

## Carta do Editor

**A** pesar de manifestações favoráveis, algumas até entusiasmadas, de colegas acerca da importância da *Física na Escola* para a formação de professores e melhoria da qualidade do ensino de Física no Nível Médio, uma constatação flagrante é que apenas uma pequena parcela da enorme comunidade interessada tem participado do esforço editorial contribuindo com artigos, notas, e outros textos para as nossas seções. Resumo da ópera: precisamos de mais artigos.

Seguem aqui algumas sugestões no sentido de ampliar esta participação. Temos conhecimento de excelentes apresentações no Simpósio Nacional de Ensino de Física, em Encontros Regionais, em *Semanas da Física* organizadas por Departamentos de Física e Escolas de EM que, na nossa opinião, mereceriam ser divulgadas visando a um público mais amplo. Professores-orientadores das disciplinas de *Instrumentação e Prática de Ensino de Física* (formação inicial) e de *Cursos de Especialização e Aprimoramento de Professores* (formação continuada) podem incluir como uma das atividades, além da realização dos projetos, a elaboração de um artigo. Se o resultado for bom, mande-nos.

Além dos nossos leitores/especialistas em ensino de Física, gostaríamos de encorajar leitores/professores do EM (incluo especialmente os que nunca publicaram um artigo antes) a submeter artigos apresentando idéias criativas em Ensino de Física. Se você tem acompanhado os nossos números, já percebeu o estilo e formato de nossos artigos. Gostamos de

artigos curtos descrevendo novas experiências, demonstrações espetaculares, uma solução mais inteligente para um problema antigo, novas maneiras de abordar conteúdos específicos. Caso você tenha dúvida se sua idéia é apropriada para publicação na *FnE*, envie uma pequena descrição da proposta (via e-mail ou endereço normal) e ficaremos felizes em responder.

Uma mensagem para nossos colegas que já ilustram revistas como *The Physics Teachers*, *European Journal of Physics* e similares com artigos de excelente qualidade: valorizem as nossas revistas e o nosso professor de Física do EM, pois estes possuem dificuldades óbvias de acesso a estes periódicos.

\* \* \*

Com o apoio da Sociedade Brasileira de Física, o MEC está lançando o volume de Física da coleção *Explorando o Ensino* com tiragem de 35.000 exemplares para distribuição em todas as escolas públicas do Ensino Médio do país. Na Apresentação consta que “o objetivo principal do livro é oferecer aos professores do EM, cientes da necessidade de mudanças em sua atuação docente, uma série de textos elaborados por profissionais de ensino de Física contendo reflexões sobre este ensino, novos conhecimentos, práticas e atividades em sala de aula que poderão contribuir para uma maior aquisição de conhecimentos e uma aprendizagem significativa de seus estudantes”. O livro contém artigos selecionados – publicados a partir de 2000 – da *Revista Brasileira de Ensino*



de Física, da *Física na Escola*, e do *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (antes de 2000, *Catarinense*). Os artigos discutem o papel dos laboratórios, da simulação computacional e da história no ensino de Física, abordando ainda tópicos especiais sobre luz e visão, ondas eletromagnéticas, fenômenos térmicos, Física nos esportes e Física Moderna.

*Nelson Stuard*



.....  
**Carlos A. Argüello**  
Faculdade de Ciências Exatas,  
Universidade do Estado de Mato  
Grosso, Brasil  
.....

**A**meados de abril de 2002, nas atividades da segunda etapa intermediária de ciências de nosso curso de Educação Indígena de terceiro grau (primeiro curso para formar especificamente professores indígenas de nível universitário no Brasil), percorremos o rio Xingu, desde o posto indígena Coluene até a aldeia Yudjá Tubatuba.

O Rio Xingu atravessa a Terra Indígena do Parque do Xingu, na Amazônia legal, estado do Mato Grosso e possui uma riqueza étnica incomparável, formada de 14 povos diferentes.

Na etapa entre Pavurú e Diauarum nos surpreendeu um fato que chamou a atenção de todos os que viajavam no barco de alumínio, impulsionado velozmente pelo motor de popa, e que mereceu nossa reflexão.

