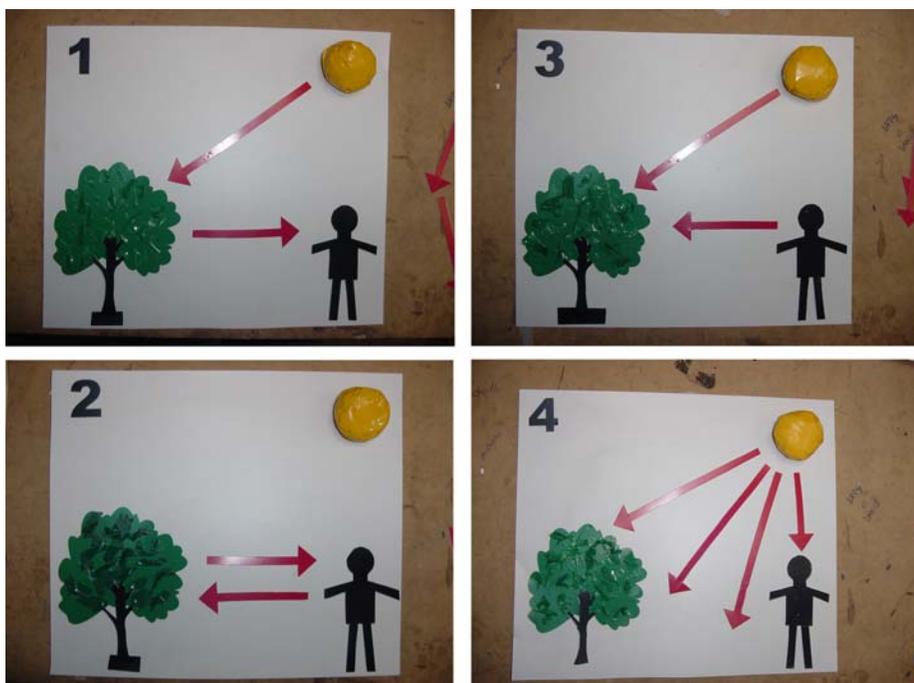


Figura 1. Quadros para identificação do conhecimento prévio dos alunos com e sem deficiência visual sobre a ocorrência da visão.

construir o artefato da seguinte maneira: (1) cole a cartolina preta sobre o papelão e em seguida divida-os em quatro partes (estrutura de papelão) iguais; (2) recorte fitas do papel sulfite de 3 cm por 18 cm e escreva nessas fitas os seguintes dizeres: 'feixe de raios paralelos', 'raio de luz', 'feixe convergente' e 'feixe divergente'. Como sugestão, tais dizeres poderiam ser escritos em tinta e em braille, o que facilitaria a identificação do aluno com deficiência visual; (3) cole uma fita com os mencionados dizeres em cada estrutura de papelão recortado; (4) recorte 20 pedaços de barbante com 20 cm de comprimento cada; (5) com o auxílio da régua e do lápis, trace nas estruturas de papelão, esquemas dos feixes paralelos, convergentes, divergentes e do raio de luz; (6) com o auxílio da cola, fixe os pedaços de barbante sobre os esquemas dos feixes paralelos, convergentes, divergentes e do raio de luz.

Por fundamentar-se em registros táteis e visuais, este artefato cria um canal de comunicação para que o professor explique ao aluno com deficiência visual que a reta que representa o raio de luz indica a direção de sua trajetória de propagação. Porém, antes de apresentar as definições, é conveniente que os alunos exponham suas idéias e conceitos sobre luz. Tal exposição é muito importante para os alunos cegos de nascimento, pois o conhecimento deles sobre luz é influenciado pelas descrições das pessoas que enxergam. Por

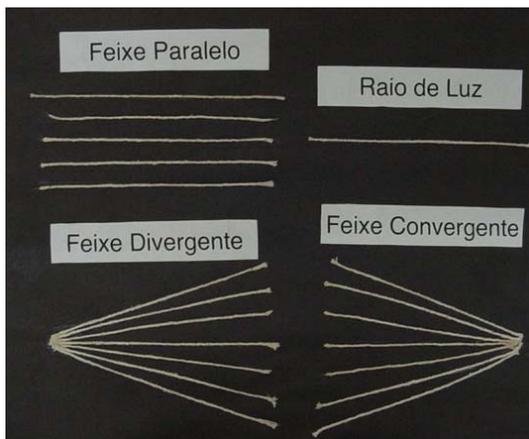


Figura 2. Representação tátil-visual de raio de luz e suas combinações, paralelos, convergentes e divergentes.



Figura 3. Representação tátil-visual do fenômeno de reflexão regular.

outro lado, é importante conhecer algumas das idéias dos alunos com e sem deficiência visual sobre luz. O conhecimento dessas idéias pode orientar as explicações que o professor apresentará. Para tanto, organiza-se um debate entre os alunos com e sem deficiência, e neste debate, discute-se questões relacionadas à luz. Sugirimos as seguintes questões (é claro que o professor poderá elaborar outras): (a) Em sua opinião o que é a luz? (b) Para você, a luz se movimentava? Como?

Artefato 3: reflexão regular

O artefato 3, visto na Fig. 3, visa auxiliar o professor em atividades de ensino que abordem o fenômeno da reflexão da luz.

Para construir o artefato 3, utilize os seguintes materiais:

- Placa de papelão (fundo branco) de 40 cm por 40 cm;
- 80 cm de barbante;
- Fita adesiva;
- Cola para colar papel;
- Uma folha sulfite;
- Régua;
- Lápis;
- Estilete.

Monte o artefato da seguinte forma: (1) com o auxílio da régua e do lápis, trace na parte inferior da estrutura de papelão, uma margem de 5 cm; (2) sobre essa margem, cole a fita adesiva; (3) utilizando a régua e o lápis, e obedecendo as leis da reflexão regular (ângulo de incidência igual ao de reflexão), trace os raios incidente e refletido sobre a fita colada; (4) cole os pedaços de barbante sobre estes traços.

Utiliza-se o artefato no seguinte contexto educacional: (1) organize grupos de alunos. É importante que os grupos sejam formados por alunos com e sem deficiência visual; (2) apresente um espelho plano aos alunos videntes e solicite para que eles olhem o espelho de frente e de lado; (3) apresente aos alunos videntes a seguinte questão: (a) Por que quando você olha de frente para o espelho você vê seu rosto e de lado, não? (4) apresente aos alunos com deficiência visual as seguintes questões: (b) O que você acha que é um espelho? (c) Por que você acha que as pessoas usam o espelho? (d) Para você, o que acontece no espelho quando as pessoas olham para ele? Por que acontece isso? (e) O que é para você uma imagem? (f) Qual é a diferença entre um espelho e um pedaço de vidro? Para explicar

aos alunos com e sem deficiência visual o fenômeno da reflexão, utilize o artefato. Para o caso dos alunos com deficiência visual, faça-os tocar na estrutura tátil da maquete. Este material, as questões e a atividade em grupo darão condições para que você trabalhe os fenômenos da reflexão regular e da formação de imagem em espelhos planos junto aos alunos com e sem deficiência visual. Atente-se ao fato de que os alunos cegos de nascimento abordarão um fenômeno não observado diretamente por eles. Por isto, valorize e utilize as opiniões desses alunos durante o processo de ensino. Valorize também as descrições apresentadas pelos alunos videntes. Este processo descritivo é importante, pois, é pela fala dos alunos videntes que significados visuais do fenômeno da reflexão chegarão aos alunos cegos de nascimento. Para finalizar, organize na sala de aula um debate geral entre os grupos de alunos. Durante este debate, você poderá trazer informações sobre os fenômenos da reflexão e da formação de imagem, seguro de que os alunos com deficiência visual não estarão abordando algo desconhecido deles.

Artefato 4: refração da luz

O artefato 4, visto na Fig. 4, traz representações táteis e visuais do fenômeno da refração da luz.

Para construir o artefato 4, utilize os seguintes materiais:

- Placa de papelão (fundo branco) de 40 cm por 40 cm;
- 40 cm de barbante;
- Uma folha de papel celofane azul;
- Fitas adesivas coloridas (3 cores distintas para confeccionar faixas estreitas);
- Régua;
- Cola;
- Lápis;
- Folha de papel sulfite.

Para montar o artefato, siga os procedimentos descritos: (1) divida o papelão ao meio, marcando com o lápis uma linha divisória; (2) sobre esta linha, cole uma fita de 1 cm de largura e 40 cm de comprimento. Esta fita representará o dióptro plano (superfície de separação entre os meios); (3) de forma aleatória, escolha uma das metades para ser o meio mais refringente e a outra o menos refringente; (4) utilizando lápis e régua, trace a normal à superfície de separação dos meios, o raio incidente, o raio refratado, bem como o prolongamento da trajetória do raio de luz incidente após a refração; (5) sobre o traçado da reta normal, cole uma fita de largura menor e de cor diferente da utilizada como dióptro plano; (6) sobre o

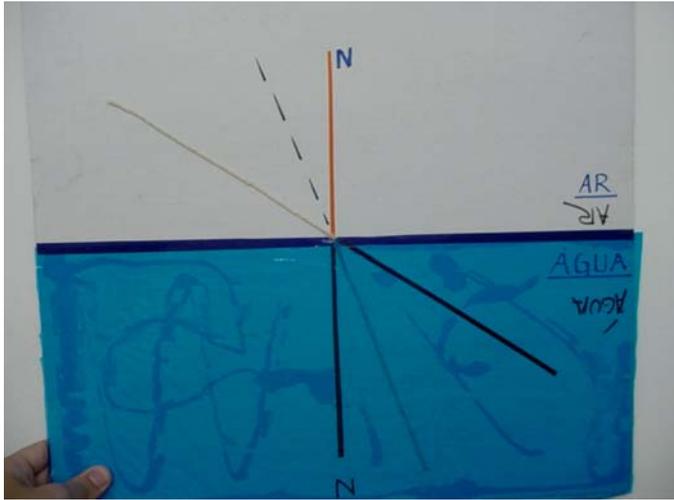


Figura 4. Representação tátil-visual do fenômeno da refração da luz.

traçado do prolongamento do raio incidente, cole uma fita adesiva de cor diferente das fitas utilizadas para representar a reta normal e o dióptro plano; (7) sobre os traçados dos raios incidentes e refratados, cole pedaços de barbantes; (8) na parte da maquete que representará o meio “água”, cole o papel celofane azul. Para que tanto o barbante quanto as fitas adesivas possam ser percebidas tátilmente, tome o cuidado de esticar bem o papel celofane; (9) escreva em fragmentos da folha sulfite as palavras: ar e água. Cole esses fragmentos nas partes que representam os meios ar e água. Isto identificará visualmente os referidos meios. Preferencialmente, escreva essas palavras em tinta e em braile. Isto facilitará a identificação dos meios pelo aluno com deficiência visual.

Pode-se utilizar este artefato no seguinte contexto educacional: (1) apresente aos alunos videntes um copo cheio de água com um lápis colocado de forma inclinada em seu interior; (2) peça aos alunos videntes para que descrevam como aparenta estar o lápis, se reto ou torto; (3) pergunte a eles, bem como aos alunos com deficiência visual: na opinião de vocês o lápis realmente entorta quando imerso em água, ou apenas aparenta estar torto? Por quê? É conveniente mostrar aos alunos o lápis antes dele ser colocado dentro do copo. Para o caso dos alunos com deficiência visual, deixe-os tocar o lápis; (4) promova entre os alunos um debate sobre suas opiniões acerca do lápis torto ou reto. Tome o cuidado de fazer com que os alunos com deficiência visual apresentem suas opiniões e dúvidas. Como esses alunos estarão discutindo um fenômeno não observado por eles, é muito importante que eles conheçam os relatos dos alunos videntes. Na mesma medida, é

muito importante que suas interpretações venham à tona a fim de que você tenha subsídios para o tratamento das mesmas; (5) utilize o artefato 4 para explicar aos alunos o motivo do lápis parecer torto dentro do copo. Faça os alunos com deficiência visual tocarem o artefato e perceberem a mudança de direção do raio de luz ao passar da água para o ar; (6) utilize o artefato 4 para explicar aos alunos que a luz pode afastar-se ou aproximar-se da normal, dependendo do sentido de propagação dos raios de luz (do meio mais para o menos refringente ou do meio menos para o mais refringente). Para tanto, você pode apresentar o artefato na posição conveniente. Para finalizar, explique aos alunos que, na refração, somente ocorre desvio da luz quando esta incide obliquamente na superfície de separação de dois meios físicos. Quando a luz incide perpendicularmente à superfície, ocorre a refração, contudo, sem desvio, apenas com

variação de sua velocidade de propagação.

Artefato 5: dispersão da luz

Este artefato, visto na Fig. 5, é tridimensional. Traz representações táteis e visuais do fenômeno da dispersão da luz em um prisma.

Para construir o artefato 5, utilize os seguintes materiais:

- 2 metros quadrados de chapa de acrílico de 1 mm (ou material semelhante);
- Cola de silicone (cola quente);
- 4 metros de barbante;
- Três tubos de guache nas cores primárias.

A fim de montar o artefato, siga os procedimentos descritos: (1) recorte no acrílico dois triângulos equiláteros com aresta de 16 cm, dois retângulos de 16 cm por 10 cm, um retângulo de 20 cm por oito cm e outro retângulo de 45 cm por oito cm; (2) corte sete barbantes de 70 cm de comprimento; (3) cole com a cola de silicone os acrílicos triangulares aos retangulares de 16 cm x 10 cm de modo a formar um prisma sem o fundo; (4) depois de colados, fure um dos retângulos em seu centro (o furo deve ser suficiente para a passagem de sete barbantes entrelaçados). No outro retângulo, faça sete furos equidistantes, de forma que passe por cada furo apenas um barbante; (5) enrole os barbantes e passe pelo furo maior. Os barbantes enrolados representarão o raio de luz branca; (6) cole no prisma, do lado onde existe apenas um furo, o retângulo de acrílico de 20 cm x 8 cm. Faça um outro furo, próximo a uma das pontas, para a passagem dos 7 barbantes trançados; (7) passe os barbantes por esse furo e cole-os de modo que fiquem fixos nas duas pontas. Está pronto o feixe de raio incidente;

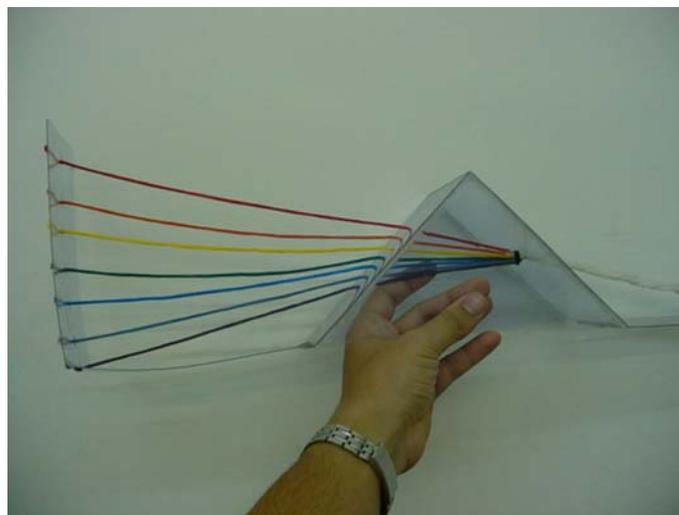


Figura 5. Representação tátil-visual da dispersão da luz branca em um prisma.

(8) dentro do prisma (sem fundo), separe os barbantes e utilize o guache com as cores primárias para produzir as 7 cores do arco-íris (vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta); (9) pinte o restante dos barbantes, cada um com uma cor. Siga a seqüência das cores do arco-íris; (10) passe os barbantes pelos furos do outro lado do prisma seguindo a ordem do arco-íris, ou seja, o violeta na parte inferior e o vermelho na parte superior (ver seqüência no item 8); (11) cole do lado do prisma onde estão os sete furos o retângulo maior (45 cm x 8 cm) e dobre-o ao meio, formando um "L"; (12) na parte do L que ficou para cima, faça novamente sete furos equidistantes, tomando o cuidado de espaçá-los mais que os contidos no interior do prisma; (13) passe os barbantes por estes furos na mesma ordem que os que saíram do prisma, fixando-os ao acrílico.

Este artefato poderá ser utilizado no seguinte contexto educacional: (1) coloque um prisma de água sobre um retroprojetor ligado e peça para os alunos videntes observarem as características da luz emitida. Nessas condições, a luz do retroprojetor, ao passar pelo prisma, será decomposta nas cores do arco-íris, que aparecerão na tela de projeção; (2) peça aos alunos videntes para que descrevam suas observações; (3) peça aos alunos videntes para que relacionem suas observações a algo conhecido deles. Muito provavelmente, eles relacionarão suas observações ao fenômeno do arco-íris; (4) pergunte a todos os alunos o que é o arco-íris, o porquê de suas cores, da sua forma, quando ele aparece, etc. Essas questões são muito importantes por dois motivos: (a) Como os alunos com deficiência visual estarão abordando um fenômeno não observado por eles, as declarações dos alunos videntes estarão descrevendo caracte-

rísticas inerentes a tal fenômeno. Isto é importante para que os alunos com deficiência visual elaborem idéias iniciais acerca do tema tratado. (b) O professor terá acesso às idéias prévias dos alunos com deficiência visual, e isto é fundamental à qualidade das orientações que serão prestadas a eles; (5) utilize o artefato 5 para a explicação do fenômeno da dispersão da luz. Note que esse artefato, por trazer registros táteis e visuais, poderá ser utilizado para a orientação de todos os alunos, com ou sem deficiência visual. Explore junto aos alunos o referencial tátil oferecido pelo artefato. Tem-se notado que o tato é um sentido muito importante para a construção de conhecimento científico, já que é potencialmente analítico e detalhista [4]. Dessa forma, as idéias geométricas do fenômeno da dispersão seriam mais adequadamente abordadas pela via tátil do que pela visual. Dentre tais idéias, destacam-se: (a) A luz branca é policromática, e (b) A luz branca é decomposta ao passar pelo prisma. Verifica-se que quando o aluno toca em registros táteis dos fenômenos mencionados, ele cria significados melhor estruturados do que os obtidos pela observação visual, que, em geral, é mais sintética.

Artefato 6: câmara escura de orifício

Para construir o artefato tátil-visual da câmara escura (Fig. 6), utilize os seguintes materiais:

- Placa de papelão (fundo branco) de 20 cm por 40 cm;
- Duas placas quadradas de papelão de 10 cm;
- Uma placa quadrada de cartolina preta de 10 cm;
- Um metro de barbante;
- Cola;
- Régua;

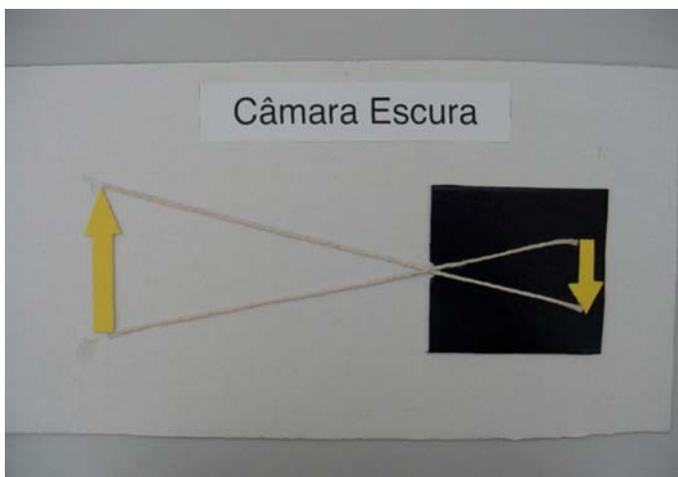


Figura 6. Representação tátil-visual de uma câmara escura.

- Lápis;
- Tinta guaxe amarela.

A confecção do artefato deve seguir os seguintes passos: (1) recorte, em uma das placas de papelão de 10 cm x 10 cm, duas setas, sendo uma a metade do tamanho da outra. Com a tinta, pinte as duas de amarelo; (2) cole a cartolina preta de 10 cm x 10 cm sobre a outra placa de papelão de 10 cm x 10 cm; (3) próximo a uma das extremidades da placa de papelão de 20 cm x 40 cm, cole o papelão com a cartolina preta. Próximo à outra extremidade, cole a seta maior; (4) sobre o papelão com a cartolina preta, cole com a ponta para baixo, a seta menor; (5) trace com a régua e o lápis uma linha que ligue as pontas das duas setas e outra que ligue suas bases; (6) com o auxílio da cola, fixe os barbantes sobre estas linhas.

Este artefato também serve para representar a máquina fotográfica e a formação de imagem no olho humano. Ele criará uma interface tátil com os alunos cegos e uma interface tátil-visual com os alunos videntes. Deixe os alunos com deficiência visual explorarem bem o artefato, conduza suas mãos ao longo do material, detalhando características e propriedades que você deseja ensinar. Dentre essas características, destacamos a comparação entre as dimensões do objeto e da imagem, bem como suas posições relativas (invertidas). Pode-se elaborar questões e promover debates. É sempre importante que os alunos com e sem deficiência visual apresentem suas experiências com objetos como máquina fotográfica, posição da imagem no olho humano, etc. Essa troca de experiências entre vidente e deficiente visual é fundamental à construção do conhecimento de óptica pelo aluno que não enxerga.