No fim da tarde, com o sol já baixo, à nossa esquerda, com a superfície da água assemelhando-se a um perfeito espelho, vimos projetada sobre o topo da vegetação próxima da margem direita uma imagem escura que nos acompanhava, com a mesma velocidade de nossa lancha, “navegando” sobre as árvores.

Próxima do rio, a mata ciliar era densa e coberta de trepadeiras e cipós emaranhados. Não foi difícil reconhecer nesta imagem escura a sombra de nossa embarcação. Movemos os braços saudando a imagem e esta respondia simultaneamente. O problema é que intuitivamente esse não era o lugar da sombra.

A observação detalhada da “sombra” nos mostrou outra embarcação similar, invertida, viajando no mesmo sentido, com a tripulação cabeça para

baixo: ambas imagens “coladas” pelo fundo da embarcação, e respondendo também simultaneamente a nossos sinais. Ainda mais surpresas nos estavam reservadas.

Olhando a superfície da água entre a lancha e a margem do rio, descobrimos outro par de imagens similares, que igualmente nos acompanhava (veja esboço na Figura 1).

Nos distanciamos da margem, e as imagens sumiram; nos aproximamos, e elas reapareceram. Quanto mais veloz a lancha, mais nítidas as imagens das quatro embarcações.

Ali estavam as “embarcações companheiras” do rio Xingu, que só nos abandonariam no momento em que o sol se afundou no horizonte, pouco antes da chegada a nosso destino.

Quero utilizar este episódio para ilustrar, a partir de um fato real, cotidiano, o que é Ciência, o que é atitude científica, qual o processo de fazer Ciência e de como podemos praticar uma educação em Ciência contextualizada, mesmo nos lugares mais distantes e hostis.

### **O estado de alerta: a observação crítica da natureza**

Quando observamos o mundo que nos rodeia, há eventos que não podemos explicar imediatamente, ou porque não conhecemos esse mundo suficientemente bem ou porque estes eventos são realmente novos para nós. Em ambos os casos é fundamental perceber, detectar o fenômeno que cria a necessidade da explicação. Devemos estar atentos continuamente, sem descanso, para a obser-

---

Este artigo, abordando um fenômeno envolvendo óptica, comenta uma observação muito interessante levada a cabo pelo autor, em uma de suas viagens pelo Rio Xingu.

vação crítica do mundo que nos rodeia e, uma vez formulada a pergunta fundamental, devemos ser confiantes na possibilidade da explicação. Não há mistérios eternos, há somente coisas que não sabemos explicar ainda. Essa confiança na existência de uma explicação satisfatória, racional e coerente com o corpo atual de conhecimentos, e a atitude contínua e persistente da observação crítica do entorno são molas mestras que acionam a Ciência e que nos torna observadores científicos.

Na nossa longa viagem pelo rio Xingu aconteceram muitos fatos interessantes, melhor detectados por alguns, quase despercebidos por outros. Vimos atravessando as margens do grande rio um veado, uma raposa e uma jovem preguiça, além de inúmeros animais. Alguns destes fatos não geram perguntas; são corriqueiros. É comum um veado atravessar um rio a nado. Mas a preguiça, com sua extrema lentidão de movimentos, não é um bom nadador, então nos perguntamos: o quê ela faz quase afogada no meio de um rio de forte correnteza?

Explicações surgem, são hipóteses que seguem a pergunta formulada: a preguiça, sendo jovem e portanto pouco experiente, pode ter caído de uma árvore da margem. Ou talvez tenha sido perseguida por algum de seus predadores naturais e entrado no rio como último recurso para escapar. Neste caso a hipótese, por não contradizer nossa experiência, o nosso corpo de conhecimentos sobre a região, e ser coerente com estes, torna-se uma explicação possível e satisfatória. Resta-nos somente nos aproximarmos da margem e deixar a preguiça que resgatamos a salvo em uma árvore distante da água.

### A necessidade de uma explicação elaborada

Há também situações que fogem a possibilidade de explicação imediata, convertendo-se em um desafio. Reconhecer e aceitar esse desafio consiste na base da atitude científica em busca de uma explicação mais elaborada, e que muitas vezes contraria nossa intuição. Voltemos ao exemplo das quatro embarcações companheiras.