Artefato 7: espelhos côncavos e convexos

São apresentadas na Fig. 7 as fotos de 1 a 6 e os materiais utilizados na confecção dos mesmos. Esses quadros representam várias possibilidades para a formação de imagens em espelhos côncavo ou convexo. Por isso, a estrutura básica da representação dos espelhos (espelho côncavo ou convexo, eixo principal, centro de curvatura, foco e vértice) é a mesma. O que diferencia os quadros são as posições do objeto e de sua imagem. A Fig. 7.1 representa a formação de imagem em um espelho convexo (com objeto entre o foco e vértice). As Figs. 7.2 a 7.6 representam espelhos côncavos. Na Fig. 7.2, o objeto se encontra antes do centro de curvatura. Na Fig. 7.3, o objeto se encontra sobre o referido centro. Na Fig. 7.4, o objeto se localiza entre o centro de curvatura e o foco. Já a Fig. 7.5 traz

a representação de um objeto posicionado sobre o foco. Por fim, na Fig. 7.6 o objeto se encontra entre o foco e o vértice.

Para construir os quadros, utilize os seguintes materiais:

- Placa de papelão (fundo branco) de 20 cm por 40 cm;
- Placa de papelão (fundo branco) de 20 cm por 5 cm;
- Placa de papelão (fundo branco) de 10 cm por 10 cm;
- Adesivo colorido;
- Papel contact colorido, preto, azul e cinza;
- 5 m de barbante;
- Cola;
- Tinta guaxe (3 cores primárias).

Atente-se ao fato de que a confecção de cada quadro necessita dos materiais listados. Para confeccionar os quadros, siga os procedimentos descritos: (1) recorte o papelão 20 cm x 5 cm no formato da representação do espelho esférico desejado; (2)

com as sobras do papelão utilizado para a construção da representação do espelho, recorte 3 quadrados de 0,5 cm x 0,5 cm; (3) utilizando a tinta guaxe, pinte, com cores diferentes, cada um dos quadrados mencionados. Esses quadrados representarão o centro, o vértice e o foco; (4) recorte uma tira de 40 cm x 0,5 cm do adesivo; (5) cole a fita sobre o papelão de 20 cm x 40 cm de modo a dividi-lo ao meio (cole a fita paralelamente ao lado de 40 cm). A fita representará o eixo principal do espelho esférico; (6) sobre o eixo principal, cole a representação do espelho esférico, bem como do centro de curvatura, do foco e do vértice. Esses pontos devem estar espaçados de forma a não desprezar as leis da óptica geométrica (vértice correspondendo ao ponto de intercessão do eixo principal com a reta tangente ao espelho, e $c = 2f$, onde c representa o centro de curvatura e f o foco do espelho esférico); (7) recorte na placa de papelão de 10 cm x 10 cm duas setas que

representarão, respectivamente, o objeto e a imagem; (8) por meio da lei de Gauss e da equação do aumento linear, as alturas das setas, bem como suas posições relativas ao espelho devem ser calculadas; (9) obedecendo as posições calculadas, cole com o adesivo colorido as setas sobre a placa de papelão de 20 cm x 40 cm; (10) trace sobre o papelão duas linhas que representem raios de luz partindo do objeto: (a) O raio paralelo ao eixo principal, que é refletido passando pelo foco; e (b) O raio que incide no vértice do espelho (ângulo de incidência igual ao de reflexão); (11) após desenhar a representação dos mencionados raios luminosos, cole sobre elas os barbantes.

Variando a posição do objeto em relação ao espelho, pode-se construir quadros que representem os principais esquemas de formação de imagem em espelhos côncavo e convexo.

Apresente os quadros aos alunos com deficiência visual, deixe-os tocar detalhadamente nos mesmos, conduza suas mãos sobre os elementos constituintes dos quadros, explique o processo de formação de imagem, defina imagem real, virtual, trabalhe o tema das posições das imagens, etc. É conveniente levar para a sala de aula espelhos reais, promover momentos onde os alunos videntes olhem para esses espelhos e verifiquem as características das imagens. Também pode-se promover um debate entre os alunos. Nesse debate, peça aos alunos videntes para que descrevam o que observaram nos espelhos esféricos; incentive os alunos com deficiência visual a apresentarem o que compreenderam das observações dos quadros, apresente para discussão aplicações práticas dos espelhos esféricos, como as seguintes: utilização do espelho convexo como retrovisor de carros, sistema de segurança em estabelecimentos comerciais, etc., e utilização de espelhos côncavos em telescópio, espelho de ampliação para maquiagem, etc. É claro que pode-se trazer para debate outras situações práticas dos espelhos esféricos. Portanto, seja criativo.

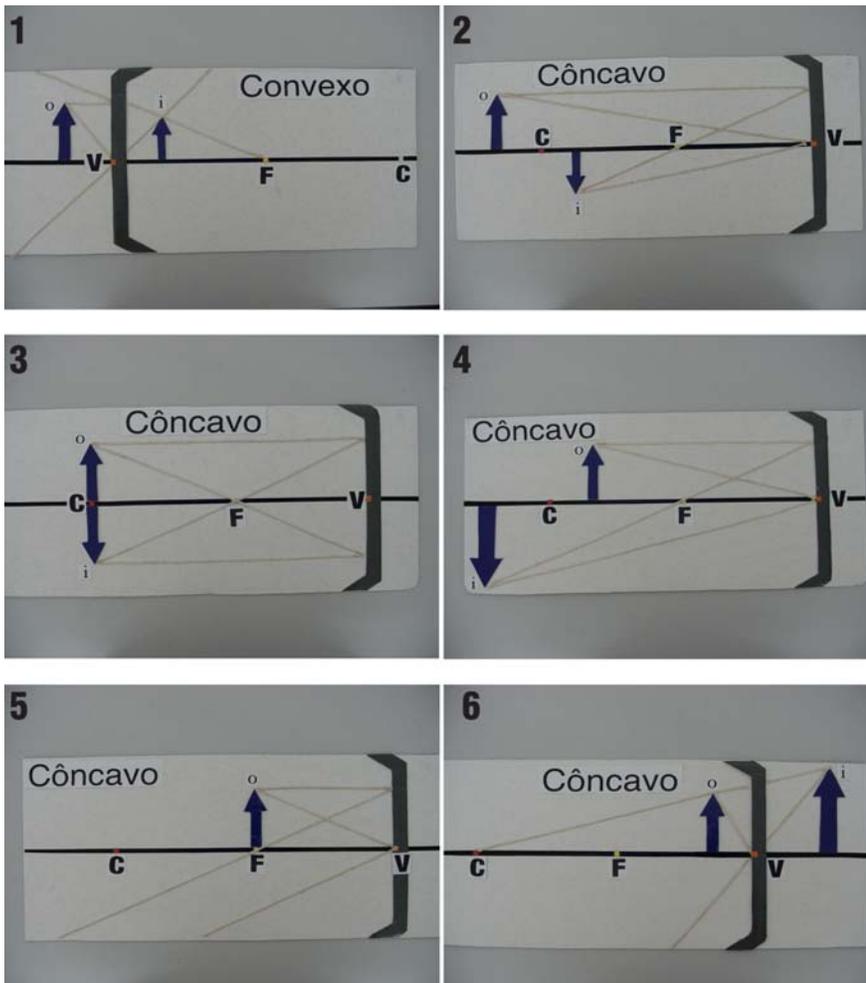


Figura 7. 1. Espelho convexo (objeto entre o foco e o vértice). 2. Espelho côncavo (objeto localizado antes do centro de curvatura). 3. Espelho côncavo (objeto localizado sobre o centro de curvatura). 4. Espelho côncavo (objeto localizado entre o centro de curvatura eo foco). 5. Espelho côncavo: (objeto sobre o foco). 6. Espelho côncavo (objeto localizado entre o foco e o vértice).

Referências

- [1] Brasil, Decreto n. 3.298, de 20 de dezembro de 1999. 2004. Disponível em <http://www.cedipod.org.br>.
- [2] Brasil, Lei n. 9.394, de 20/12/1996. Fixa diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n. 248, de 23/12/1996.
- [3] S.M. Goulart, E.C.N. Dias e S.L.S. Barros, Caderno Catarinense de Ensino de Física **6**, 9 (1989).
- [4] M.A. Soler, *Didáctica Multisensorial de las Ciencias* (Ediciones Paidós Ibérica S.A, Barcelona, 1999).



Usando um LED como fonte de energia

.....
Esdras Garcia Alves

Colégio Santo Agostinho, Belo Horizonte, MG, Brasil

E-mail: egafisica@yahoo.com.br

.....
Andreza Fortini da Silva

Escola Municipal Francisco Borges da Fonseca, Belo Horizonte, MG, Brasil

.....

O Sol é fonte de energia fundamental para o nosso planeta. A cada segundo, trilhões e trilhões de átomos de hidrogênio (H) se fundem formando átomos de hélio (He). Nestas reações há uma diminuição da massa dos reagentes e uma grande liberação de energia, que é irradiada na forma de luz e calor para todo o espaço em seu entorno. Parte desta energia chega ao nosso planeta, contribuindo de forma vital para a manutenção da vida.

Com a crescente preocupação em frear a degradação do planeta e o constante aumento pela demanda de energia, o Sol vem ocupando lugar de destaque como uma grande e importante fonte de energia alternativa. Há alguns anos os arquitetos passaram a se preocupar com construções que privilegiam a iluminação natural; algumas residências utilizam a

As células fotovoltaicas são os dispositivos responsáveis pela transformação da energia solar em elétrica. Estas células são feitas com materiais semicondutores e seu alto custo ainda é um fator limitante para uso em larga escala

energia solar para o aquecimento da água, por meio de coletores solares; em uma escala ainda muito pequena a energia solar também é transformada em energia elétrica - as células fotovoltaicas são os dispositivos responsáveis por esta transformação direta da energia solar em elétrica. Estas células são feitas com materiais semicondutores e seu alto custo é um fator limitante para uso em larga escala. Muitas pesquisas têm sido feitas no sentido de tornar estas células mais eficientes, de modo a reduzir o custo da energia convertida por célula.

Neste artigo vamos focar o funcionamento de uma célula fotovoltaica. Para que o professor tenha condições de mostrar, na prática, a transformação da energia solar em elétrica, sugerimos uma maneira de ligar um relógio digital por meio de uma "célula fotovoltaica de baixo

custo": um LED.¹

Materiais semicondutores

Os materiais semicondutores são a base da indústria eletrônica. Sua importância está na possibilidade de alteração de suas características elétricas de forma "simples". Estes materiais recebem o nome de semicondutores por não serem totalmente isolantes - como a borracha, ou o vidro - mas também não serem bons condutores como o cobre, ou o ferro. No entanto, se forem adicionados átomos diferentes a estes materiais, eles podem ter suas características elétricas alteradas. O silício (Si) é um exemplo de semicondutor muito utilizado na indústria. Se um átomo de fósforo (P) for inserido em um cristal de silício, haverá um elétron a mais na rede cristalina. Este elétron poderá se mover pelo material, pois não está fortemente ligado ao

átomo. O novo material possui elétrons em excesso e é por isso chamado semicondutor tipo n. O oposto ocorrerá se um átomo de gálio (Ga) for inserido na rede cristalina de silício. Um elétron estará faltando, e este "buraco" se comportará como uma carga positiva,² que também pode mover-se pelo material, pois um elétron de um átomo vizinho pode ocupar este espaço. O semicondutor com falta de elétrons é chamado de semicondutor tipo p. A Fig. 1 ilustra este processo de inserção de átomos estranhos em uma rede cristalina, denominado "dopagem" [1].

Uma célula fotovoltaica é uma junção dos dois tipos de materiais semicondutores descritos acima. Uma junção pn, como a denominamos, possui propriedades muito peculiares e é de grande interesse na indústria eletrônica, tendo várias aplicações [2]. Nas Figs. 2 e 3 há um esquema do que

Com a crescente demanda de energia elétrica e a atual preocupação com a preservação ambiental, as energias limpas se transformaram em necessidades urgentes. A energia solar é uma excelente alternativa. As células fotovoltaicas - dispositivos construídos com materiais semicondutores - podem transformar a energia solar diretamente em energia elétrica.

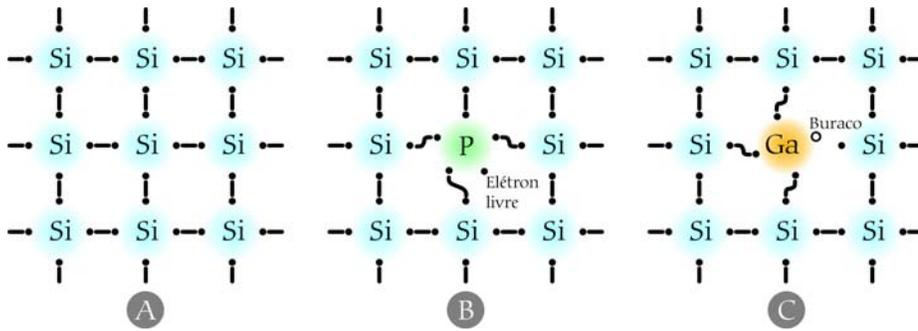


Figura 1. (a) Representação bidimensional de um cristal de silício. (b) Quando um átomo de fósforo é adicionado à rede ele disponibiliza um elétron, que fica livre para se mover pelo cristal. (c) Se for adicionado um átomo de gálio, haverá a falta de um elétron (buraco). Como um elétron de um átomo vizinho pode ocupar este buraco, o efeito final é o de uma carga positiva se movendo pelo cristal.

ocorre em uma junção pn quando ela é iluminada [3].

A luz é constituída por fótons com energia $E = hv$, onde h é a constante de Planck e v é a frequência da luz. Quando estes fótons incidem sobre a junção, eles penetram no material e podem ser absorvidos por elétrons na banda de valência.³ Se a energia do fóton for da mesma ordem de grandeza que a diferença de energia das bandas, E_g na Fig. 2, o elétron poderá alcançar a banda de condução, onde estará livre para se mover. A saída de um elétron da banda de valência deixa um buraco na mesma. Com a iluminação constante, haverá um grande número de pares elétron-buraco gerados pela absorção de fótons. Devido à presença dos átomos dopantes, os elétrons da banda de condução se deslocarão para a região n e os buracos da banda

de valência se deslocarão para a região p. Se um fio condutor conectar o lado p ao lado n, teremos uma corrente de elétrons se movendo da região de maior concentração de elétrons para a região com escassez de elétrons, como em uma pilha.

O LED como célula solar

As células fotovoltaicas convencionais ainda são muito caras e raras no mercado comum. Como modelo de célula fotovoltaica propomos o uso de um LED, muito mais acessível em termos de custo e mercado. Testamos vários tipos de LEDs, e os melhores resultados foram encontrados com LEDs vermelhos de 10 mm com encapsulamento transparente. Os LEDs vermelhos de 5 mm com encapsulamento transparente também apresentaram bons resultados.

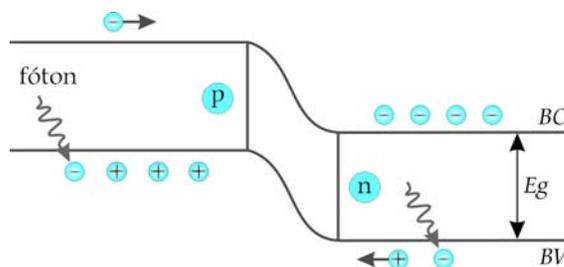


Figura 2. Fótons com energia $E = hv$ atingem a junção. Se a energia dos fótons for da ordem de grandeza de E_g , um elétron da banda de valência (BV) pode absorver a energia do fóton.

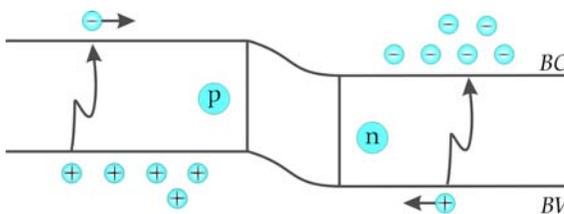


Figura 3. Absorvendo a energia do fóton, o elétron alcança a banda de condução (BC). Os elétrons na banda de condução tendem a se concentrar no lado n e os buracos na banda de valência no lado p, devido à presença dos átomos dopantes.

O LED também é constituído por uma junção pn [4]. Na Fig. 4 há um diagrama ilustrando o dispositivo. O lado n da junção está preso a um contato metálico, que serve também como um espelho refletor para direcionar a luz. No lado p há apenas um fio estabelecendo o contato elétrico entre o semiconductor e o outro terminal do LED, de modo que a maior parte do semiconductor fica exposta. Esta construção é necessária porque a luz sai diretamente de onde houve uma combinação entre um elétron e um buraco. Um elétron que venha da banda de condução para ocupar um buraco na banda de valência deve perder energia. Esta energia é liberada na forma de fótons, cuja energia corresponde ao valor de E_g . Portanto, se forem construídos LEDs com diferentes valores para E_g - e isto é conseguido utilizando diferentes dopantes - pode-se produzir diversas cores para a luz dos LEDs. Como o valor de E_g define a energia dos fótons emitidos, o espectro de emissão de um LED possui um pico bastante pronunciado em torno de um comprimento de onda característico, como mostra a Fig. 5.

Embora os LEDs sejam projetados para emitir fótons, eles também podem funcionar como receptores de luz. Em diversos artigos na literatura encontramos o uso de LEDs como fotosensores [5-7]. Porém, assim como a emissão é bastante pronunciada em torno de uma frequência característica, a recepção se dá para uma faixa de frequências cuja energia esteja em torno de E_g . Este comportamento ressonante dos LEDs permite que eles sejam utilizados como sensores para faixas

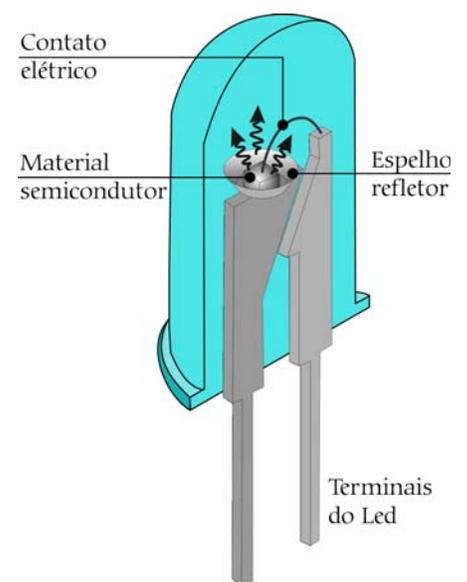


Figura 4. Detalhes internos da estrutura do LED.

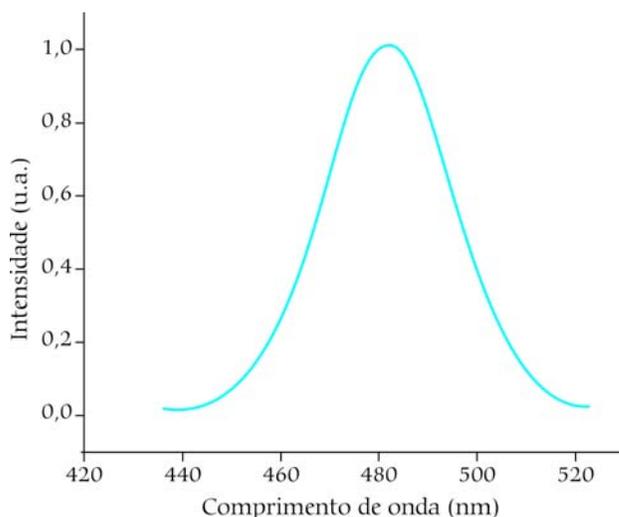


Fig. 5. Espectro de emissão de um LED azul.

restritas do espectro. Fótons com energias muito diferentes de E_g não são efetivamente absorvidos pelos elétrons e não haverá a geração de pares elétron-buraco nestas situações. Um LED que emita luz verde, por exemplo, será um bom receptor para luz verde, mas não para outras cores do espectro. É por este motivo que sugerimos utilizar como fontes de luz, nos experimentos a seguir, o Sol ou uma lâmpada incandescente, pois estas fontes possuem um espectro contínuo de radiação, possuindo todas as frequências da luz.

Muitos livros falam sobre o uso das células fotovoltaicas, mas não fornecem detalhes sobre seu funcionamento e nem sugestões alternativas que o professor possa utilizar para ilustrá-la na prática. Assim, abordamos de forma sucinta o funcionamento dessas células, fornecendo uma base teórica para a compreensão da transformação direta da energia solar em elétrica

Para verificar a produção de tensão elétrica em um LED iluminado, basta ligar os seus terminais a um voltímetro para medir tensões contínuas na escala de 2 V e iluminar o LED com uma fonte de luz intensa. A tensão pode chegar a 1,5 V se o LED for exposto ao Sol. Embora a tensão seja relativamente alta, a corrente alcançada não passa de poucos microamperes, mesmo sob iluminação intensa. Tal fato pode ser compreendido observando o tamanho do semicondutor do LED, que não passa de 1 mm². Uma célula fotovoltaica convencional possui uma grande área de material semicondutor exposta à luz, de forma a poder absorver uma grande quantidade de fótons, ou seja, muita energia. Portanto é necessária uma carga compatível para funcionar com uma corrente tão baixa; um relógio digital é ideal para esta aplicação.