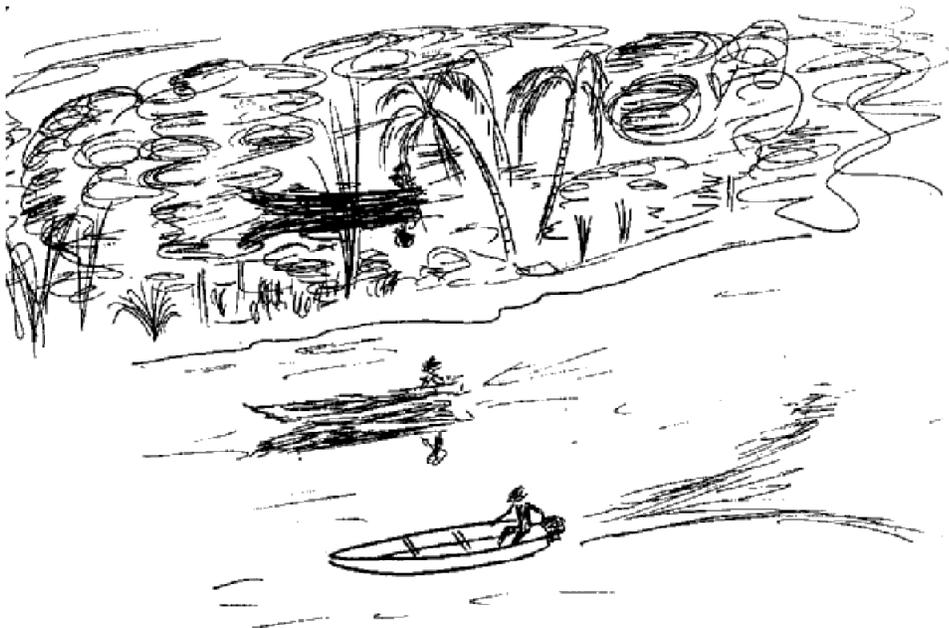


Figura 1. Esboço das embarcações companheiras.

Nossa intuição nos diz que as imagens devem ser provocadas pela reflexão da luz do sol na água calma do rio e a embarcação, ou a sombra desta, interrompendo esta luz, produz uma mancha escura com contornos definidos.

O quê a óptica básica nos diz? Que só poderemos ver este fenômeno quando o ângulo determinado pela altura  $h$  da matas ciliares e a distância  $d$  da embarcação até ela seja menor que o ângulo  $\hat{a}$  que descreve a altura do sol (Figura 2).

Utilizamos aqui a conhecida lei da reflexão, que assegura que o ângulo da incidência é igual ao ângulo da reflexão

Também sabemos que na incidência normal sobre água (na vertical) é refletida tão-somente 2% da luz incidente.

Na reflexão rasante, o valor do coeficiente de reflexão chega ao seu valor máximo, 100%, calculado utilizando-se a lei de Fresnel. Podemos assim obter o valor exato do coeficiente de reflexão, para o ângulo de incidência determinado que em nosso caso sempre será muito alto.

Na Figura 3 mostramos a iluminação direta  $D$  e a refletida,  $R$  que incidem sobre a mata ciliar.

Portanto, a mata ciliar no lugar da sombra da embarcação experimenta uma diminuição de intensidade de 50% na sua iluminação quando o sol está perto do horizonte.

### A forma das imagens companheiras

Sobre um espelho plano horizontal colocamos um objeto opaco, e iluminamos o objeto com um feixe paralelo de luz. Observando o feixe luminoso refletido em uma tela vertical, obteremos duas sombras do objeto, uma direita e outra invertida como mostra a Figura 4. A sombra direita  $A,B$  é formada pela luz refletida na água e depois bloqueada pelo objeto. A sombra invertida  $B,C$  é formada pela luz bloqueada e depois refletida na água. Como o raio  $B$  coincide em ambos casos, as duas sombras aparecem ligadas pela sombra da base do objeto.

Para completar nossa explicação, percebemos que as outras duas imagens não são nada mais que o reflexo

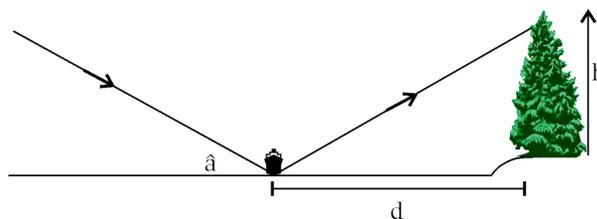


Figura 2.

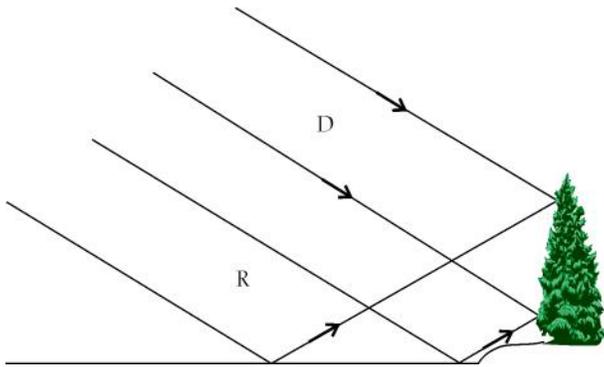


Figura 3

da mata ciliar, que contém a projeção das sombras, novamente a sua intensidade beneficiada pelo grande ângulo da reflexão.

### O laboratório

A explicação dada, que parece convincente, e está de acordo com as leis fundamentais da óptica geométrica e da Física, pode ser corroborada montando um modelo onde reproduzimos as características dos parâmetros relevantes do fenômeno observado (Figura 4).

### A persistência da imagem na retina

Quando diminuirmos a velocidade da embarcação, o fenômeno torna-se difícil ou impossível de observar. É também muito difícil observar esse fenômeno se nos deslocamos em uma canoa a remo. Em uma situação estática, com a embarcação parada, a imagem desta na mata não é perceptível devido à irregularidade da mata como “tela de projeção”, com partes em diferentes profundidades e poder de reflexão variável. Quando viajamos a boa velocidade, com nossos olhos focalizados nas sombras da embarcação, o olho não percebe as variações e irregularidades causadas pela posição

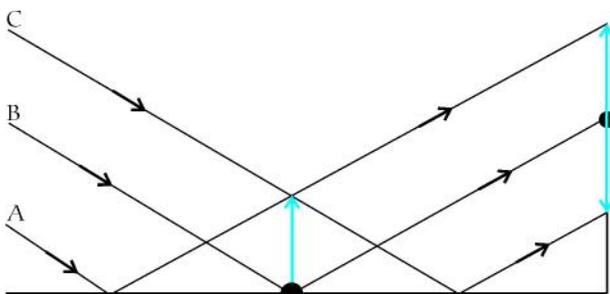


Figura 4

detalhada de partes da tela de projeção (mata ciliar), devido ao fenômeno de persistência da imagem detectada na retina. Por décimos de segundo nosso cérebro percebe uma “tela média de projeção” nesse intervalo de tempo. Quanto mais veloz a nossa viagem, mais elementos intervêm na média da observação e mais nítida esta se torna.

### Considerações finais

Com este roteiro resumido, pretendemos mostrar como podemos aproveitar fatos da vida cotidiana, contextualizando então nessa situação; enunciados, leis, métodos importantes da atividade científica, como exemplo e guia de futuras e diferentes atividades.

Se bem e certo que a explicação teórica é suficiente e elementar, a atividade de simulação experimental é fundamental quando se trata de explicar fenômenos deste tipo a nossos alunos índios, cuja cultura privilegia o desempenho manual e está longe das características necessárias para a abstração científica que se reflete em fórmulas, leis, princípios e enunciados de validade universal.

Alguns poucos canoieiros indígenas que observaram este fenômeno, tratam de associá-lo a explicações mágicas. No entanto, dentro da escuridão da Oca (grande casa indígena



coletiva), uma simples experiência realizada com uma lanterna, um pedaço de espelho ou vidro e um objeto qualquer (semente, pedra, etc...) pode mostrar à comunidade a existência de outras formas de observar o mundo e de explicá-lo, que trazem a riqueza do pensamento quantitativo, experimental e amplamente generalizador.