O relógio digital usado por nós é do tipo encontrado em lojas de produtos populares. É necessário retirar a bateria e sol-

dar dois fios nos terminais da mesma (sugerimos desmontar o relógio e soldar os fios diretamente na placa). Ligue os terminais do LED aos fios do relógio e ilumine o LED com uma luz bastante intensa, de preferência o Sol, e veja se o relógio funciona.

Se não funcionar, inverta os fios, pois tanto o LED quanto o relógio possuem polaridade. É possível fazer o relógio funcionar com uma lâmpada incandescente - indicada para as demonstrações em dias nublados - mas neste caso devem ser usados no mínimo três LEDs ligados em série. Esta é uma estratégia para alcançar maior tensão,

se o professor desejar aplicá-lo em outras situações. Em nossa versão, mostrada na Fig. 6, colocamos os LEDs em um disco de madeira e o fixamos em uma bola de desodorante *roll-on*. Utilizando este artifício é possível orientar os LEDs para a posição de máxima incidência de luz.

Conclusão

Muitos livros falam sobre o uso das células fotovoltaicas, mas não fornecem detalhes sobre seu funcionamento e nem sugestões alternativas que o professor



Figura 6. LEDs funcionando como célula fotovoltaica.

possa utilizar para ilustrá-la na prática. Tendo estes aspectos em vista, procuramos abordar de forma sucinta o funcionamento das células fotovoltaicas a fim de fornecer uma base teórica para a compreensão da transformação direta da energia solar em elétrica. Enquanto educadores, acreditamos que promover o contato de jovens estudantes com tecnologias potencialmente transformadoras é uma forma de sensibilizá-los quanto à necessidade de uma busca de soluções concientes para a sociedade.

O uso deste material não se restringe apenas a estudantes da educação básica, onde o professor pode usá-lo em seqüências sobre transformações de energia. Em diversas oficinas que realizamos com professores e estudantes de graduação, há sempre um grande espanto quando vêem um relógio funcionando com a energia "gerada" por um LED. A física de semicondutores pode ficar mais atrativa com estes experimentos que surpreendem nosso senso comum.

Notas

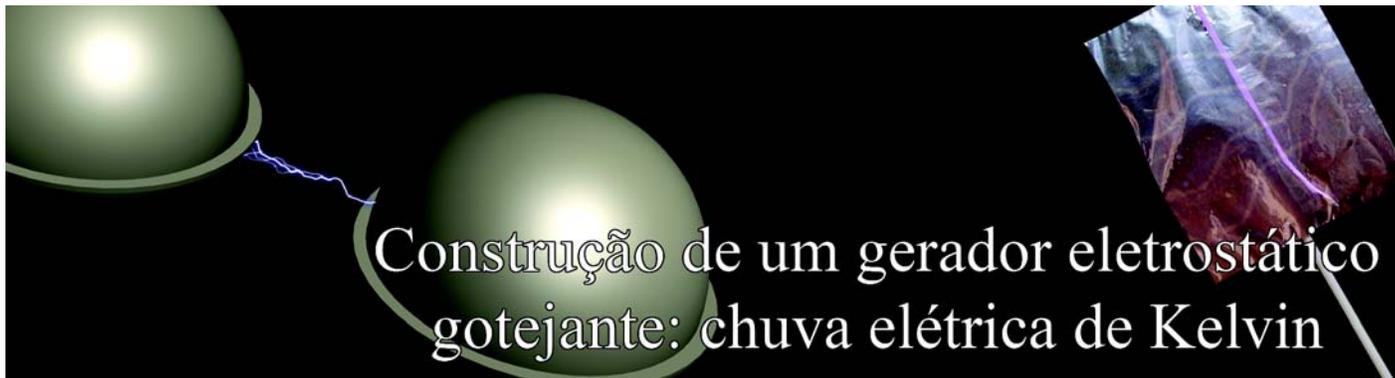
¹Diodo emissor de luz, em inglês. Os LEDs são aquelas lampadzinhas facilmente encontradas nos painéis de equipamentos eletroeletrônicos.

²O buraco não é fundamentalmente uma carga positiva, mas sim, como o próprio nome sugere, a ausência de um elétron.

³A banda de valência é a última banda de energia com elétrons ligados aos átomos em um sólido.

Referências

- [1] Eduardo de Campos Valadares, Alair S. Chaves e Esdras Garcia Alves, *Aplicações da Física Quântica: Do Transistor à Nanotecnologia* (Livraria da Física, São Paulo, 2005), 1ª ed.
- [2] Robert Boylestad e Louis Nashelsky, *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos* (Prentice-Hall do Brasil, Rio de Janeiro, 1994), 5ª ed.
- [3] Reginaldo da Silva, Adenilson J. Chiquito, Marcelo G. de Souza e Rodrigo P. Macedo, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **26**, 379 (2004).
- [4] Marisa Almeida Cavalcante, Cristiane R.C. Tavoraro, Dione Fagundes de Souza e João Muzinatti, *Física na Escola* **3**:1, 24 (2002).
- [5] L. Nieves, G. Spavieri, B. Fernandes e R.A. Guevara, *The Physics Teacher* **35**, 108 (1997).
- [6] Marisa Almeida Cavalcante, Cristiane R.C. Tavoraro e Rafael Haag, *Física na Escola* **6**:1, 75 (2005).
- [7] Marisa Almeida Cavalcante e Rafael Haag, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **27**, 343 (2005).



Construção de um gerador eletrostático gotejante: chuva elétrica de Kelvin

Neste trabalho construímos um gerador eletrostático no qual a alta tensão é gerada pela queda de gotas de água que estão carregadas eletricamente, sendo armazenadas em recipientes isolados eletricamente da terra. Através de uma construção simples e de baixo custo, vários conceitos relacionados à eletrostática podem ser discutidos em diferentes níveis de ensino.

Este instrumento foi construído originalmente por William Thomson (1824-1907), também conhecido por Lord Kelvin, com sua descrição publicada em 1867 [1]. Kelvin sempre teve um grande interesse em eletrostática e no ensino de física. Suas contribuições significativas ao desenvolvimento da física, da indústria e na introdução do laboratório didático em universidades britânicas foram bem analisadas por Studart [2] e Lloyd [3]. A Revista Brasileira de Ensino de Física, em seu v. 29, n. 4 (2007) apresentou uma seção especialmente dedicada a Lord Kelvin no centenário de sua morte.

Experiências de eletrostática em geral proporcionam efeitos visuais interessantes. O gerador eletrostático gotejante descrito aqui é chamado algumas vezes de chuva elétrica de Kelvin [4-6]. Além do efeito visual, ele traz consigo uma grande quantidade de detalhes, desde a sua construção até seu funcionamento, transformando-o em uma interessante ferramenta didática sobre eletrostática. Conseguimos abordar com esta construção conceitos como condutores e isolantes, indução eletrostática e campo elétrico, dentre outros.

A chuva elétrica é capaz de produzir altas tensões através da queda de gotas

de água que são carregadas eletricamente durante o funcionamento da experiência, sendo armazenadas em recipientes isolados eletricamente, a fim de que a carga elétrica acumulada não se perca para a Terra. Na Fig. 1 encontramos um esquema geral da montagem. O aparelho consiste em dois reservatórios de água na parte

superior, que vão gotejar ao longo da experiência. Abaixo de cada gotejador existe um anel metálico que fica carregado eletricamente, um deles com carga positiva e o outro com carga negativa. Cada anel funciona como indutor de

cargas nas gotas. Nesta experiência ocorrem altas voltagens entre a água e o solo, da ordem de milhares de volts. Nestes casos a água se comporta como um condutor de eletricidade. Para entender o

Experiências de eletrostática em geral proporcionam efeitos visuais interessantes, e o gerador eletrostático gotejante ainda traz consigo uma grande quantidade de detalhes, transformando-o em uma interessante ferramenta didática sobre eletrostática

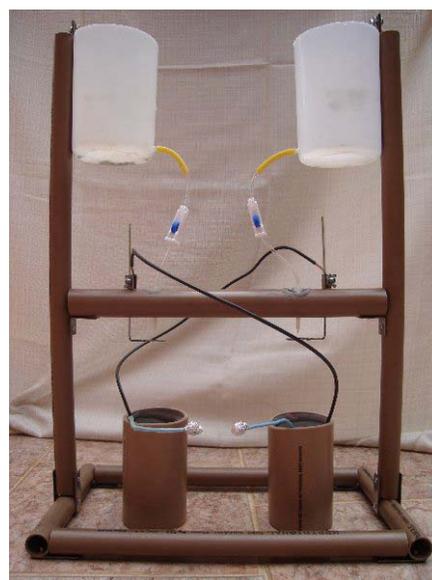


Figura 1. Foto do instrumento.

J. Camillo¹ e A.K.T. Assis²
 Instituto de Física Gleb Wataghin,
 Universidade Estadual de Campinas,
 Campinas, SP, Brasil
¹E-mail: julianocamillo@gmail.com
²E-mail: assis@ifi.unicamp.br

Construímos um gerador eletrostático gotejante de Kelvin que funciona através de uma queda de gotas de água eletrizadas. Ele chega a gerar descargas elétricas causadas por diferenças de potencial da ordem de milhares de volts. Este instrumento é razoavelmente simples e barato de ser construído. Com ele podem ser explorados em sala de aula diversos aspectos relacionados com a eletrostática.

funcionamento do gerador, vamos supor que temos apenas um anel indutor e um único gotejador acima dele. Se o anel estiver carregado negativamente, isto vai induzir uma separação de cargas em todo o recipiente de água. O volume de água mais próxima ao indutor ficará eletrizado com uma carga oposta a do indutor (neste exemplo, a parte inferior da água próxima ao gotejador ficará carregada positivamente). A parte superior do volume de água próxima da superfície livre do fluido ficará carregada negativamente caso o recipiente esteja isolado, ou será neutralizada se o recipiente estiver aterrado, como é o caso de nossa montagem. Quando o volume inferior da água começar a gotejar, cada gota estará então eletrizada com uma carga oposta à carga do indutor (neste exemplo cada gota terá uma carga resultante positiva).

Vamos agora supor que temos dois anéis indutores, um carregado positivamente e o outro negativamente. A parte inferior do volume de água próxima do primeiro indutor estará carregada negativamente, enquanto a parte inferior do volume de água próxima do segundo indutor estará carregada positivamente. Quando começa o gotejamento, as gotas que vão passar pelo anel indutor positivo estarão negativamente carregadas, enquanto as que passam pelo indutor negativo estarão positivamente carregadas. As gotas caem devido à gravidade, passando pelos centros dos anéis carregados sem perderem suas cargas. As gotas são recolhidas por dois reservatórios inferiores que estão isolados eletricamente do solo, chamados de coletores. O coletor que está abaixo do anel positivo vai armazenar cargas negativas, enquanto o coletor que está abaixo do anel negativo vai armazenar cargas positivas. Conectamos com um fio condutor o coletor da esquerda com o indutor da direita, e com um outro fio condutor conectamos o coletor da direita com o indutor da esquerda. Conseguimos assim uma montagem auto-sustentável, na qual as cargas armazenadas em um coletor também servem para alimentar os indutores opostos. A alta tensão entre os dois reservatórios que coletam as gotas carregadas é capaz de produzir faíscas elétricas entre as duas esferas ligadas aos reservatórios inferiores, se estas esferas ficarem próximas entre si.

Montagem

Para o funcionamento da chuva elétrica é fundamental que o material utilizado como suporte seja um bom isolante elétrico, com a finalidade de evitar o escoamento das cargas elétricas que estão sendo

mantidas nos indutores. Os materiais isolantes também são fundamentais para evitar a perda das cargas geradas pela queda das gotas eletrizadas armazenadas nos coletores.

Para analisar quais materiais são condutores ou isolantes utilizamos um eletroscópio, cuja função é detectar a presença de cargas elétricas [7-9, 10, cap. 6].

O eletroscópio

O eletroscópio utilizado consiste em um pedaço de cartolina com dimensões da ordem de 10 cm × 10 cm, coberta com papel de alumínio. Na parte superior da cartolina é colada a extremidade de uma tirinha fina de papel de seda. O suporte para a cartolina deve ser um canudo plástico de refrigerante, que se comporta como um excelente isolante elétrico. Muitos outros materiais supostamente isolantes podem não funcionar: um palito de madeira se comporta como condutor para as tensões elétricas envolvidas nestas situações; já o PVC é um ótimo isolante elétrico. Na Fig. 2 temos a foto do eletroscópio que construímos.

Para eletrizar o eletroscópio, basta atritar uma régua plástica no cabelo ou em um pedaço de lã e em seguida raspá-la na parte superior da cartolina. Enquanto se raspa a régua na cartolina, o eletroscópio deve ser segurado pelo canudo plástico, evitando de tocar com as mãos na cartolina ou na tirinha. O eletroscópio, quando carregado, repele a tirinha de papel de seda, uma vez que esta adquire carga de mesmo sinal que a cartolina. O canudo plástico evita que as cargas armazenadas no eletroscópio escoem para a terra.

Para saber se um material é um condutor elétrico ou um isolante, basta segurar este material com a mão e tocar com



Figura 2. Foto do eletroscópio construído.

ele na cartolina de um eletroscópio carregado. Caso a tirinha volte à sua posição original junto à cartolina, conclui-se que as cargas escoaram através deste material, que é então considerado condutor para estas tensões elétricas. Caso o eletroscópio não se descarregue com este procedimento, temos um material isolante.

Detalhes da construção

O suporte foi totalmente feito em PVC (diâmetro de 25 mm, com exceção do eixo central que é de 32 mm). Na parte superior encontramos dois recipientes plásticos que servem de reservatório para a água. Estes reservatórios estavam aterrados em nossa montagem. Para isto foi colocado um fio condutor dentro da água de cada reservatório, e este fio foi ligado a um ponto em contato com o chão. Conectados aos reservatórios estão dois gotejadores, utilizados para a aplicação de soro, facilmente obtidos em uma farmácia ou em lojas de materiais hospitalares. Estes gotejadores fornecem gotas constantes e permitem grande controle sobre a quantidade de gotas liberadas em função do tempo. Abaixo dos gotejadores estão os anéis indutores. No nosso caso utilizamos duas arruelas de 1 polegada (2,5 cm de diâmetro externo e 1 cm de diâmetro interno) presas a arames que atravessam o suporte de PVC central, proporcionando ao indutor uma altura ajustável.

A gota deve se desprender do gotejador a uma distância da ordem de 1 cm acima do indutor, conforme mostra a Fig. 3. Com isto se consegue que a parte inferior do recipiente de água acima do indutor fique carregada com uma carga oposta ao do indutor. Ao cair, as gotas possuem uma carga resultante de sinal oposto à carga do indutor colocado abaixo delas, ou seja, elas estão eletrizadas.

Os recipientes coletores das gotas precisam ser bons isolantes elétricos, para evitar que as cargas acumuladas escoem para a terra. Cada recipiente foi construído introduzindo uma lata de alumínio no interior de um pedaço de cano de PVC com 12 cm de comprimento e 7,5 cm de diâmetro. A parte inferior desta lata termina dentro do cano, sem entrar em contato com o solo para evitar fuga das cargas acumuladas. Nas Figs. 4 e 5 temos fotos do recipiente coletor visto de cima e de baixo, respectivamente.

Dentro de cada recipiente foi colocado um pedaço de fio metálico e na sua ponta foi presa uma pequena bola com papel de alumínio. Uma destas bolas estará ligada a um coletor carregado positivamente, enquanto a outra bola estará ligada ao outro coletor, carregado negativamente. As faís-



Figura 3. Gotejador e indutor de carga elétrica nas gotas.

cas serão formadas entre estas bolas. As bolas que usamos tinham um diâmetro da ordem de 5 cm.

Um outro fio dentro de cada coletor inferior deve ser ligado de forma cruzada aos indutores. Isto é, o fio que sai do coletor da direita é ligado ao indutor da esquerda, já que os dois possuem cargas de mesmo sinal. Já o fio que sai do coletor da esquerda é ligado ao indutor da direita. Assim as cargas elétricas armazenadas nos coletores servirão também para carregar o outro anel indutor do gotejador oposto. Desta maneira, as cargas geradas em um lado servem para induzir as cargas do outro lado. Com esta montagem, conseguimos um equipamento auto-sustentável.

o funcionamento da chuva elétrica

Alguns detalhes devem ser observados para o bom funcionamento do gerador eletrostático gotejante de Kelvin.

- Não existem grandes problemas em relação ao aterramento dos recipientes que contêm água; basta que um fio seja ligado dentro da água de cada recipiente até um ponto que esteja em contato com o chão.
- Alguns autores mencionam que não é necessária uma carga inicial em nenhum dos indutores para dar início ao processo, já que cargas elétricas provenientes da atmosfera se incumbiriam desta eletrização inicial [5, 6]. Para que isto ocorra tem de haver algum desequilíbrio nas cargas. Isto é, os dois indutores não podem começar simultaneamente com o mesmo potencial negativo, nem com o mesmo potencial positivo. Alguma flutuação na distribuição de cargas tem de surgir inicialmente para que o gerador possa

começar a funcionar. No nosso caso não chegamos a experimentar esta possibilidade.

- Para que a chuva elétrica fosse iniciada em nossa montagem, fizemos com que apenas um dos indutores fosse eletrizado antes de abrir os gotejadores. Caso se queira carregar inicialmente os dois indutores, eles precisam ser carregados com cargas opostas. Começamos a operação carregando apenas um dos indutores, o outro indutor passou a ser carregado automaticamente com carga oposta ao do primeiro indutor durante o decorrer da experiência. A carga inicial foi conseguida através do atrito de uma régua no cabo e transferida para o eletroscópio quando raspamos a régua carregada na cartolina do eletroscópio. Seguramos então o eletroscópio carregado por seu canudinho e encostamos a cartolina em uma arruela indutora. O eletroscópio descarregou. Repetimos este procedimento sempre encostando o eletroscópio na mesma arruela, até que o eletroscópio carregado não mais se descarregasse. Isto indicava que o eletroscópio carregado e a arruela carregada haviam alcançado o mesmo potencial elétrico. Este procedimento também ajuda a verificar se os indutores e coletores estão mantendo a carga elétrica, o que é fundamental para a experiência. O eletroscópio carregado em contato com um indutor carregado até o mesmo potencial não pode voltar a sua posição original. Somente após ter carregado o indutor é que abrimos o gotejador para permitir a queda das gotas.



Figura 4. Recipiente coletor visto de cima. É composto por um cano de PVC, que é isolante elétrico, com uma lata de alumínio em seu interior.



Figura 5. Recipiente coletor visto de baixo. O fundo da lata de alumínio fica no ar, sem entrar em contato com o solo.

- Deve-se tomar cuidado para que os indutores não estejam perdendo carga elétrica. Novamente é fundamental a utilização do eletroscópio para esta finalidade. Os indutores não são totalmente carregados logo no primeiro processo de eletrização por atrito, uma vez que a carga deve se distribuir por todo o indutor e também pelo recipiente a ele conectado. O procedimento de carga deve ser repetido algumas vezes até que o indutor esteja totalmente carregado. Depois disto utiliza-se o eletroscópio para ver se ele permanece carregado durante pelo menos 1 minuto. Caso ele não permaneça carregado durante este tempo é sinal de que há alguma fuga de carga, seja pelo suporte ou por algum fio ligado a terra. Só quando o indutor está eletrizado e isolado eletricamente é que se deve iniciar a experiência.
- Os fios elétricos utilizados aqui, mesmo encapados, comportam-se como condutores para as altas

voltagens desta experiência, da ordem de milhares de volts. O contato com eles deve ser evitado. Ou seja, uma vez colocados em suas posições não devemos tocá-los com as mãos ou com outros condutores aterrados. Embora o material plástico que os envolva seja um bom isolante para diferenças de potencial de 100 ou 200 V, este material se mostra na prática como um condutor razoável para diferenças de potencial de milhares de volts.

- A umidade do ar pode ser um problema para o funcionamento ideal deste gerador eletrostático. Quanto maior a umidade, maior é a perda de cargas para o ar. Em alguns momentos é interessante que seja utilizado um secador de cabelo em toda a estrutura e no ambiente ao redor do gerador, para diminuir a umidade.
- Tomados os devidos cuidados com a fuga de cargas e abertos os gotejadores, é então necessário que se formem gotas e não um filete contínuo de água. O filete contínuo de água descarrega a carga acumulada no recipiente coletor de gotas, uma vez que o filete ainda está em contato com o recipiente aterrado. Aumentando a razão de gotas observa-se que a partir de um certo ponto as gotas começam a sair muito

A chuva elétrica pode ser considerada uma experiência de baixo custo e de fácil construção; consegue-se abordar de maneira muito interessante diversos aspectos de eletrostática, que em alguns livros e aulas nos parecem distantes

próximas e grudadas. Este é o limite da taxa de queda das gotas, que não deve ser ultrapassado. O ideal são gotas rápidas e bem definidas. As gotas lentas também induzem carga elétrica, mas o intervalo de tempo entre duas faíscas será muito grande.

- Após algum tempo já é possível perceber o acúmulo de carga elétrica nos indutores e nos coletores. Com este procedimento as cargas que são acumuladas servirão para alimentar os indutores. O processo torna-se mais intenso após algum tempo de funcionamento, uma vez que as cargas vão se acumulando. É interessante notar que quando os indutores vão ficando mais carregados eles começam a atrair as gotas eletrizadas com cargas opostas, com a velocidade de queda das gotas aumentando. Neste caso algumas

gotas de água chegam a tocar nos indutores, fazendo-os perder parte da carga elétrica. Isto atrasa a próxima faísca.

- Para que exista a formação de faíscas, as esferas feitas de papel de alumínio devem estar afastadas cerca de 2 mm (menor distância entre dois pontos da superfície das esferas). Uma distância maior permite um maior acúmulo de carga elétrica, porém o tempo entre duas faíscas se torna, novamente, grande.
- Quanto maiores forem as esferas, mais carga elas acumulam e maior pode ser a distância mínima entre elas para ocorrer a descarga elétrica. Se elas forem muito pequenas ainda vai ocorrer a descarga elétrica, mas neste caso as faíscas podem não ser visíveis.
- A experiência fica em funcionamento enquanto as gotas continuam caindo.

Conclusão

Conhecendo a rigidez dielétrica do ar (campo elétrico E da ordem de 3×10^6 V/m) e também a distância d na qual se formam as faíscas (2 mm) podemos estimar a diferença de potencial U que estamos conseguindo produzir com o gerador eletrostático gotejante de Kelvin. Para isto supomos esferas de grande diâmetro com uma pequena separação entre elas, tal que o sistema possa ser considerado como um capacitor de placas

paralelas. Neste caso $U = Ed = 6 \times 10^3$ V. No momento da formação da faísca temos então uma diferença de potencial elétrico de aproximadamente 6.000 V entre as duas esferas de alumínio. Uma foto de uma das faíscas que obtivemos encontra-se na Fig. 6. O intervalo entre as faíscas depende da taxa de queda das gotas, mas



Figura 6. Faísca obtida com o aparato.

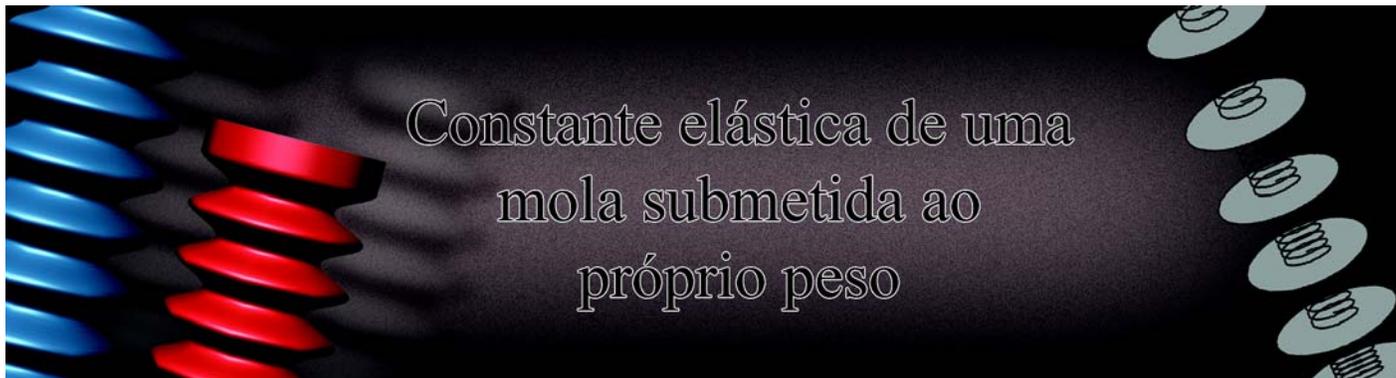
um tempo característico é da ordem de uma faísca a cada 10 segundos. Enquanto continuar o gotejamento, as descargas elétricas continuarão a ser produzidas. É interessante notar a riqueza de detalhes que se consegue ilustrar com esta experiência. A chuva elétrica pode ser considerada uma experiência de baixo custo e de fácil construção. Conseguimos abordar de maneira muito interessante diversos aspectos de eletrostática, que em alguns livros e aulas nos parecem distantes. O nível de aprofundamento pode ir desde o ensino básico até níveis mais avançados. Conceitos como condutores e isolantes ganham uma dimensão diferente daquela existente em livros didáticos, que ignoram a dependência das tensões elétricas a qual submetemos os materiais.

Agradecimentos

Agradecemos aos Profs. J.J. Lunazzi, M.M.G. de Carvalho e N. Studart, assim como ao assessor da primeira versão deste artigo, por sugestões relativas a este trabalho.

Referências

- [1] W. Thomson, Proceedings of the Royal Society of London **16**, 67 (1867-1868).
- [2] N. Studart, Revista Brasileira de Ensino de Física **29**, 485 (2007).
- [3] J.T. Lloyd, Revista Brasileira de Ensino de Física **29**, 499 (2007).
- [4] J. Camillo and A.K.T. Assis. *Geradores Eletrostáticos: Esfera de Enxofre de Otto von Guericke e Chuva Elétrica de Kelvin*. Trabalho realizado na disciplina de Instrumentação para Ensino do Instituto de Física da Unicamp no segundo semestre de 2006, disponível em http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2006/JulianoC-Assis_F809_RFcomplete.pdf, 2006 (acessado em 2008).
- [5] L.F. Netto, *Chuva Elétrica de Kelvin*. Disponível em http://www.feirade ciencias.com.br/sala11/11_01.asp (acessado em 2008).
- [6] B. Beaty, *Kevin's Thunderstorm - Lord Kelvin's Water-Drop Electrostatic Generator*. Available at <http://www.amasci.com/emotor/kelvin.html> (accessed in 2008).
- [7] N. Ferreira, *Eletrostática* (Instituto de Física da USP, São Paulo), v. 1.
- [8] N. Ferreira, *Eletrostática* (Instituto de Física da USP, São Paulo), v. 2.
- [9] N. Ferreira and J.-P. Maury, *Plus et Moins, les Charges Électriques. Qu'est-ce que c'est?* (Ophrys, Paris, 1991).
- [10] A. Gaspar, *Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental* (Ática, São Paulo, 2003).



Lima *et al.* [1] sugerem uma variante do clássico experimento para a determinação da constante elástica de uma mola usando molas espirais de encadernação, de diâmetros idênticos, porém cortadas em comprimentos diferentes. Um estudante, ao executar o experimento sugerido, observou que tudo se passava como se fosse determinada a constante elástica de cada anel individualmente, associando-se depois um certo número destes anéis em série. Tal observação nos levou a desenvolver uma expressão que permite o cálculo da constante elástica de tais molas, distendidas apenas pela ação do próprio peso. Os resultados experimentais obtidos para duas molas de diâmetros diferentes mostram que a constante elástica calculada de forma convencional difere daquela obtida pelo modelo aqui desenvolvido por menos de 2%. As ferramentas matemáticas empregadas são simples, o que torna esta atividade adequada para o uso já a partir da física do nível médio.

Modelando a mola

O modelo é bastante simples: cada anel da mola é imaginado como a junção de um disco fino de massa m , munido de uma mola

sem massa e de constante k^* , conforme a Fig. 1. A “mola” assim construída tem N discos e massa total $M = N \times m$.

Os anéis da mola, quando suspensa na vertical, apresentarão deformações cada vez menores, quando observados de cima para baixo. Isto se deve ao fato de que o primeiro anel é distendido pela ação da força peso dos outros $N - 1$ anéis abaixo dele; o segundo é distendido pela força peso dos $N - 2$ anéis abaixo dele, e assim sucessivamente, até o último anel.

Qual a relação entre a constante k da mola e a constante k^* de cada um dos N anéis? Consoante o modelo explicitado acima, a mola pode ser considerada como uma associação de N anéis idênticos, ou N molas, cada uma delas com constante k^* e massa M . Sabe-se que a constante da mola, nestas condições [2] é dada por

$$\frac{1}{k} = \frac{N}{k^*} \quad (1)$$

Sabe-se também que a elongação do penúltimo anel, sob a ação do último, é dada, em módulo, por:

$$mg = k \times \Delta x, \quad (2)$$

expressão que nada mais é do que a mani-

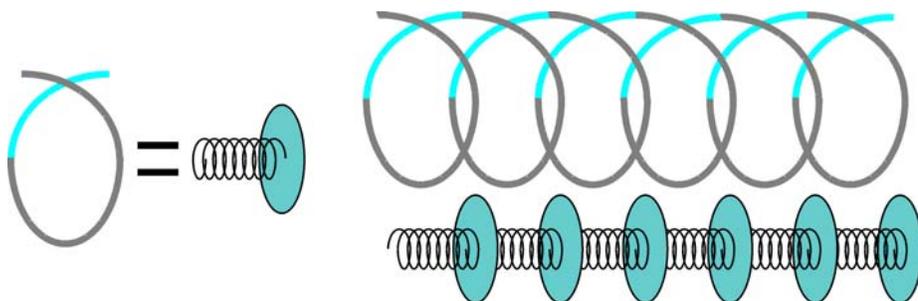


Figura 1. Cada anel da mola real é imaginado como sendo constituído de um disco fino, de massa m , justaposto a uma pequena mola ideal, de massa desprezível e de constante k^* . A massa total da mola (M) será então igual a $N \times m$, onde N é o número total de anéis.

.....
Francisco Catelli

Departamento de Física, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brasil.

E-mail: fcatelli@ucs.br

.....
Alex Paulo Koltz

Escola de Ensino Médio do Centro Tecnológico da Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS, Brasil

.....

Cada um dos anéis de uma mola espiral de encadernação é tratado como uma mola ideal, sem massa, associada a uma massa puntiforme. Com o auxílio da lei de Hooke é obtida uma expressão que permite o cálculo da constante elástica da mola a partir do seu comprimento na posição horizontal, de seu comprimento quando suspensa por uma das extremidades na posição vertical, e de seu peso. Os resultados experimentais, baseados nesta modelagem, diferem dos obtidos pela forma tradicional (suspendendo massas na extremidade inferior da mola) por menos de 2%. No contexto da sala de aula, esta atividade de baixo custo pode promover o maior envolvimento dos alunos com o assunto estudado, além de permitir uma bela associação entre uma lei física (a Lei de Hooke), aplicações simples da matemática e atividades exploratórias experimentais.

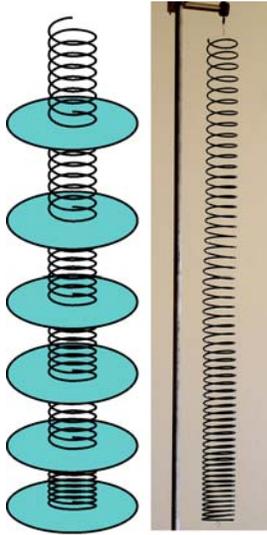


Figura 2. As molas inferiores do modelo (esquerda) apresentam elongações menores que as superiores; o mesmo ocorre com uma mola “real”, neste caso, uma mola espiral de encadernação (direita).

feição direta da Lei de Hooke para um único anel. A elongação total da mola, quando submetida exclusivamente à ação de seu próprio peso, será então

$$\Delta x + 2\Delta x + 3\Delta x + \dots + N\Delta x = \Delta x \sum_{n=1}^{n=N} n = \Delta L.$$

Por outro lado¹

$$\sum_{n=1}^{n=N} n = \frac{N(N+1)}{2},$$

o que leva a

$$\Delta L = \frac{\Delta x(N+1)N}{2}. \quad (3)$$

Substituindo as Eqs. (1) e (3) na Eq. (2) e simplificando, chega-se a

$$k = \frac{N+1}{N} \frac{Mg}{2\Delta L}. \quad (4)$$

Note que a expressão (4) reduz-se à forma usual da lei de Hooke (Eq. (2)) quando N é igual a 1.

Entretanto, a “mola elementar”, tal como definida acima, não precisa ser equivalente a um anel, ela poderia equivaler a meio anel, ou qualquer fração deste. Desta forma, para um número N arbitrariamente grande de molas elementares, o termo $(N+1)/N$ tende a 1

$$k = \frac{Mg}{2\Delta L}. \quad (5)$$

Esta expressão mostra como calcular, a partir deste modelo simples, a constante elástica k da mola quando esta deforma exclusivamente sob a ação do próprio peso. Basta para isto conhecer a massa M

Tabela 1. Características das molas estudadas: número de anéis, comprimento inicial L_0 (medido com a mola não tensionada, na posição horizontal), diâmetro (Φ_m) dos anéis da mola, diâmetro (Φ_f) do fio, e massa total (M) da mola.

	N. anéis	L_0 ($\pm 0,5$ cm)	Φ_m (mm)	Φ_f (mm)	M ($\pm 0,02$ g)
Mola 1	57,5	42	56,22	2,90	84,66
Mola 2	59	32	36,8	2,2	33,24

da mola e a elongação ΔL a que esta é submetida e a aceleração da gravidade, g .

Teste experimental do modelo

A Eq. (5) é de fato bastante simples. Mas ela é corroborada pelo teste experimental? No caso de a resposta ser afirmativa, em quais condições? Para obter respostas a estas indagações, foi desenvolvido um pequeno projeto de investigação. Este consistiu basicamente na obtenção experimental da constante elástica k da mola através do método direto, ou seja, pendurando massas gradualmente maiores na mola e medindo a elongação correspondente. Um gráfico da força vs. elongação permite determinar se o comportamento da mola sob tensões crescentes é linear, pelo menos dentro do intervalo estudado. No caso de o requisito da linearidade ser satisfeito, a constante elástica da mola pode ser calculada e comparada com o valor obtido através da Eq. (5). Se estes dois valores forem iguais, dentro do erro experimental, o modelo estará então validado.

Os testes foram realizados com molas de espirais de encadernação, bastante comuns em centros de fotocópia. Foram testadas duas molas, com diâmetros diferentes (ver Fig. 3 e demais características de cada mola na Tabela 1).

Medida direta das constantes elásticas das molas por meio da lei de Hooke

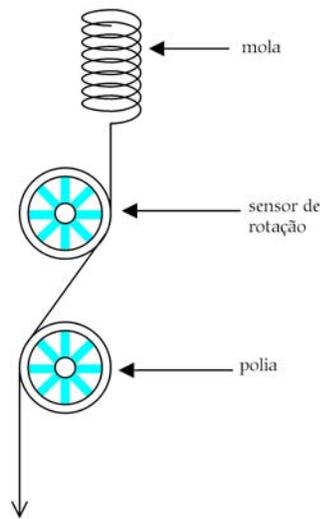
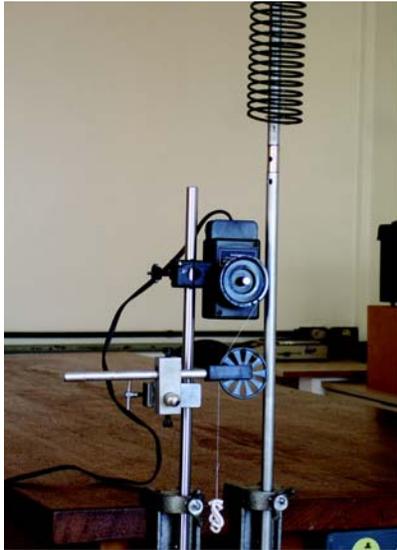
A medida direta da constante elástica

das molas foi efetuada suspendendo massas de 2 gramas e medindo a elongação através de um sensor de rotação (PASCO CI 6538, com polia de 50 mm de diâmetro), ajustado para a medida de deslocamentos, e uma polia de baixo atrito (ver Fig. 4). Para minimizar os efeitos de escorregamento do fio de tração em relação à polia, foi empregada uma técnica de montagem com duas polias, a qual pode ser visualizada na foto e no desenho da Fig. 4. Esta montagem tem a vantagem adicional de sempre manter a carga sobre a mola ao longo de sua direção axial. A resolução do sensor de rotação é de $(\pi \times 50 \text{ mm}) / 1440 = 0,101 \text{ mm}$. Entretanto, no cálculo da incerteza na medida das elongações das molas foi tomado o valor de $\pm 1 \text{ mm}$, tendo em vista que o sistema nem sempre retornava exatamente à posição original uma vez retirada a carga. Esta diferença para a posição original se revelou menor que $\pm 1 \text{ mm}$ em pelo menos duas dezenas de ciclos de carga-descarga das duas molas. O valor para a aceleração da gravidade foi tomado como sendo igual a $(9,78 \pm 0,01) \text{ m/s}^2$, tendo em vista a latitude e a altura em relação ao nível do mar do local onde foram realizadas as medições.

Os resultados podem ser visualizados no gráfico da Fig. 5; as constantes elásticas, obtidas através de ajuste pelo método dos mínimos quadrados dos dados experimentais da Tabela 2 aparecem na segunda coluna da Tabela 3. Levando em conta que se trata de molas de certo modo



Figura 3. Foto das molas empregadas nos ensaios descritos a seguir. Pequenos anéis confeccionados com fio de cobre bastante fino foram adicionados às duas extremidades das molas, de modo a fazer com que as cargas tivessem sempre a direção do eixo destas.



aparecem na terceira coluna da Tabela 3.

A comparação das constantes elásticas obtidas pela lei de Hooke e pela Eq. (5) mostra uma excelente concordância para as duas molas, validando assim o modelo proposto.

Conclusões

Quando o modelo não se revela operacional? Em primeiro lugar, para que as medições sejam convincentes, convém que a elongação Δl da mola sob a ação do próprio peso seja grande, tipicamente de 30% ou mais em relação ao comprimento sem carga. Molas de menor diâmetro, quando submetidas ao próprio peso, produzem elongações muito pequenas, comparáveis às incertezas de medição. Uma maneira de contornar este problema seria acoplar duas ou três destas molas em série.

Também foram efetuados testes com molas plásticas, vendidas como brinquedo no comércio informal (as conhecidas “molas malucas”). Os resultados foram muito pouco convincentes, com diferenças que chegavam a 30% entre a constante obtida pelo método convencional e a obtida pela Eq. (5). As “molas malucas” são feitas de tal modo que os anéis ficam “colados” uns aos outros quando estas são colocadas na posição horizontal; esta “pré tensão” é a responsável pelos maus resultados obtidos. Este efeito não ocorre com as espirais de encadernação, tais como as

empregadas neste trabalho, porque os anéis destas molas, quando colocadas em repouso na posição horizontal, não tocam uns nos outros, como pode ser visto na Fig. 3.

Matemática vs. física: este modelo mos-

tra o que todo o bom professor sempre soube: em vez de a matemática ser um “elemento complicador”, ela é fonte de beleza, e pode tornar mais interessante o desenvolvimento das estratégias de sala de aula para ensinar física. Desde que, é claro, sua “dose” não seja excessiva, o que certamente não é o caso deste trabalho.

O modelo é convincente: mesmo que

Figura 4. Dispositivo experimental para a obtenção das curvas de força vs. elongação. O fio conectado à mola é desviado pela polia de um sensor de rotação (*Rotatory Motion Sensor* PASCO® CI 6538) e em seguida, novamente desviado por uma polia de baixo atrito (*Smart Pulley* PASCO® ME 6838). O sensor de rotação, ajustado para a medida de deslocamentos, fornece, através de uma interface conectada ao computador, as elongações sofridas pela mola na medida em que massas gradualmente maiores são acrescentadas ao sistema.

improvisadas, a linearidade destas chega a ser surpreendente: os coeficientes de correlação são iguais ou melhores que 0,9998 para as duas molas, o que também atesta a qualidade do sistema experimental empregado na medição direta de k . As incertezas no cálculo destas constantes elásticas foram calculadas a partir dos seguintes dados: incerteza na massa: $\pm 0,02$ g relativa à massa de 2 gramas (o dobro da resolução da balança digital empregada na aferição); incerteza em Δx : $\pm 0,1$ cm (como explicado acima) e a incerteza em g : $\pm 0,01$ m/s², relativa à aceleração de

9,78 m/s².

Medida das constantes elásticas por meio da Eq. (5)

A incerteza na medida de Δx desta vez é bem maior: $\pm 0,5$ cm para L_0 , o comprimento da mola na horizontal, apoiada em uma superfície lisa, e também $\pm 0,5$ cm para o comprimento L da mola na vertical, submetida à ação do próprio peso. Assim, a incerteza para Δl ($L - L_0$), foi estimada em ± 1 cm. As incertezas maiores devem-se ao fato de as molas em repouso não serem perfeitamente retílineas,² além da dificuldade em medir com uma trena as molas distendidas sob a ação do próprio peso. A incerteza no valor da massa das molas foi novamente tomada como sendo o dobro da resolução da balança: $\pm 0,02$ g. Os resultados obtidos

Este modelo mostra o que todo bom professor sempre soube: em vez de a matemática ser um “elemento complicador”, ela pode tornar mais interessante o desenvolvimento das estratégias de sala de aula para ensinar física

Tabela 2. Elongações das molas 1 e 2. A força é a força peso, correspondente às massas de (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20) g, submetidas a uma aceleração da gravidade de 9,78 m/s².

Elongação (cm)		Força (mN)
mola 1	mola 2	
1,97	1,53	19,6
3,95	3,05	39,1
6,05	4,45	58,7
8,11	5,87	78,2
10,24	7,42	97,8
12,26	8,91	117,4
14,29	10,39	137,0
16,56	11,90	156,5
18,66	13,20	176,0
20,74	14,68	195,6

Tabela 3. Elongação (Δl) das molas penduradas na vertical e submetidas exclusivamente à ação do próprio peso. É apresentada também a constante elástica das molas, calculada através da lei de Hooke (segunda coluna) e através da Eq. (5) (3ª coluna).