Este é um exemplo de educação em Ciência a partir do contexto etno-cultural do aluno e dos conhecimentos prévios de seu povo.

Se há milhares de anos os índios do Xingu utilizam a canoa a remo, que ainda hoje usam para pescar, há várias décadas também utilizam barcos de alumínio movidos a motor de popa, e esse é o contexto no qual realizam hoje suas grandes travessias.

Devemos também não ridicularizar ou destruir impiedosamente o pensamento mágico. Sentimos, nas grandes distâncias navegadas, longe de qualquer contato com a nossa cultura, isolados nas entranhas da selva, também algo mágico nas quatro embarcações que nos acompanhavam, em um mundo luminoso de rios espelhados e densas matas.

**Alguns canoieiros indígenas que observaram este fenômeno, tratam de associá-lo a explicações mágicas, mas uma simples experiência pode mostrar à comunidade indígena a existência de outras formas de observar o mundo**

### Referências

- D. Halliday, R. Resnick, e K. Krane, *Física 4* (LTC, Rio de Janeiro, 1992).
- G. Fowles, *Introduction to Modern Optics* (H, Rand W. Inc., USA, 1968).



## A Física nas Transmissões Esportivas: Uma Mecânica de Equívocos

Os narradores esportivos costumam afirmar, com um certo tom de ironia, que dentro de cada torcedor mora um técnico de futebol que opina indevidamente sobre assuntos nos quais ele não é um especialista. Este “discurso da competência” parece conferir aos referidos narradores um direito inalienável de exprimir-se sobre tais assuntos de modo praticamente inquestionável. Ao falarem de esportes esses mesmos narradores e comentaristas tentam emprestar aos seus discursos um certo tom de certeza calcado muitas vezes em afirmações pretensamente científicas. Poderíamos, assim, de modo análogo, afirmar que no coração de cada narrador e de cada comentarista esportivo mora um cientista, um físico para ser mais preciso, que professa, entretanto, uma Física um tanto surrealista. É sobre o surrealismo desta ‘Física alternativa’, sobre os equívocos nos quais ela se fundamenta, que lançamos aqui um breve olhar analítico.

Não pretendemos, nem de longe, abarcar todo o universo de pré-conceitos emitidos nem toda a variedade de equívocos usualmente veiculados. Pretendemos, apenas, fundados em alguns exemplos coletados, através de gravações em fita magnética de algumas transmissões esportivas, exemplificar a visão extremamente distorcida da Física comunicada em tais eventos.

De início, é preciso salientar que, de fato, a conexão entre a Física e os esportes é bastante íntima. Fenômenos ocorridos em competições esporti-

vas parecem às vezes coisas milagrosas, mas podem ser freqüentemente explicados pelas leis da Física de modo conveniente e racional. Explicações simples emergem através do estabelecimento de modelos simplificadores da realidade demonstrando como a Física pode ser útil na análise dos fenômenos esportivos. Tais explicações parecem exercer um efeito bastante motivador na aprendizagem da Física [4]. Isso tem levado, desde a década de 70, à incorporação da Física dos esportes como um elemento curricular em várias experiências educacionais pelo mundo [1, 11, 19]. Um grande número de conceitos físicos pode ser discutido de um modo agradável em tais experiências pedagógicas envolvendo as mais diversas atividades esportivas. Mesmo esportes não tão conhecidos, como o rapel, por exemplo, permitem lidar com conceitos os mais variados, tais como: atrito, movimento retilíneo uniforme, aceleração e decomposição de forças,

energia potencial gravitacional e energia cinética [16]. A conexão da Física com os esportes, assim como o desenvolvimento de

**Os narradores dizem que cada torcedor é um técnico. Por nossa vez, podemos dizer que cada narrador é (quase) um físico...**

técnicas especiais de análise instrumental em tais cursos (como, por exemplo, a utilização de plataformas de força e fotografias estroboscópicas), tem contribuído para melhorar a própria performance dos atletas [7, 20]. Entretanto, como observam Gomes e Partelli [12], apesar de quase todos os resultados discutidos em uma Física dos esportes serem já coisas conhecidas e muito básicas da Física aplicada aos seres vivos, eles são ainda muito pouco

.....  
**Alexandre Medeiros**  
Sciencio Materiais Pedagógicos e Experimentais, Recife, PE  
.....