	Δl ($\pm 1,0$ cm) (Eq. (4))	k (mN/cm) (lei de Hooke)	k (mN/cm) (Eq. (5))
Mola 1	45	$9,35 \pm 0,6$	$9,2 \pm 0,2$
Mola 2	12	$13,3 \pm 1$	$13,5 \pm 1$

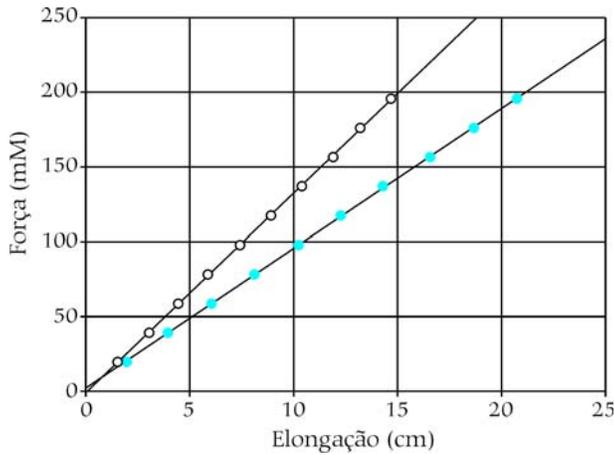


Figura 5. Força vs. alongação para as duas espirais de encadernação mostradas na Fig. 3. A mola 1 (ver também a Tabela 3) corresponde à linha de menor inclinação (círculos azuis); a mola 2 corresponde aos círculos brancos.

o professor não disponha de tempo para detalhar o aspecto da propagação das incertezas (o que seria deveras interessante, mas nem sempre há tempo disponível para isso), os resultados obtidos pelo método tradicional e pela Eq. (5) são convincentemente próximos, o que aponta na direção da validade do modelo.

Envolvimento dos alunos: pode ser bastante intenso. Por exemplo, enquanto alguns grupos de alunos medem a constante elástica através da lei de Hooke, outros grupos podem fazer o mesmo por meio da Eq. (5). A confrontação dos resultados poderá se dar logo a seguir, ocasião em que novas possibilidades de investigação podem ser discutidas. Por outro lado, o envolvimento pode ser ainda maior a partir da possibilidade de desenvolvimento de investigações paralelas. Perguntas muito curiosas podem ser avaliadas. Por exemplo, ao cortar alguns anéis de uma mola, ela fica “mais dura” ou “mais macia”? Molas feitas com o mesmo fio e com o mesmo número de anéis, porém de diâmetros diferentes, possuem a mesma constante elástica? Todas as molas têm sempre um comportamento linear? E assim por diante.

O custo do material: é muito baixo.

A dinâmica do experimento pode gerar grande envolvimento dos alunos: enquanto alguns medem a constante elástica através da lei de Hooke, outros podem fazer o mesmo teoricamente. A confrontação dos resultados poderá se dar logo a seguir, ocasião em que novas possibilidades de investigação podem ser discutidas

ser medidas com trenas ou régulas, com resultados bastante satisfatórios. Uma “dica” adicional: as massas podem ser improvisadas facilmente. Meça a massa de aproximadamente um metro de fio de cobre rígido, destes usados em instalações elétricas, bem como seu comprimento, o mais exatamente possível. Não é necessário retirar o isolamento elétrico. Um cálculo simples permitirá saber qual o comprimento de fio para o qual a massa será de – digamos – 2 gramas. A partir daí, basta cortar cuidadosamente vários pedaços de fio, todos com este comprimento. Estes, dobrados em forma de “S”, são facilmente pendurados à mola, e uns

aos outros. Os dados obtidos neste trabalho foram produzidos com massas produzidas desta maneira, e aferidas posteriormente em uma balança digital.

Finalmente, esta forma de trabalho, que alia pequenas doses de formalismo e investigação em laboratório, pode ser bastante

motivadora. Os alunos acabam por se sentir essenciais para o sucesso das investigações. Algumas perguntas são brilhantemente respondidas, pelos alunos e (ou) pelo professor, outras o são apenas em parte, e para um terceiro grupo de perguntas, talvez não haja nenhuma respos-

ta, pelo menos ao longo da investigação. Tudo isso educa muito os alunos (e o professor também) e poderá servir de motivação para algumas brilhantes carreiras na área das ciências exatas. Todo o professor se sentirá realizado e orgulhoso de sua missão quando isto acontecer.

Notas

¹Nossa maneira predileta de “mostrar” aos estudantes como esta expressão se justifica é explanada assim: por exemplo, a soma (1 + 2 + 3 + 4 + 5) pode ser representada por quadrados, a primeira linha com um quadrado, a segunda com dois, etc.:



Agora, “ajuste” uma segunda coleção idêntica de quadrados, invertida, de modo a formar um retângulo. Para melhor visualização, a segunda coleção é representada por quadrados azuis. Assim, o número de quadrados total será igual à “base” deste retângulo, (5 + 1, ou N + 1), vezes sua “altura” (5, ou N); o número de quadrados brancos corresponderá à metade: $\frac{5 \times (5 + 1)}{2} = 15$, ou, genericamente,

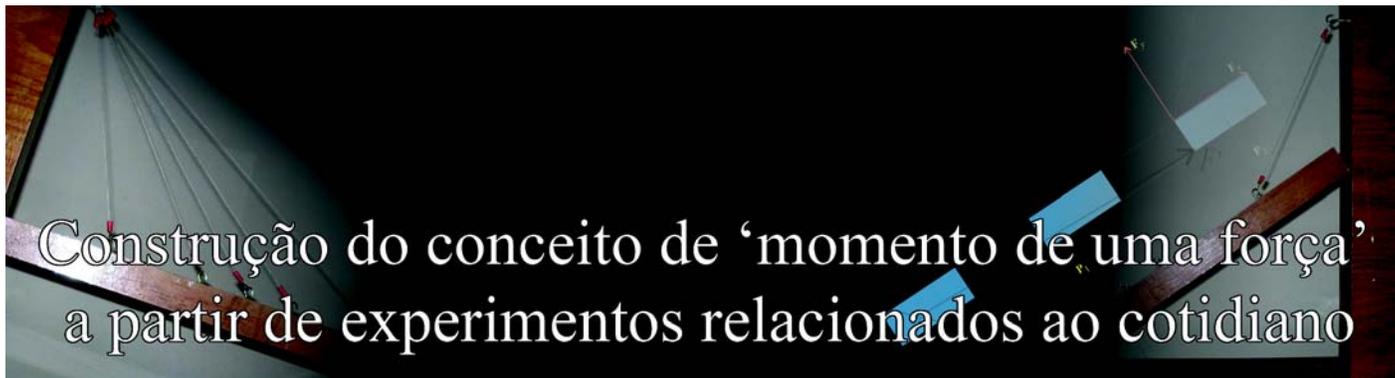
$$\sum_{n=1}^{n=N} n = \frac{N \times (N + 1)}{2}. \text{ (Para quem}$$

gosta de história da matemática, é interessante verificar como Gauss chegou a esta expressão, em sala de aula, ainda quando jovem).

²Para fazer com que o comprimento inicial das molas na posição horizontal não fosse afetado pelo fato de elas não serem perfeitamente lineares, estas foram colocadas sobre duas barras paralelas, como pode ser visto na Fig. 3.

Referências

- [1] Fábio Menezes de Souza Lima, Gustavo Mulin Venceslau e Eliana dos Reis Nunes, *The Physics Teacher* **40**, 35 (2002).
- [2] R. Resnick, David Halliday and Robert Krane, *Physics* (Wiley, Nova Iorque, 1992), v. 1, 4ª ed, p. 336.



O tópico *Momento de uma força* é integrante do “Tema Estruturador 1” nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) [1], onde a unidade temática 4 propõe que o aluno seja capaz de “reconhecer processos pelos quais pode ser obtida amplificação de forças em ferramentas, instrumentos ou máquinas”. Além disso, os PCN propõem que “o tratamento da mecânica pode ser o espaço adequado para promover conhecimentos a partir de um sentido prático e vivencial macroscópico” e “a aprendizagem na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias indica a compreensão e a utilização dos conhecimentos científicos, para explicar o funcionamento do mundo”. Essas considerações fundamentam as propostas presentes nesse trabalho.

Apresentamos quatro experimentos simples, que relacionam o cotidiano do aluno com os conceitos descritos em livros didáticos de ensino médio [2,3], associados ao tema *Momento de uma força* ou, simplesmente, *torque*. A primeira atividade experimental exemplifica o equilíbrio (ou não) de uma barra homogênea apoiada

em diferentes posições; a montagem faz analogia com uma gangorra. A segunda atividade exemplifica a diferença na força para abrir uma porta, quando o ponto de aplicação da força é mudado. A terceira atividade exemplifica o equilíbrio (ou não) de uma barra horizontal, quando o ponto de suspensão varia. Na quarta atividade, propomos a utilização de uma simulação feita na ferramenta *Modellus*, que permite verificar a variação do torque com a força ou com a distância ao ponto de apoio.

Atividades experimentais

Primeiro experimento: protótipo de uma gangorra

Objetivo

Apresentar o conceito de *momento de uma força*, utilizando um protótipo de gangorra. No experimento, o eixo de rotação da gangorra é variado e novo equilíbrio é estabelecido inserindo pesos (chumbos de pesca) nos compartimentos fixados nas extremidades da gangorra. A Fig. 1 ilustra a montagem do experimento, que é bastante simples.

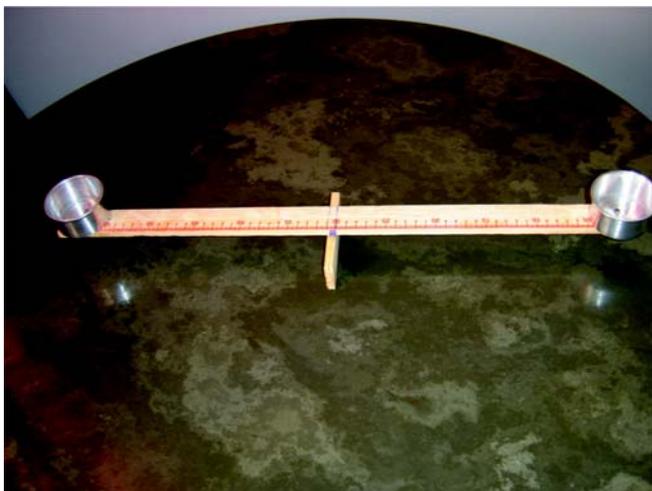


Figura 1 - Protótipo de uma gangorra.

.....

Raphael de Carvalho Ferreira

E-mail: fisica2004@terra.com.br

Wilma Machado Soares Santos

E-mail: wilma@if.ufrj.br

Penha Maria Cardoso Dias

E-mail: penha@if.ufrj.br

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

.....

Nas escolas, nas quais o enfoque de ensino é o tradicional, poucos estudantes desenvolvem uma razoável capacidade de abstração; como consequência, uma boa parte deles apresenta dificuldade em acompanhar certos tópicos dos cursos de física, mesmo no nível do ensino médio. A utilização de experimentos e animações é potencial aliada na exposição de fenômenos, pois exibem uma manifestação do caso abstrato que se deseja transmitir ao aluno.

Material

- Uma régua de madeira de 60 cm;
- Dois potes de alumínio;
- Um apoio (régua de madeira);
- Chumbos de pesca.

Procedimento

Encontre o ponto de equilíbrio da gangorra com os potes vazios. Esse ponto deve estar praticamente no centro, tendo em vista que os dois potes são iguais e foram colocados a uma mesma distância do centro de massa da régua. Varie a posição do apoio e insira pesos nos potes até obter uma nova situação de equilíbrio. Anote a quantidade de pesos em cada um dos potes. Anote as distâncias desses potes em relação ao fulcro. A distância pode ser obtida usando a própria régua.

O que deve ser verificado

Verifique a proporcionalidade de pesos necessários para cada situação de equilíbrio e, também, a proporcionalidade das distâncias dos potes ao fulcro. Para cada posição de equilíbrio, verifique que o produto *peso do chumbo no pote* \times *distância do pote ao eixo* é igual para os dois potes.

Segundo experimento: abra a porta!

Objetivo

Apresentar o conceito de *momento de uma força* utilizando um protótipo de porta. No experimento, a “maçaneta” pode ser colocada a diferentes distâncias da “dobradiça”. A montagem do experimento é mostrado na Fig. 2.

Material

- Quatro régua de MDF de 30 cm;
- Roldanas utilizadas em varal;
- Um porta-lápis (tampa fixa em um único ponto);
- Ganchos metálicos;
- Fio de nylon;
- Terminais (redondos) de fio;

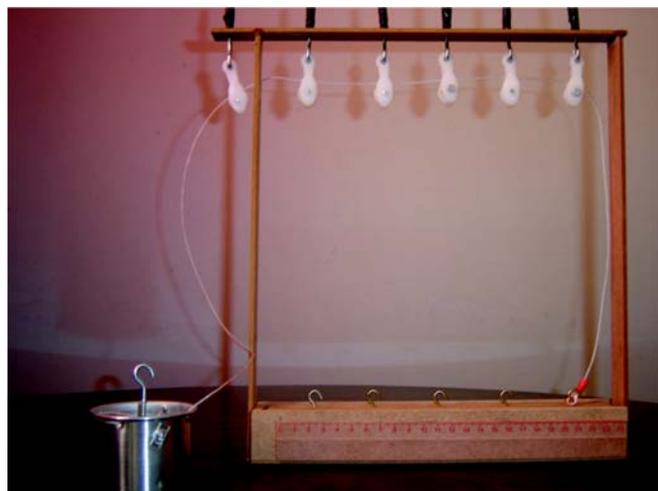


Figura 2 - Protótipo de uma porta.

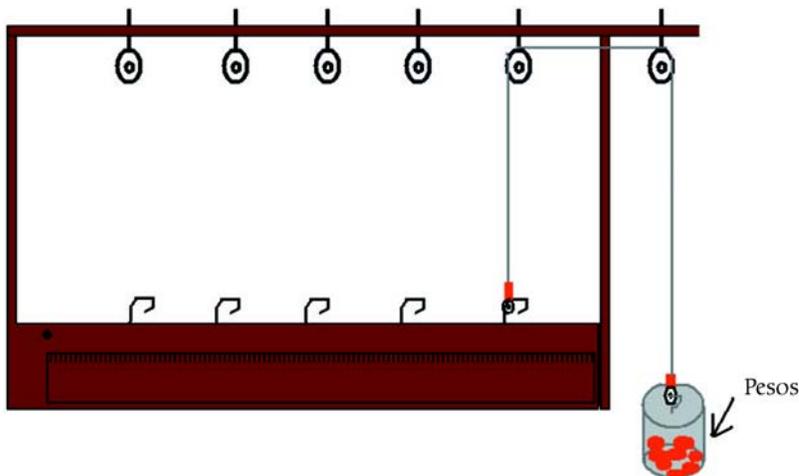


Figura 3 - Esquema do procedimento experimental.

- Um pote de alumínio;
- Chumbos de pesca.

Procedimento

Coloque o fio de nylon preso em um gancho da tampa e insira pesos no pote de metal, de acordo com o esquema da Fig. 3, até que a tampa se abra. Anote a distância do ponto de aplicação da força (balde com pesos) ao eixo de rotação (onde está a dobradiça). Anote a quantidade de pesos colocados no interior do pote de metal para que a tampa se abra. Com os dados, construa uma tabela *peso* \times *distância*.

O que deve ser verificado

Verifique o peso aumentando (ou diminuindo), quando a distância à dobradiça (eixo de rotação) diminui (ou aumenta).

Terceiro experimento: equilíbrio de uma barra homogênea

Objetivo

Apresentar o conceito de ‘momento de força’ pela visualização de situações de

equilíbrio e de rotação de uma barra sólida. No experimento, varia-se o ponto de suspensão da barra.

Material

- Duas barras de madeira;
- Placa de madeira para apoio do aparato;
- Cinco ganchos metálicos, presos à barra, igualmente espaçados entre si;
- Gancho de varal;
- Fio de nylon;
- 10 terminais de fio, redondos.

Procedimento

Prenda a barra com o fio a um dos diferentes ganchos. Para cada gancho, observe se a barra fica em equilíbrio ou se gira, e, nesse caso, se girou no sentido horário ou anti-horário, como mostrado nas Figs. 5 a 7.

O que deve ser verificado

A barra está suspensa pelo gancho, somente, e tende a girar em torno do ponto de suspensão. Observe o sentido de rotação (horário ou anti-horário) quando



Figura 4 - Equilíbrio de uma barra homogênea.



Figura 5 - Giro em sentido horário.



Figura 6 - Giro em sentido anti-horário.



Figura 7 - Barra em equilíbrio: ponto de suspensão no meio.

a barra for suspensa em um gancho à direita e à esquerda do ponto de equilíbrio. No experimento mostrado a barra é dividida em 5 segmentos, cada um correspondendo a um gancho, cada um com massa m e comprimento L ; o gancho está no centro de massa de seu segmento (Fig. 8). Para efeito de discussão, consideremos que a barra esteja suspensa pelo gancho mais distante do poste vertical. Nessa situação,

$$P_2 = m g,$$

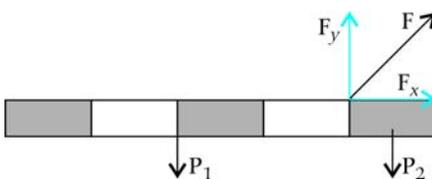


Figura 8 - Decomposição das forças na barra da Fig. 6.

representa o peso do segmento correspondendo ao gancho de suporte; está no centro de massa do segmento.

$$P_1 = 4 m g,$$

representa o peso dos segmentos restantes; está no centro de massa dos 4 segmentos restantes. F é a força atuando ao longo do fio de suspensão. F passa pelo ponto de suspensão, logo, pelo eixo de rotação, e seu torque é nulo. P_1 está a uma distância $2L$ do eixo de rotação e P_2 está a uma distância $L/2$ do eixo. O módulo do torque da força P_1 é

$$T_1 = P_1 \times 2L = 4mg \times 2L = 8mgL,$$

no sentido anti-horário; o módulo do torque da força P_2 é

$$T_2 = P_2 \times L/2 = mg \times L/2 = mgL/2,$$

no sentido horário. $T_1 > T_2$, portanto, existe um torque não balanceado no sentido anti-horário igual a $\Delta T = T_1 - T_2 = (8 - 1/2)mgL > 0$ e a barra gira com torque ΔT no sentido de T_1 .

Quarto experimento: simulação computacional

Objetivo

A simulação possibilita variar dados do experimento como força aplicada, distância ao eixo de rotação, momento de inércia do corpo e velocidade angular. Então é possível exibir fatores que influenciam na rotação de um corpo.

Montagem

Conhecimento (básico) dos comandos do programa *Modellus*. Informações adicionais e o arquivo de instalação do programa podem ser obtidos gratuitamente no site oficial do programa [4]. Os comandos a serem inseridos na janela *Modelo* estão representados na Fig. 9. A ideia é passar das situações concretas, observadas nos experimentos 1, 2 e 3, a uma situação abstrata construída por modelos matemáticos.

Procedimento

Coloque o cursor sobre a barra f . Ao surgir a figura de uma mão, varie o valor da força aplicada na barra (corpo rígido). Analogamente, varie o valor do braço de alavanca, colocando o cursor sobre a barra b (Esquema na Fig. 10).

O que deve ser verificado

Verifique como forças e distâncias se combinam para produzir ou evitar rotações. Quanto mais afastado do eixo de rotação estiver o ponto de aplicação da força, maior será velocidade angular (isso pode ser visto através dos medidores digitais presentes na janela de animação). Nessa simulação, é possível, também, obter o sinal do *torque*, de acordo com o sentido

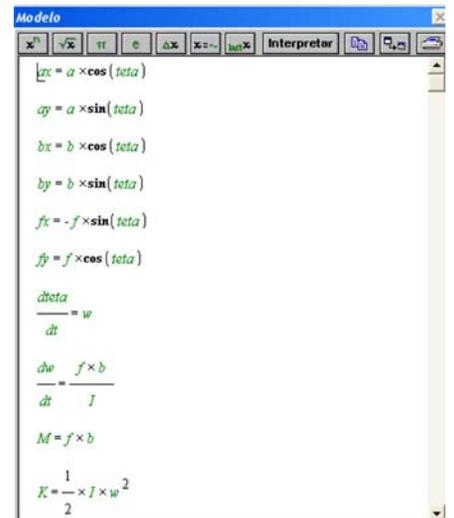


Figura 9 - Inserção dos comandos no *Modellus*.



Figura 10 - Interface do programa de simulação.

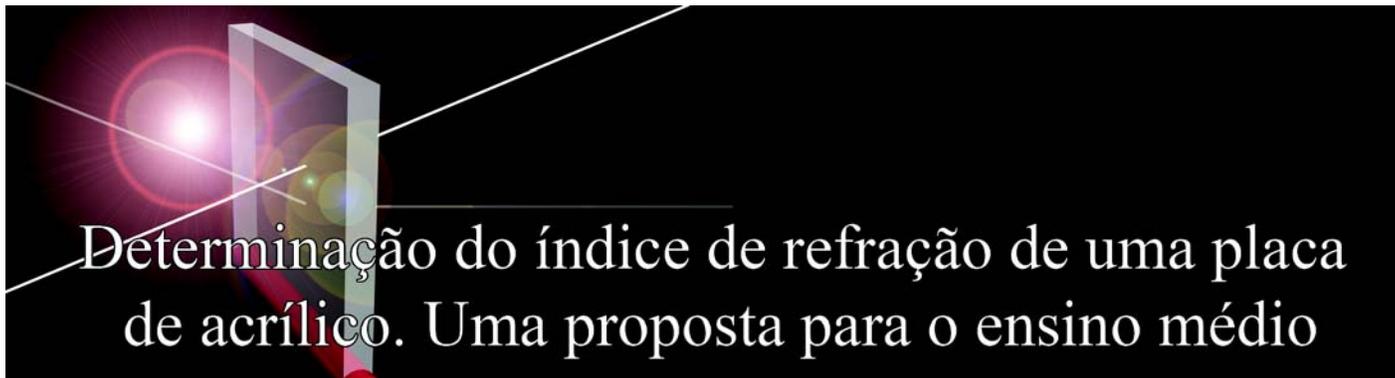
da rotação: sentido anti-horário, *torque* > 0 ; sentido horário, *torque* < 0 .

Considerações finais

Os experimentos foram feitos por alunos do terceiro ano do ensino médio, em quatro instituições escolares, duas da rede pública e duas da rede particular. Em todas elas, os alunos já haviam tido contato com o conceito de 'momento de uma força'. Os resultados foram satisfatórios nas quatro instituições e comprovados pelos índices de acertos nas avaliações realizadas, quando comparados aos índices obtidos em avaliações prévias nas mesmas turmas.

Referências

- [1] Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (MEC, Brasília, 2002).
- [2] P.G. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002).
- [3] A. Máximo e B. Alvarenga, *Curso de Física* (Scipione, São Paulo, 2000), v. 1.
- [4] <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus/index.php>. Consulta realizada em 17/05/2006.



Determinação do índice de refração de uma placa de acrílico. Uma proposta para o ensino médio

.....
Bruno Areal de Santana e Frederico Alan de Oliveira Cruz

Departamento de Física, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil
E-mail: fao_cruz@yahoo.com
.....

Dentro dos temas abordados na óptica geométrica em turmas de ensino médio, a incidência de um raio de luz sobre uma superfície de faces paralelas é, na maioria das vezes, abordada teoricamente e muito poucas vezes experimentalmente. Esse fato faz com que os alunos não percebam o fenômeno físico em si, mas apenas um conjunto de equações como forma de resolução de um problema em função dos dados que lhes são apresentados. Dessa forma, o raio de luz e o fenômeno em si passam quase ou totalmente despercebidos, no que diz respeito às suas características e propriedades intrínsecas [1], ou seja, ocorre uma mecanização do conteúdo apresentado ao aluno.

Essa mecanização que o ensino de física vem sofrendo, de uma maneira geral, tem mostrado poucos resultados práticos, conforme observado no baixo desempenho dos alunos do ensino médio na maioria dos vestibulares pelo país [2]. Sendo assim, é fundamental que o ensino de física passe a enfatizar a compreensão de conceitos e sua aplicação destes em situações concretas, e a desestimular práticas como a memorização de fórmulas e sua aplicação repetitiva em exercícios numéricos artificiais, como dito por Aguiar [3], fazendo com que a aprendizagem possa ser efetivamente verdadeira. No objetivo de evitar essa mecanização, o professor deve então desenvolver práticas alternativas na apresentação dos conteúdos, seja ela no ensino médio ou universitário, buscando capacitar o aluno sobre a temática em questão, enriquecendo sua aprendizagem. Uma maneira de propiciar esse enriquecimento é conectar a visualização do fenômeno e sua expressão matemática [4], evitando assim o pouco interesse dos

alunos com a disciplina de física, que em parte é devido à dificuldade no aprendizado da disciplina, na opinião dos alunos, visto que muitos deles consideram o conteúdo difícil de ser assimilado [5].

Neste trabalho, tendo em vista toda discussão anterior, propomos a montagem de um experimento que permita a visualização do desvio sofrido pela luz ao passar por uma placa de faces paralelas como um instrumento motivador no ensino de óptica em turmas de ensino médio, despertando o interesse e facilitando a aprendizagem do tema.

É fundamental que o ensino de física passe a enfatizar a compreensão de conceitos e a aplicação destes em situações concretas, e a desestimular práticas como a memorização de fórmulas e sua utilização repetitiva

Fundamentos teóricos

Uma placa de faces paralelas pode ser entendida como um conjunto de três meios homogêneos e transparentes separados por duas superfícies planas e paralelas [6]. Quando um raio de luz monocromática, propagando-se inicialmente em um meio com índice de refração n_1 incide sobre uma das faces da placa, com índice de refração n_2 , imersa nesse meio, uma parte do raio (ou a totalidade dele) sofrerá refração. O raio refratado passará a se propagar dentro da placa até chegar a outra face. No caso de $n_1 < n_2$, ao incidir sobre a segunda face, sob um ângulo maior que o arco seno da razão entre o índice de refração do meio e o índice de refração da placa (Eq. (1)), este raio sofrerá reflexão total e não haverá refração. Esse ângulo é chamado de ângulo limite ou crítico e para ângulos maiores que ele não haverá refração, apenas reflexão.

$$\theta_L = \arcsen\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (1)$$

No caso do raio incidir em um ângulo

Neste trabalho propomos um método para determinar o índice de refração de uma placa de acrílico, mais conhecida no ensino médio como lâmina de faces paralelas, com a utilização de métodos de baixo custo, sendo uma proposta viável para o ensino de óptica geométrica em turmas de ensino médio. O experimento trata da visualização e determinação do desvio sofrido por um raio de luz incidente sobre uma placa de faces paralelas.

menor que esse ângulo limite, então ele sofrerá nova refração e se propagará no meio onde a placa se encontra imersa. Como em ambos os lados da placa o meio é o mesmo, ao atravessá-la o raio de luz não sofrerá desvio angular, mas apenas um desvio lateral (d) em relação ao raio inicial que incidiu sobre a placa (Fig. 1). A determinação desse desvio pode ser feita através de conceitos básicos de geometria.

Como podemos observar no triângulo ABC , temos que a reta que liga os pontos A e B é justamente a espessura e da placa, e r é o ângulo de refração. Sendo assim

$$\cos(r) = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = \frac{e}{\overline{AC}} \quad \therefore \overline{AC} = \frac{e}{\cos(r)} \quad (2)$$

No caso do triângulo ACD , a reta que liga os pontos C e D é o desvio lateral, d , sofrido pelo raio incidente ao atravessar a placa, e i é o ângulo de incidência do raio sobre a placa. Dessa maneira obtemos

$$\sin(i-r) = \frac{\overline{CD}}{\overline{AC}} = \frac{d}{\overline{AC}} \quad \therefore d = \overline{AC} \sin(i-r) \quad (3)$$

Substituindo a Eq. (2) na Eq. (3) obtemos

$$d = e \frac{\sin(i-r)}{\cos(r)} \quad (4)$$

Usando a relação trigonométrica

$$\sin(a-b) = \sin(a)\cos(b) - \cos(a)\sin(b) \quad (5)$$

na Eq. (4) com o objetivo de simplificá-la, ficamos com

$$d = e \left[\sin(i) - \frac{\cos(i)\sin(r)}{\cos(r)} \right] \quad (6)$$

A expressão acima não é de grande

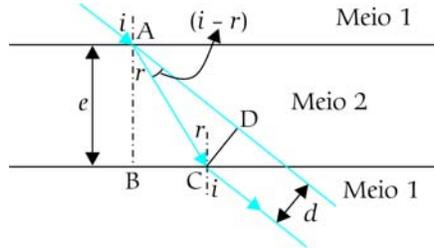


Figura 1. Representação esquemática do desvio sofrido por um raio de luz ao atravessar uma placa de faces paralelas.

utilidade se considerarmos que na maioria das vezes é extremamente difícil determinar o ângulo de refração r ; sendo assim, é conveniente eliminá-lo utilizando a Lei de Snell

$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r) \quad (7)$$

e a relação trigonométrica $\cos(a) = \sqrt{1 - \sin^2(a)}$. Então a Eq. (6) é reescrita da forma

$$d = e \sin(i) \left[1 - \frac{\cos(i)}{\sqrt{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 - \sin^2(i)}} \right] \quad (8)$$

Considerando que o meio onde a placa está imersa, neste experimento, é o ar ($n_1 = 1$), podemos reescrever a Eq. (8) de forma que seja possível determinar o índice de refração da placa (n_2)

$$n_2 = \sqrt{\frac{\cos^2(i)}{\left[\frac{d}{e \sin(i)} - 1\right]^2} + \sin^2(i)} \quad (9)$$

Como podemos observar pela Eq. (9),

se conhecemos o ângulo de incidência (i) do raio luminoso sobre a placa, a espessura (e) da placa e o desvio lateral (d) sofrido pelo raio, é possível determinarmos o índice de refração (n_2) da placa.

É fácil perceber que no limite de $d \rightarrow 0$, na Eq. (9), o índice de refração $n_2 \rightarrow n_1 = 1$, ou seja, na ausência da placa de acrílico o raio incidente não sofreria nenhum desvio lateral, pois estaria atravessando um meio de mesmo índice de refração (no caso, o ar).

Metodologia

Para determinarmos o índice de refração da placa de acrílico em função do desvio sofrido por um raio de luz ao passar por ela, foi necessário a construção de um trilho óptico para a colocação da placa de acrílico e da fonte que iria produzir o raio luminoso, com o objetivo de dar sustentação ao conjunto.

Na construção do trilho óptico nos baseamos na proposta apresentada na Ref. [7], na qual é utilizada uma canaleta retangular de PVC de dimensões $50 \times 20 \times 1000$ mm que pode ser obtida em qualquer loja de material de construção ou de materiais elétricos. Essa canaleta é formada por duas partes que se encaixam (Fig. 2); uma delas é totalmente lisa e a outra possui divisões internas para a separação de fios e cabos. A parte lisa foi utilizada como um trilho, sendo fixada em uma placa de MDF, facilmente encontrada em serralherias. A fixação dessa canaleta no MDF foi necessária porque a canaleta é muito frágil e poderia sofrer algum tipo de deformação. A parte que possui as separações internas foi cortada em pedaços de 5 cm e 10 cm, os quais foram utilizados como suporte para a placa de acrílico, para a fonte laser e para o anteparo.

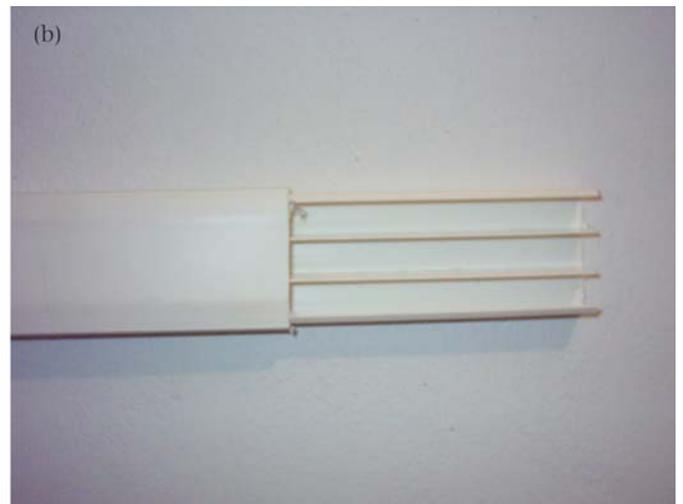


Figura 2. (a) Parte interna da canaleta, uma das partes é lisa e a outra possui espaço para a passagem dos fios. (b) Imagem das duas partes encaixadas.



Figura 3. Placa de acrílico utilizada no experimento com dimensões $200 \times 200 \times 15$ mm.

A placa de acrílico utilizada no experimento foi obtida em uma loja especializada em materiais de acrílico, e possui dimensões de $200 \times 200 \times 15$ mm (Fig. 3). É importante que a placa não possua espessura inferior a 15 mm, pois para esses valores não ocorre uma medição precisa do desvio sofrido pelo raio de luz. Essa placa foi colocada em um suporte de alumínio para dar sustentação, e este foi fixado no pedaço menor cortado da canaleta (Fig. 4).

A fonte laser utilizada foi um chaveiro apontador encontrado em qualquer loja de importados ou comércio de rua. O chaveiro foi centralizado em um tubo de PVC de 40 mm como proposto na Ref. [8], utilizando um conjunto de seis parafusos separados dois a dois em ângulos iguais (Fig. 5). Um sétimo parafuso foi colocado sobre o interruptor do chaveiro de forma a funcionar como botão de liga-desliga. Finalmente, esse conjunto foi fixado sobre

o pedaço maior cortado da canaleta e colocado sobre o trilho óptico.

Entre os suportes de alumínio que foram usados na sustentação da placa, foi colocado um transferidor para que fosse possível a medição do ângulo de inclinação da placa.

O transferidor aqui utilizado é facilmente obtido em papelarias, mas é fundamental que o mesmo seja de meia circunferência, isto é, seja graduado entre 0° e 180° , para que ele possa ser colocado entre os suportes de alumínio que sustentam a placa.

Com todo o conjunto colocado sobre o trilho óptico, o laser foi colocado a uma distância de aproximadamente 50 cm da placa, e esta colocada a uma distância de 30 cm de um anteparo, que foi utilizado para marcar as posições de incidência do raio depois dele atravessar a placa (Fig. 6).

Com a placa colocada na posição 0° , o chaveiro apontador laser foi ligado de forma que o raio proveniente do mesmo não sofresse qualquer desvio lateral ao passar pela placa; dessa maneira foi possível garantir que o ângulo entre a placa e o raio incidente era inicialmente de 90° . Após essa etapa de calibração, colocamos a placa sob os ângulos de 30° , 35° , 45° , 55° e 60° de inclinação em relação ao raio incidente, fazendo o mesmo incidir em 40 pontos distintos da placa. Para cada uma dessas incidências, foram marcadas no ante-



Figura 5. Chaveiro apontador laser centralizado em um tubo de PVC de 40 mm.

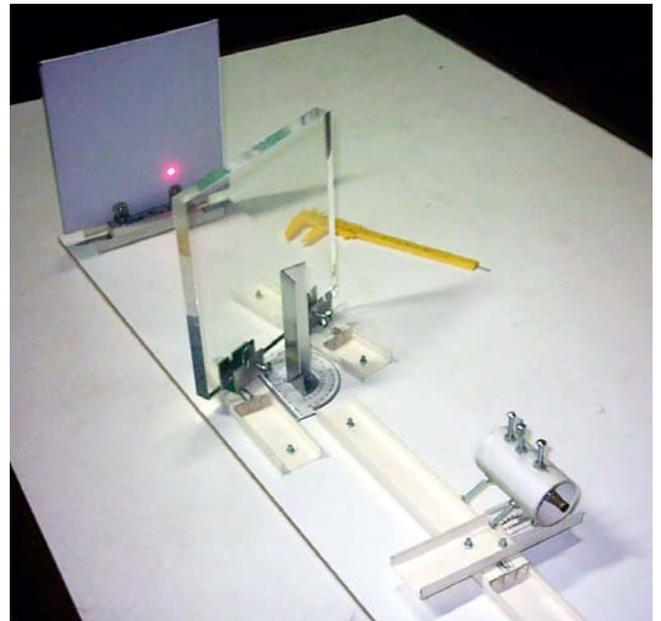


Figura 6. Esquema experimental geral.

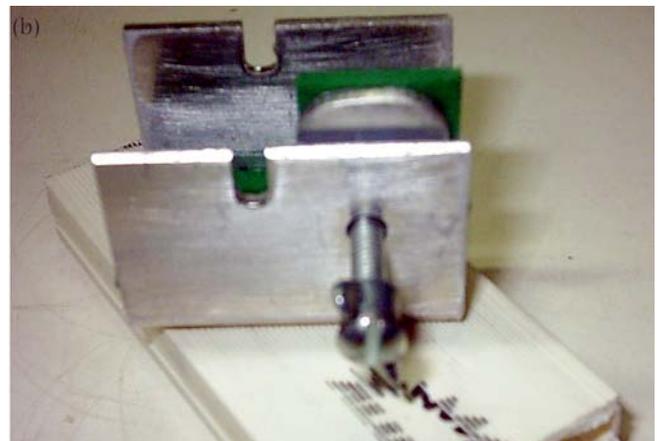


Figura 4. (a) Visão superior do suporte de alumínio onde foi fixada a placa e onde pode ser visto o transferidor utilizado para medir o ângulo de inclinação da placa. (b) Imagem detalhada do suporte de alumínio utilizado para dar sustentação à placa.

paro o ponto onde o raio chegava após atravessar a placa e, posteriormente, com a utilização de um paquímetro, foram medidos o desvio lateral sofrido pelo mesmo.

Com os desvios obtidos, em cada um dos pontos, para cada um dos ângulos de incidência, foi possível determinar o índice de refração da placa com o auxílio da Eq. (9).

Resultados e discussão

Para cada um dos ângulos considerados, foram encontrados os desvios médios. Esses valores foram comparados graficamente com os valores teóricos esperados (Fig. 7), com o objetivo de analisar se existia alguma variação entre os valores teórico e experimental, pois através deles poderíamos prever se o índice de refração da nossa placa estava de acordo ou não com os dados da literatura.

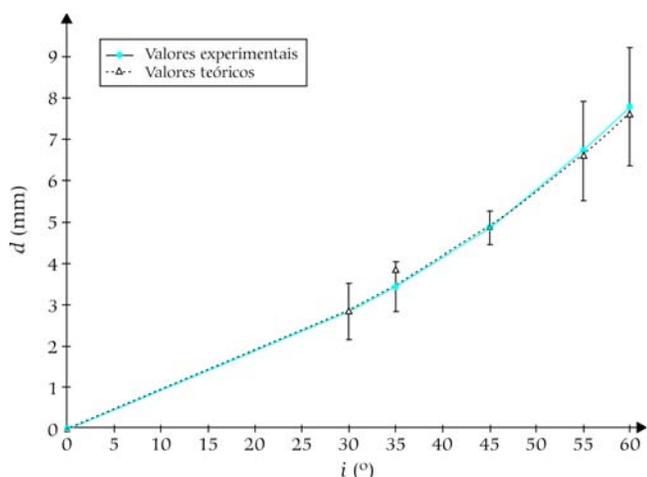


Figura 7. Desvio (d) sofrido pela luz em função do ângulo de incidência (i) sobre a placa.

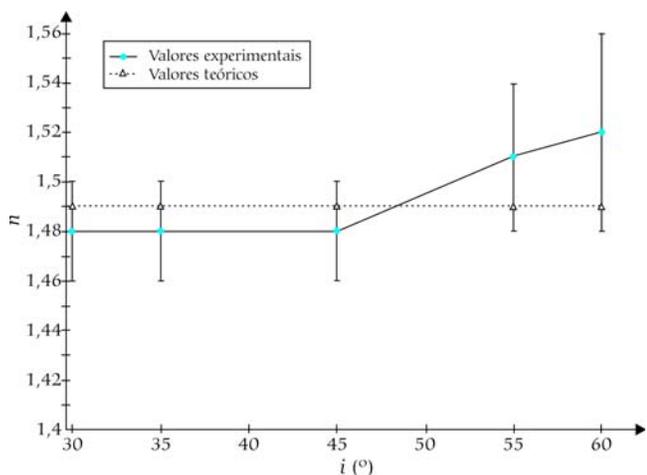


Figura 8. Índice de refração (n) da placa para os diferentes ângulos de incidência (i).

Tabela 1. Índice de refração em função do ângulo de incidência e do desvio sofrido pelo raio.

i ($^{\circ}$) (ângulo de incidência)	d (mm) (desvio médio)	n_2 (índice de refração)
30 ± 1	$2,84 \pm 0,68$	$1,48 \pm 0,02$
35 ± 1	$3,44 \pm 0,62$	$1,48 \pm 0,02$
45 ± 1	$4,86 \pm 0,41$	$1,48 \pm 0,02$
55 ± 1	$6,73 \pm 1,20$	$1,51 \pm 0,03$
60 ± 1	$7,78 \pm 1,43$	$1,52 \pm 0,04$

Observando a Fig. 7 vemos que as curvas são quase coincidentes, e comparando ponto a ponto os valores do gráfico encontramos baixo desvio relativo entre eles, sendo o valor máximo encontrado de 1,03% no ângulo 60° , em relação ao valor teórico. Esse resultado nos sugeriu que se não existia uma grande diferença entre o valor experimental e o teórico para o desvio sofrido pelo raio de luz, nosso experimento deveria, dentro de certos limites, ser capaz de determinar ou comprovar o índice de refração médio da placa de acrílico, caso contrário mostraria que nosso método não era o mais apropriado para determinar o índice de refração ou então o índice de refração da placa utilizada não possuía o valor esperado.

Com os resultados do desvio tabelados, foi possível determinar o índice de refração para cada um dos ângulos, excluindo o ângulo de incidência normal (i), visto que esse não nos daria qualquer informação, pois para uma incidência normal o raio de luz, independente do meio, não sofrerá mudança na direção de propagação segundo a Lei de Snell (Eq. (7)). Utilizando então os outros dados obtidos para d e i e aplicando esses valores na Eq. (9), encontramos os resultados para n_2 na Tabela 1.

Através dos valores obtidos também foi possível determinar o índice de refração médio da placa, onde o valor

obtido foi $1,494 \pm 0,026$, valor muito próximo ao apresentado na literatura [9] de 1,49 para o acrílico.

Conclusão

Com os resultados obtidos, mostramos neste trabalho que com materiais de baixo custo e de fácil montagem, pode-se medir, com certa precisão, o índice de refração de placas relativamente espessas de qualquer tipo de material transparente. A visualização gráfica dos resultados também pode ser realizada com programas de livre licença, como o *Graph 4.3* utilizado nesse trabalho, que pode ser obtido em muitas páginas especializadas em programas gratuitos, permitindo assim que sejam feitos os gráficos com os resultados obtidos e sua comparação com os resultados teóricos.

Referências

- [1] J.P. Gircoreano e J.L.A. Pacca, Caderno Catarinense de Ensino de Física **18**, 26 (2001).
- [2] Clipping, Assessoria de Imprensa, Belém, Seção Clipping, disponível em <http://www.ufpa.br/imprensa/clipping/clipping/clipping%2003%2002%202004.htm>. Acesso em 15/10/2007.
- [3] C.E. Aguiar, E. Gama e S. Costa, *Currículo de Física da Rede Pública do Estado do Rio de Janeiro* (Secretaria Estadual de Educação, Rio de Janeiro, 2004).
- [4] M. Gleiser, Física na Escola **1**:1, 4 (2000).
- [5] A.D.O. Santana, A. Cavalheiro, D.C. Cardoso, E.B. Mendes e F.G. da Silva, in *Atas do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 1, Rio de Janeiro, 2005.
- [6] F. Ramalho, G.F. Nicolau e P.A. Toledo, *Os Fundamentos da Física: Termologia, Óptica e Ondas* (Editora Moderna, São Paulo, 1999), v. 2, 7ª ed.
- [7] T.R. da Silva, Física na Escola **5**:1, 15 (2004).
- [8] J.S. Agustoni, *Colimador Laser*, disponível em http://paginas.terra.com.br/lazer/zeca/pratica/colimador_laser.htm. Acesso em 6/9/2007.
- [9] D. Halliday, R. Resnick, e J. Walker, *Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termodinâmica* (LTC Editora, Rio de Janeiro, 1996), v. 2, 4ª ed.



Notas da HISTÓRIA DA FÍSICA no Brasil

John Archibald Wheeler e a física brasileira

O físico norte-americano John A. Wheeler (1911-2008) faleceu em abril desse ano, aos 96 anos de idade. Wheeler foi um dos físicos mais importantes do século XX. Contribuiu para o desenvolvimento da física nuclear, tendo trabalhado com Niels Bohr no modelo da gota líquida para o núcleo atômico. Atuou destacadamente no Projeto Manhattan, que levou à construção da primeira bomba atômica e, após a Segunda Guerra, teve papel igualmente destacado na produção da primeira bomba de fissão. Wheeler foi também um dos mais ativos pesquisadores no renascimento da pesquisa em gravitação e cosmologia nos Estados Unidos na segunda metade do século XX. Sua popularidade para além da física deve-se também ao seu talento para cunhar palavras e frases que sintetizam as idéias físicas em questão. Dentre as suas pérolas, estão as expressões “buraco negro”, que capturou a imaginação do público leigo, e *it from bit*, com a qual expressou a centralidade do conceito de informação nos processos de medição da física quântica.

Wheeler manteve uma relação muito próxima da física brasileira, tendo sido um dos orientadores do físico brasileiro Jayme Tiomno, na Universidade de Princeton. Por essa razão, escolhemos abordar nesse artigo em homenagem póstuma a Wheeler dois dos aspectos mais relevantes de sua atuação em relação aos físicos brasileiros; a defesa do alcance dessas contribuições, em especial sua defesa da contribuição de Tiomno, e sua solidariedade aos físicos brasileiros vítimas do arbítrio do regime militar.¹ As evidências coletadas nesse artigo mostram que a imagem de Tiomno como um dos físicos teóricos mais brilhantes de sua geração emerge amplifica-

Dentre as pérolas cunhadas por Wheeler estão as expressões “buraco negro”, que capturou a imaginação do público leigo

da; mas fica claro, também, que os prejuízos causados pelo arbítrio político do regime militar (1964-1985) ao desenvolvimento da ciência brasileira foram ainda maiores do que os que usualmente se reconhece.

Wheeler e os físicos brasileiros

A familiaridade de Wheeler com os físicos brasileiros pode ser documentada tão cedo quanto 1949, quando ele e Richard Feynman publicaram artigo na *Reviews of Modern Physics*, onde apresentam um tratamento da eletrodinâmica com partículas agindo à distância, em vez de serem mediadas por campos. Trabalhos dos físicos brasileiros já falecidos, Mário Schenberg e José Leite Lopes, relacionados à teoria do elétron puntiforme e ao problema das divergências na eletrodinâmica quântica, foram citados por Wheeler e Feynman.

No ano anterior, Jayme Tiomno havia chegado a Princeton pensando em trabalhar na área de gravitação sob a orientação de Wheeler. Contudo, o impacto dos trabalhos do brasileiro Cesar Lattes, dos ingleses Cecil Frank Powell e Hugh Muriel, e do italiano Giuseppe Paolo Stanislao Occhialini, indicavam que os raios cósmicos eram constituídos de dois tipos de partículas: os mésons primários (hoje, píons) e os mésons secundários (hoje, múons). Imediatamente Wheeler interessou-se pelos múons, principalmente pelo seu decaimento e pela sua captura por núcleos atômicos. Como Wheeler, Tiomno logo se interessou pelos múons. Nessa ocasião, veio-lhe a idéia de que os múons também

poderiam sofrer uma força do tipo-Fermi. Em 1934, o físico italiano Enrico Fermi havia proposto que o decaimento beta (transformação do nêutron em próton, com a emissão de elétron e neutrino) era devido a uma nova força na Natureza, a força (interação) fraca.

Wheeler e Tiomno, que já haviam pensado no decaimento dos múons, passaram a analisar esse tipo de decaimento, e desenvolveram a tese de atribuir spin $1/2$ ao múon. A idéia foi apresentada inicialmente no Centennial Meeting of the American Association for Advancement of Science, realizado em Washington, DC, no dia 15 de setembro de 1948, e desenvolvida nos artigos publicados no *Reviews of Modern Physics* em

Wheeler manteve uma relação muito próxima da física brasileira, tendo sido um dos orientadores do físico brasileiro Jayme Tiomno, em Princeton

1949. Segundo Wheeler, essa tese foi sugerida por Tiomno, sob a forma de um triângulo, cujos vértices eram constituídos dos núcleons [próton (p) e nêutron (n)], do elétron (e^-) e de seu companheiro neutrino (hoje, ν_e), do múon (μ) e de seu provável companheiro, a partícula leve e neutra μ_0 (hoje, ν_μ). Segundo o esquema apresentado naqueles artigos, as interações entre dois desses pares de partículas seriam do tipo-Fermi (Fig. 1).

É bem aceito na literatura da física e da história da física que a hipótese de que qualquer dos três pares de partículas [(p, n); (e, ν); (μ, μ_0)] interagiriam igualmente consigo ou com quaisquer dos outros pares, em um processo de captura e decaimento, foi um caso de descobertas independentes e simultâneas. Desse modo, os físicos norte-americanos Val Logsdon Fitch e Jonathan L. Roser, por exemplo, atribuem essa hipótese, denominada de *weak universality*, aos seguintes físicos: o ítalo-russo Bruno M. Pontecorvo; o sueco

Oskar Benjamin Klein; o italiano Giampietro Puppi; os sino-norte-americanos Tsung Dao Lee e Chen Ning Yang e o norte-americano Marshal N. Rosenbluth; e Tiomno e Wheeler. Desse ponto de vista, a contribuição de Tiomno teve pleno reconhecimento na física do século XX. Contudo, apenas Tiomno, como Wheeler enfatizaria muitas vezes, expressou esta idéia na forma de um diagrama - o referido triângulo publicado no artigo conjunto de Tiomno e Wheeler - capaz de expressar sinteticamente o conhecimento físico e matemático implícito na proposta.

Apesar dessa evidência histórica, o reconhecimento de Tiomno pela autoria do diagrama tem sido incerto. O problema remonta ao início da década de 1950, quando o físico francês Louis Michel, em artigo de revisão, publicou o desenho do triângulo, mas sem atribuir-lhe autoria, e foi agravado na década seguinte, quando passou a ser denominado de triângulo Puppi-Tiomno, e atingiu seu ápice quando Robert Marshak, no início da década de 1980, falando em um evento que resultou em uma obra clássica da história da física de partículas, denominou-o apenas de triângulo Puppi. Nessa altura, em 1984, instado por Wheeler, Tiomno reagiu, participando de conferência dedicada aos 50 anos da interação fraca, realizada em Racine, EUA. Antes dessa conferência, Wheeler, pressentindo o risco, e impossibilitado de comparecer, escreveu, em 7 de fevereiro de 1984, uma carta para Tiomno, que se encontrava em Pádua, na Itália, apelando, de modo quase imperativo, para que preparasse um artigo sobre a contribuição que dera a esse tema e o apresentasse no evento. A transcrição das palavras de Wheeler pode fornecer uma imagem da dimensão humana e social presente na questão do reconhecimento de

A apreciação de Wheeler pelas contribuições de Tiomno à universalidade da interação fraca fez com que Wheeler o indicasse para receber o Prêmio Nobel de Física de 1987

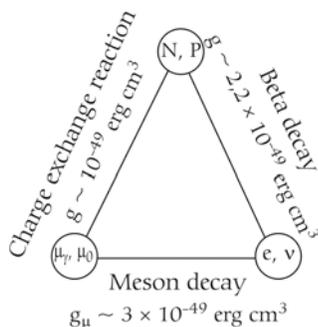


Figura 1. O Triângulo de Tiomno, conforme apresentado no Reviews of Modern Physics, em 1949.

prioridades na ciência:

Você realmente deve ir à conferência em Racine e apresentar um trabalho com o título *Early History of the Universal Weak Interaction*, ou algo do tipo. Existe um provérbio vietnamita que diz: ‘aquele que está ausente, está errado’. Você estará certo e deve estar presente. Por favor, telefone ou telegrafe D. Cline. Lembre-se das palavras de Napoleão, ‘cada hora de tempo perdido é uma fonte potencial de desastre’.

A intervenção de Wheeler foi providencial, porque Tiomno aceitou o apelo e apresentou o trabalho *The Early Period of the Universal Fermi Interactions*. Tanto a sua participação nessa conferência quanto as cartas trocadas em seguida com o próprio Marshak colocaram um freio a esta nada sutil mudança na atribuição de prioridades. A presença de espírito de Tiomno ficou evidente quando intitulou uma seção de sua apresentação como *O Caso do Triângulo Mutante*. Em obra ulterior, Marshak não mais atribuiu o triângulo a Puppi, apresentando-o como o “famoso triângulo das interações fracas” sem atribuí-lo a qualquer autor. Para azar de Tiomno, contudo, as atas dessa conferência demoraram muito a aparecer.

Face à incerteza desse reconhecimento, Wheeler retomou o problema em 1998, em sua autobiografia, publicando um desenho (Fig. 2) com o triângulo, e afirmando que ele deveria se chamar apenas Triângulo Tiomno. Segundo Wheeler:

Eu sempre pensei que esse triângulo deveria ser chamado o Triângulo Tiomno. Ele foi o primeiro a obtê-lo. Poucos meses depois de nosso artigo ter aparecido, Giampietro Puppi publicou idéias similares em uma revista italiana. Ele, também, viu a grande simplicidade de uma interação comum entre núcleons, elétrons, múons e neutrinos. Desafortunadamente, o Triângulo Tiomno é agora conhecido como o Triângulo Puppi, mesmo Puppi não tendo incluído um diagrama em seu artigo.

A apreciação de Wheeler pelas contri-

buições de Tiomno à universalidade da interação fraca, expressas também no trabalho que Tiomno publicou em 1955 denominado *Mass Reversal and the Universal Interaction*, fez com que Wheeler o indicasse para receber o Prêmio Nobel de Física de 1987, em carta (Fig. 3) que escreveu para o físico sueco Stig Gunnar Lundqvist, em 6 de fevereiro de 1987; esse fato era desconhecido do próprio Tiomno até recentemente. Wheeler havia recebido do físico chinês San Fuan Tuan a proposição ao Comitê Nobel que aquele prêmio fosse atribuído a Sudarshan, Marshak e à física chinesa Madame Chien-Shiung Wu, por haverem contribuído, respectivamente, teórica e experimentalmente, à demonstração daquela universalidade. Wheeler concordou integralmente com a recomendação, mas com uma adição essencial: a inclusão de Jayme Tiomno. Essa inclusão devia-se, segundo Wheeler, ao fato de ele haver tornado inescapavelmente claro que “a magnitude do acoplamento é a mesma no decaimento beta, no decaimento de um méson mu, e na interação de troca de carga de um méson mu com um núcleo”. No final dessa carta, Wheeler enfatiza que a premiação dos quatro físicos “enfatizaria duplamente a toda pessoa pensante no maravilhoso poder de ligação da ciência, ligando desse modo América do Norte (Marshak), América do Sul (Tiomno), Índia (Sudarshan) e China (Madame Wu)”. O Prêmio Nobel de 1987, entretanto, foi atribuído aos físicos Johannes Georg Bednorz, alemão, e Karl Alex Muller, suíço, pela descoberta das cerâmicas supercondutoras, em 1986.

Wheeler e a física brasileira durante o regime militar

Cartas trocadas entre Leite Lopes e Wheeler, respectivamente, em 15 de dezembro de 1964 e 4 de janeiro de 1965, indicam as primeiras preocupações de Wheeler com a situação da física brasileira em decorrência do regime militar instaurado em abril daquele ano. Preocupado com a situação de seu amigo Tiomno,

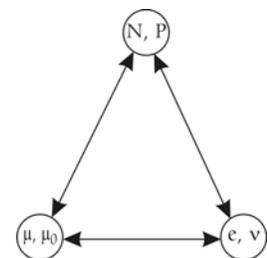


Figura 2. O Triângulo Tiomno, conforme apresentado por Wheeler em sua autobiografia.

Wheeler convidou-o, por duas vezes, em novembro e dezembro de 1967, para ser Professor Visitante na Universidade de Princeton. Contudo, como acabara de conquistar a cadeira de física teórica e superior do Departamento de Física da USP, em novembro de 1967, Tiomno declinou do convite. Mas pouco depois do início dos trabalhos na USP, a intolerância do regime militar brasileiro, agora de posse de um instrumento ditatorial, o ato institucional número 5 (AI-5), de 13 de dezembro de 1968, interrompeu essa nova etapa da carreira científica de Tiomno ao aposentá-lo juntamente com outros professores brasileiros (sua mulher Elisa Frota Pessoa, Leite Lopes e Schenberg, dentre outros), em abril de 1969, em decorrência do ato complementar número 75. Wheeler tomou conhecimento desse ato arbitrário ao receber uma carta do físico brasileiro Roland Köberle, datada de 28 de abril de 1969.

De posse dessa informação, Wheeler escreveu para várias pessoas a fim de ver o que poderia fazer em prol de seus amigos, chegando a contatar o Conselho da American Physical Society para verificar a possibilidade desta associação saber do embaixador brasileiro Mário Gibson Barbosa a razão daquele arbítrio e, se possível, revertê-lo. Em 14 de maio de 1969, o físico norte-americano W.W. Havens Junior, secretário executivo daquele Conselho, dirigiu-se ao embaixador Barbosa solicitando informações sobre as circunstâncias em que ocorreram as aposentadorias de Tiomno e Leite Lopes, "sem, presumivelmente, qualquer oportunidade de defesa por parte desses distintos físicos". Ainda em maio do mesmo ano, Leite Lopes escreveu uma carta a Wheeler comunicando-lhe que, em virtude das aposentadorias de diversos físicos brasileiros e do clima de insegurança acadêmica que a ditadura militar tinha implantado no Brasil, não haveria mais a XI Escola Latino-Americana de Física, que aconteceria no Rio de Janeiro, de 2 a 30 de julho de 1969, sob sua coordenação, e, portanto, estava cancelado o convite que ele fizera no ano anterior para Wheeler falar sobre o presente e o futuro da teoria da relatividade geral.

Apesar dessas manifestações, a situação dos professores aposentados permaneceu a mesma, o que ensejou Wheeler a enviar uma carta a Tiomno, no dia 24 de junho de 1969, convidando-o para trabalhar na Universidade de Princeton, no ano acadêmico de 1969-1970. Na expectativa de que a tempestade militar que desabara sobre o Brasil era passageira, Tiomno declinou daquele convite aguardando

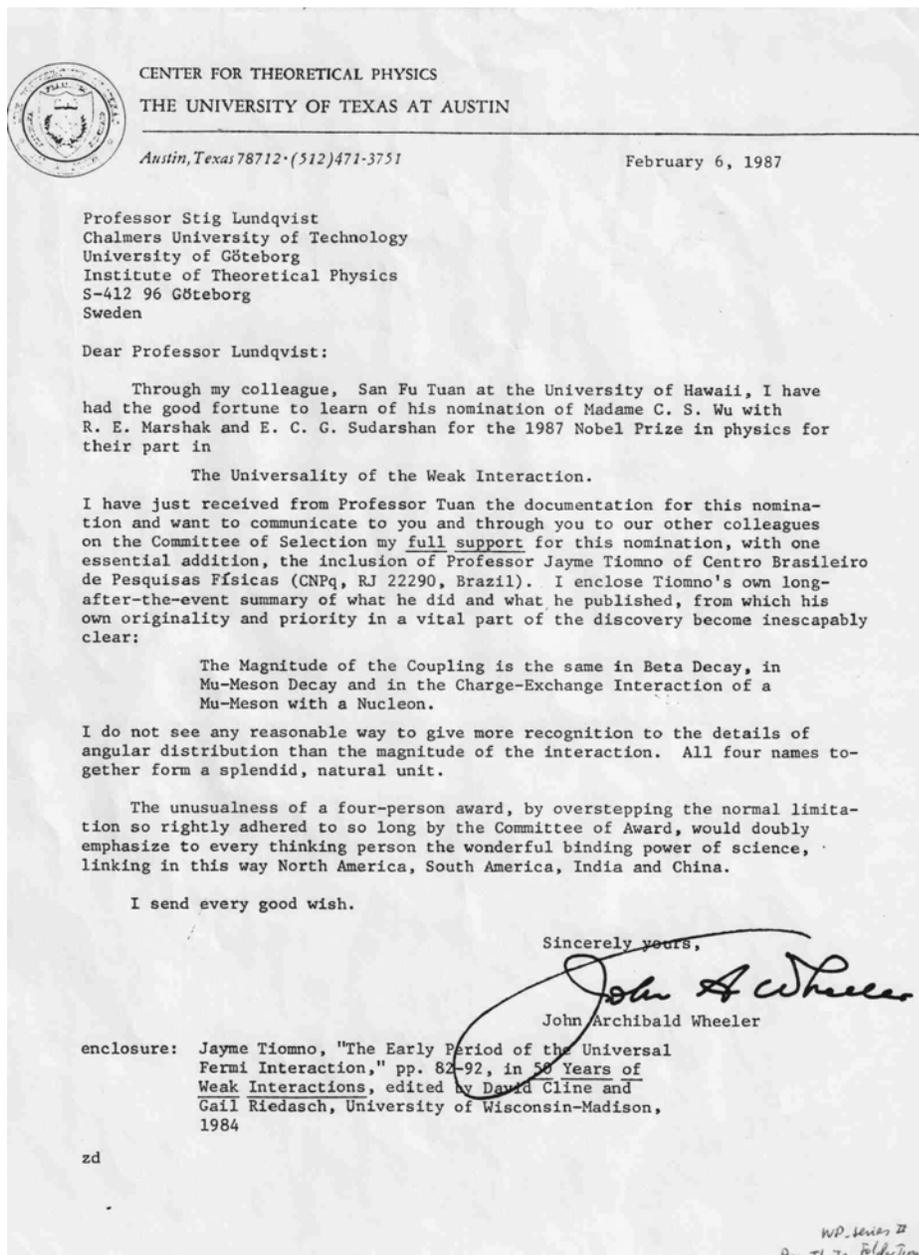


Figura 3. Carta de Wheeler a Lundqvist, onde o primeiro indica Tiomno à premiação do Nobel.

dando um convite formulado por seus antigos discípulos, colaboradores e admiradores, os professores brasileiros Jorge André Swieca (já falecido), Nicim Zagury, Antonio Luciano Leite Videira e Erasmo Madureira Ferreira, para trabalhar no Departamento de Física da PUC do Rio de Janeiro. Contudo, o convite esbarrou em obstáculos políticos derivados da proibição aos cientistas aposentados compulsoriamente de trabalharem em qualquer instituição de ensino brasileiro.

Preocupado com o rumo que a física brasileira tomaria com o afastamento de alguns de seus melhores físicos, Wheeler escreveu, no dia 22 de julho de 1969, uma carta ao físico brasileiro Moysés Nussenz-

veig, que se encontrava em Rochester, sobre a proposta do Deão Robert Fuller, do Trinity College, em Hartford, Connecticut, relativa à possibilidade de criação de um Instituto de Pesquisa na América do Sul, com sede no Brasil. Aquela atitude foi inspirada em experiência similar e bem sucedida com cientistas argentinos da área de biomédicas que também haviam sofrido perseguições políticas. Essa posição de Wheeler, bem como a sua preocupação com seus amigos aposentados, fizeram com que Leite Lopes, então professor visitante na Carnegie-Mellon University, em Pittsburg, Pennsylvania, escrevesse, em 21 de outubro de 1969, uma carta para Wheeler agradecendo a

solidariedade que prestara aos físicos brasileiros que foram prejudicados pela sandice da ditadura militar. A solidariedade de Wheeler com os brasileiros não foi restrita àqueles com quem tinha relações pessoais próximas, tanto que, em 12 de dezembro de 1970, informado por Nussenzweig e por Kip Thorne da prisão, em São Paulo, do casal de físicos brasileiros Ernest e Amélia Hamburger, enviou um telegrama ao presidente Emílio Médici (Fig. 4), solicitando que fossem observados os direitos humanos e legais do casal, e expressando sua preocupação com a informação de que ambos estavam incomunicáveis.

O recrudescimento da ditadura militar fez com que Tiomno finalmente decidiu sair do Brasil. Assim, em 18 de setembro de 1970, ele recebeu uma carta do físico Freeman Dyson para ser Professor Visitante na Universidade de Princeton e no Instituto de Estudos Avançados, também situado na cidade de Princeton, no ano letivo de 1970-1971. Tiomno respondeu a Dyson e a Wheeler que aceitava o honroso convite para trabalhar naquelas instituições, nas quais ficou cerca de um ano e meio, entre 1971 e 1972. A estada em Princeton foi bastante produtiva para Tiomno, levando à conclusão de 11 trabalhos científicos. No entanto, a saudade do Brasil e de seus amigos foi tão grande que Tiomno e sua mulher Elisa decidiram voltar ao país. Uma carta de Tiomno a Wheeler, em 27 de junho de 1972, evidenciava tanto o apreço mútuo entre eles quanto a importância dessa estada para a recuperação moral de Tiomno, depois das vicissitudes políticas sofridas no Brasil. Como veremos, contudo, os prejuízos causados por tais vicissitudes ainda não tinham terminado, e ameaçariam a própria saúde de Tiomno. No Rio de Janeiro, ele finalmente recebeu um convite para trabalhar na PUC/RJ, e dessa vez o convite foi viabilizado. Desse modo, passou a inte-



Tiomno, Wheeler e Remo Ruffini, em Princeton, 2002.

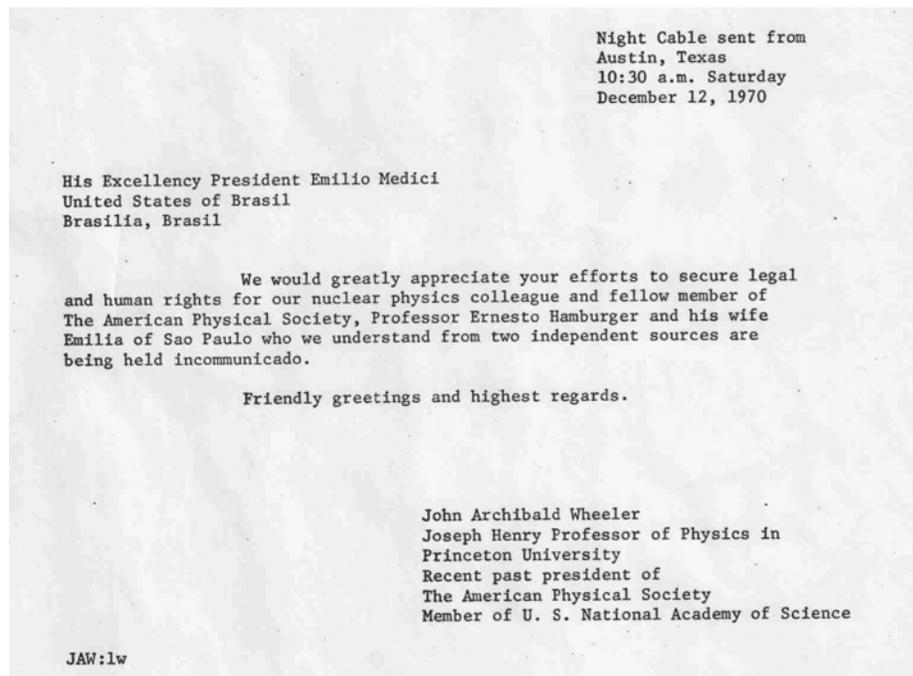


Figura 4. Carta de Wheeler a Médici, onde o cientista apela em favor do casal Hamburger.

grar o corpo docente dessa universidade católica a partir de 1973.

Mas a hostilidade que os militares exerciam contra os professores cassados pelo AI-5 fez com que Tiomno tivesse uma depressão nervosa, que o obrigou a fazer um tratamento terapêutico-analítico entre 1974 e 1975. Sabedor disso, Wheeler, por intermédio do matemático norte-americano Bill Faris, que se encontrava no Departamento de Matemática da PUC/RJ, enviou-lhe uma carta convidando-o para trabalhar na Universidade do Texas, em Austin, para onde Wheeler fora, em 1976, depois de se aposentar na Universidade de Princeton. Tiomno demorou para responder e, em 26 de janeiro de 1978, escreveu para Wheeler lamentando não poder aceitar o convite, embora sinalize a possibilidade de ir para o Texas, no ano seguinte. A relação da depressão nervosa

com o contexto político do país está bem evidenciada na resposta de Tiomno a Wheeler: “eu gostaria de lhe dizer que logo após a minha volta ao Rio de Janeiro, quando eu já tinha um trabalho na Universidade Católica e estava iniciando um grupo em relatividade geral, eu tive um colapso nervoso. Ele teve muito a ver com o fato de ser abusado e privado de direitos (e idéias) e não ser capaz de reagir

prontamente e adequadamente em muitos momentos de minha vida. Isso tornou-se claro durante o tratamento psico-analítico (1974-1975)”.

A abertura política patrocinada pelos generais-presidentes Ernesto Geisel e João Batista Figueiredo, e a intensificação da luta democrática que levaram à promulgação da lei da anistia, em 1979, propiciaram a volta de Tiomno e Leite Lopes para o CBPF, a partir de 1980. Os danos para a ciência brasileira, contudo, não podiam ser reparados. A imagem de Tiomno e de suas contribuições à física sai magnificada nessa narrativa, e transcende aquelas circunstâncias, sendo parte da história da ciência no Brasil.

Nota

¹Esse artigo é baseado no nosso trabalho *Wheeler, Tiomno e a Física Brasileira*, publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física 25, 426 (2003), ao qual remetemos o leitor interessado nas referências das fontes aqui utilizadas. Um obituário de John Wheeler, com links para outras fontes de informação sobre a vida e a obra do físico norte americano, está postado em Physics Today, disponível em http://blogs.physicstoday.org/newspicks/2008/04/john_wheeler_19112008.html.

Olival Freire Junior
Departamento de Física,
Universidade Federal da Bahia
olival.freire@gmail.com

José Maria Filardo Bassalo
Fundação Minerva



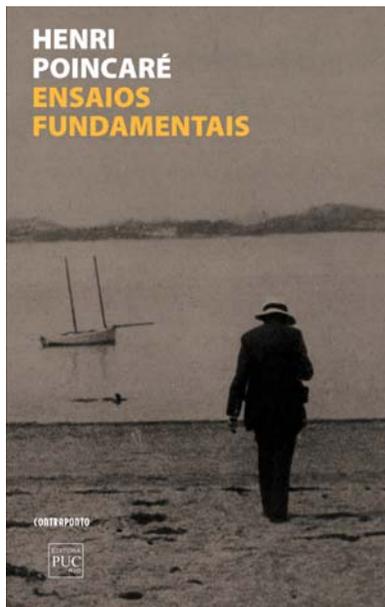
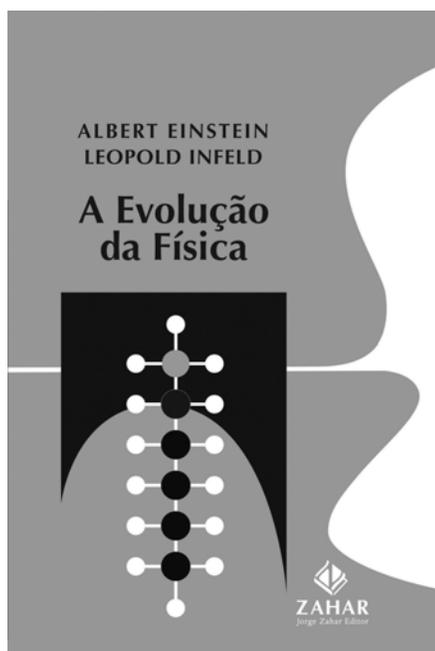
A Evolução da Física

Albert Einstein e Leopold Infeld

Tradução: Giasone Rebuá

3ª edição, Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 248 p.

Albert Einstein (1879-1955), além de grande cientista e homem público, foi um divulgador da ciência através de ensaios, artigos e palestras. Publicou seu primeiro livro para um público amplo em 1916 - *A Teoria da Relatividade Especial e Geral (Uma Exposição Popular)* - que teve grande sucesso e foi publicado em várias línguas. Em 1938, juntamente com seu assistente, o físico polonês Leopold Infeld (1898-1968), publicou *A Evolução da Física*, agora reeditado no Brasil pela Jorge Zahar Editor. O livro se transformou em um clássico do gênero influenciando gerações; é delicioso, com analogias, metáforas e diálogos muito interessantes que contribuem para descomplicar conceitos e teorias intrincadas da física clássica tradicional e da relatividade. O ponto fraco é a última parte que aborda a teoria quântica, mas ainda assim um excelente texto básico para o estudante e professor do ensino médio.



Ensaio Fundamentais

Henri Poincaré

Organização: Antônio Augusto Passos Videira e Ildeu de Castro Moreira

Tradução: Vera Ribeiro

Contraponto e PUC/RJ, Rio de Janeiro, 272 p.

Henri Poincaré (1854-1912) foi considerado por Bertrand Russell como “a maior figura produzida pela França nos tempos modernos”. Contribuiu profundamente para o avanço da matemática, da física e da astronomia, com idéias e métodos originais. Foi o primeiro a enunciar o princípio da relatividade, que se tornou um dos postulados da teoria da relatividade restrita de Einstein. Com uma criteriosa seleção de Guto Videira e Ildeu Moreira, este livro contém artigos de divulgação de Poincaré. Os ensaios abordam um amplo espectro de temas: da teoria eletromagnética de Maxwell à teoria do elétron de Lorentz; da mecânica clássica à hipótese dos quanta, passando pela realidade dos átomos; dos fundamentos da geometria à relação entre as ciências e as humanidades. Uma obra de fundamental importância para o professor interessado no ensino, na história e na epistemologia das ciências.

Feynman: Lições de Física (3 v.)

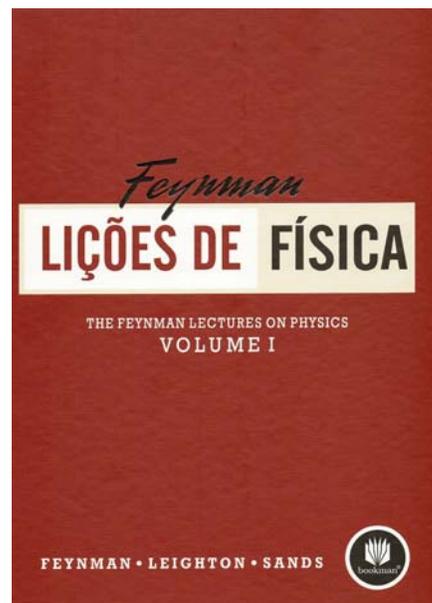
R.P. Feynman, R.B. Leighton e M. Sands

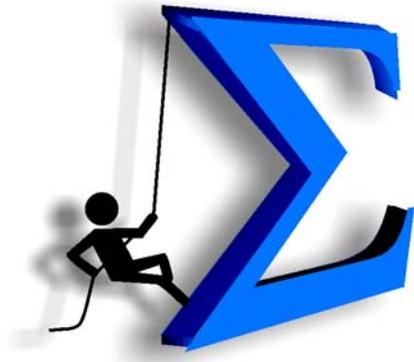
Tradução: Adriana V. Roque da Silva e Kaline R. Coutinho

Revisão Técnica: Adalberto Fazzio

Bookman, Porto Alegre, 1798 p.

Finalmente em língua portuguesa a magistral obra *Feynman Lectures on Physics*. Muito conhecida apesar de pouco lida, a coleção contém a transcrição das aulas de Feynman do curso introdutório de física para alunos do Caltech oferecido em 1962. A edição brasileira *Lições de Física* - caprichada e fiel à original - é baseada na versão revisada e definitiva(?) de 2006. Não deve ser considerado um livro-texto usual, embora tenha sido esta a pretensão inicial, pois trata-se de um livro difícil, porém instigante, que aborda conceitos e métodos da física de forma bastante original e que pode se tornar um *guia* para os professores e para os alunos mais talentosos.





Problemas Olímpicos

Soluções dos problemas do número anterior

1 Um garoto desliza por uma encosta de grama utilizando uma caixa de papelão. Ao se dobrar a massa, dobra-se a força normal, e, portanto, dobra-se o valor da força de atrito, tanto na encosta como na parte horizontal. Na encosta, como tanto a gravidade como a força de atrito são proporcionais a massa, a aceleração será a mesma e a velocidade ao atingir a parte horizontal também será a mesma. Na parte plana, como a velocidade é a mesma, e como a força de atrito é proporcional a massa, a desaceleração e distância máxima atingida também será a mesma.

2 O pé de feijão cuja altura dobra a cada dia. Se a velocidade de crescimento é tal que sua altura dobra a cada dia, e como demora 36 dias para atingir a Lua, após 35 dias ele terá a metade da distância, pois no próximo dia ele dobrará sua altura, atingindo então a Lua. Em 34 dias e pé de feijão atingirá 1/4 da distância, e assim por diante.

3 Comprando o peso de uma bola de futebol com o peso do ar contido em uma geladeira a 0 °C. O peso do ar contido na geladeira é maior. Vejamos. A massa de uma bola de futebol é 0.40–0.45 kg. A massa de um metro cúbico de ar a 0 °C e pressão atmosférica normal é ~1.3 kg. Uma geladeira de tamanho médio tem aproximadamente 0.6 m³, e contém aproximadamente 0.8 kg de ar, pesando, portanto, significativamente mais do que a bola de futebol. Não notamos o peso do ar porque estamos submerso nele.

4 Foguete é lançado a partir do chão com velocidade v e ângulo de lançamento θ com a horizontal. Considere a origem no instante inicial de lançamento. As componentes horizontais e verticais do foguete como função do tempo são $x = v \cos(\theta) t$ e $y = v \sin(\theta) t - gt^2/2$. É mais fácil trabalhar com o quadrado da distância do ponto de lançamento, que é $r^2 = x^2 + y^2 = v^2 t^2 - vg \sin(\theta) t^3 + g^2 t^4/4$.

A derivada temporal de r^2 é

$$\frac{dr^2}{dt} = t[2v^2 - 3(vg \sin(\theta))t + g^2 t^2].$$

Para tempos muito pequenos, a derivada é positiva e r cresce com o tempo. A derivada é nula quando a distância for um extremo. Isso ocorre quando

$$t = \frac{3vg \sin(\theta) \pm \sqrt{(3vg \sin(\theta))^2 - 8g^2 v^2}}{2g^2}$$

Existes três casos a considerar:

i) Se o ângulo θ for muito pequeno, o argumento da raiz é negativo. Neste caso não há solução real para a condição acima, e, portanto, a derivada será sempre positiva e a distância cresce indefinidamente. O menor ângulo para o qual a derivada se anula é dado por $9 \sin(\theta) - 8 = 0$. Assim, a distância sempre aumentará para ângulos $\theta < \sin^{-1} \sqrt{8/9} \approx 70.5^\circ$.

ii) Se $\theta = \sin^{-1} \sqrt{8/9}$, haverá uma solução real para o tempo

$$t_3 = 3v \sin(\theta) / (2g) = \sqrt{2} v/g.$$

Neste caso, a distância também não decresce.

iii) Se $\sin^{-1}(\sqrt{8/9}) > \theta > 90^\circ$, haverá duas soluções reais e positivas. A distância

entre o foguete e o ponto de lançamento começará a decrescer após um tempo t_1 dado por

$$t_1 = \frac{v}{2g} (3 \sin(\theta) - \sqrt{9 \sin^2(\theta) - 8}).$$

A segunda solução (segunda raiz da Eq. (1)) é

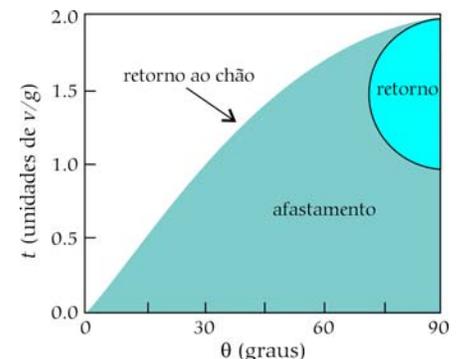
$$t_2 = \frac{v}{2g} (3 \sin(\theta) + \sqrt{9 \sin^2(\theta) - 8}).$$

O foguete retornará ao chão em

$$t_3 = \frac{2v \sin(\theta)}{g}.$$

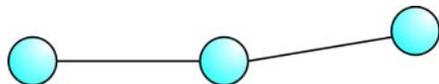
Se o foguete for lançado verticalmente ($\theta = 90^\circ$), ele gastará metade do tempo se afastando do chão ($t_1 = t_3/2$) e metade do tempo retornando.

Tais resultados podem ser sumarizados no diagrama abaixo. Para cada ângulo, uma fatia vertical da região escurecida mostra o que o foguete está fazendo como função do tempo. O foguete afasta-se indefinidamente da posição de lançamento na região azul e aproxima-se dele na região vermelha. A linha preta indica quando o foguete atingirá o chão.



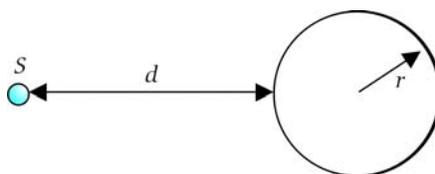
Novos problemas

1 Três pequenas moedas idênticas de massa m cada uma estão conectadas por duas cordas leves e não condutoras, cada uma de comprimento d . Cada moeda tem uma carga desconhecida Q . As moedas são colocadas em uma superfície horizontal, isolante e sem atrito, as duas cordas fazendo um ângulo próximo a 180° conforme mostra a figura. Após soltar as moedas, observa-se que elas vibram com um período T . Determine a carga Q de cada moeda.



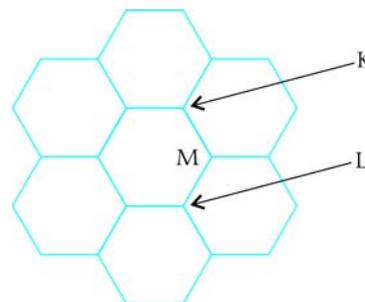
2 Uma placa metálica fina é suspensa no ar. Um dos lados da placa fica diretamente exposta à luz solar. A temperatura da superfície exposta é de 360 K. A temperatura da superfície do lado oposto é de 340 K. A temperatura do ar é de 300 K. Qual será a temperatura das superfícies de uma placa feita do mesmo material, mas que seja duas vezes mais espessa? (a temperatura do ar é a mesma).

4 Um diamante muito caro é polido na forma de uma esfera perfeita de raio r . A metade traseira da superfície da esfera é coberta com prata. Quanto longe devemos colocar em frente da esfera uma pequena fonte de luz S para que a imagem coincida com a fonte? O índice de refração do diamante é $n = 2,4$.



3 Considere duas partículas de mesma massa m e cargas elétricas de mesma magnitude, mas de sinais opostos. As partículas são mantidas em repouso em um campo magnético uniforme B . A direção do campo magnético é perpendicular à linha que conecta as cargas. As partículas são liberadas simultaneamente. Qual é a separação inicial mínima L tal que as partículas não colidirão após terem sido liberadas? Despreze o efeito da gravidade.

5 O diagrama mostra uma parte de um circuito infinito feito de fios condutores. Cada lado do hexágono tem a mesma resistência R (desconhecida). Um ohmímetro conectado nos pontos K e L registra 10 W. Ache R .



Envie sua solução dos problemas para djpr@df.ufscar.br. Não esqueça de incluir a sua Escola na mensagem. Se estiver correta, você se candidata a uma assinatura gratuita de Física na Escola, além de constar na Lista de Honra da seção Desafitos

O "time" dos físicos quânticos - solução



Da esquerda para a direita vemos, em pé, Dirac, Ehrenfest, Bohr, Einstein, de Broglie e Planck. Agachados, estão Born, Heisenberg, Jordan, Pauli e Schroedinger.