---

Este trabalho analisa algumas das muitas distorções conceituais em Física apresentadas por narradores e comentaristas esportivos em suas transmissões no rádio e na TV. A análise de tais distorções permite construir um panorama que parece caracterizar um certo tipo de Física alternativa usada comumente nas transmissões esportivas. Tal panorama revela o freqüente uso inadequado de conceitos físicos e a crença em certos preceitos que substituem as leis de Newton e os princípios de conservação.

difundidos entre os físicos e os professores de Física em geral. O que dizer, portanto, sobre o conhecimento dos mesmos fenômenos por comunidades como a de narradores e comentaristas esportivos? Já em 1974, Salmela, em um estudo avançado sobre ginástica, havia constatado a existência de um certo número de concepções alternativas sobre Biomecânica entre atletas e treinadores. Não temos, entretanto, conhecimento de estudos semelhantes entre profissionais da mídia esportiva.

O estudo aqui apresentado tenta dar conta de parte do que aparece costumariamente a respeito dos fenômenos físicos no imaginário de locutores e comentaristas nas transmissões esportivas e que poderíamos, de início, caracterizar como uma ‘mecânica de equívocos’. Por uma questão ética, omitimos propositalmente os nomes dos personagens envolvidos, mencionando-os genericamente de modo a não poderem ser facilmente identificados.

## O surrealismo de uma mecânica de equívocos

As afirmações comentadas a seguir abrangem um amplo leque de conteúdos no tocante à Mecânica. Tomemos, por exemplo, o seguinte comentário de um radialista em meio a uma transmissão de corrida de automóveis: *Que infelicidade! Justo na última curva o motor fumaçou! E aí companheiro, não tem prá ninguém. É uma lei básica da Física: sem força, não há movimento.* Observe-se o tom professoral em que tal afirmação está contida. O narrador não se contenta em comentar a impossibilidade do corredor prosseguir na competição. Ele enuncia em alto e bom tom uma “lei” de sua Física alternativa: *sem força, não há*

*movimento*, em flagrante desrespeito à primeira lei de Newton. Que ele pense assim, de acordo com o senso comum, seria compreensível. Ele, entretanto, não apenas enuncia sua concepção alternativa sobre o movimento dos corpos, mas cuida, também, de traves-

ti-la com a importância de uma equivocada “lei da Física”. Pela forma como foi expressa, não se trata, portanto, de uma simples afirmação do senso comum; mas, sim, de algo enraizado no imaginário e expresso irrefletidamente com ares de um preceito científico. É difícil avaliar o poder de convencimento que uma afirmação deste porte pode exercer, inadvertidamente, nas mentes ainda em formação dos nossos jovens aficionados pelas corridas automobilísticas.

Substitutos para a 2ª lei de Newton são também encontrados entre as máximas presentes nas transmissões esportivas. Em outra circunstância, um narrador afirmou do alto de sua vasta experiência futebolística: *Para segurar chutes fortes, o goleiro tem que pegar bem encaixado. Por isso, além de ágil, ele precisa ser também bastante forte.* Seu colega comentarista acrescentou, ainda, que: *O Brasil nunca teve bons goleiros. Talvez o Gilmar! Mas mesmo o Gilmar não se comparava aos grandes goleiros argentinos ou europeus. O Lev Yashin, o Aranha Negra, da União Soviética, segurava qualquer tiro, de média ou longa distância. Eu não sei como ele fazia, mas ele parecia ter cola nas mãos. Era bem alto e jogava em frente ao gol e quase sempre abaixado e com os braços esticados para a frente.* Essas duas afirmações sobre as habilidades dos goleiros em segurarem chutes muito fortes deixam transparecer a compreensão ingênua que esses profissionais da crônica es-

**Os fenômenos físicos, no imaginário de locutores e comentaristas nas transmissões esportivas, poderiam ser caracterizados como uma ‘mecânica de equívocos’**

portiva têm do papel da 2ª lei de Newton. Note-se que o narrador acima mencionado faz alusão à idéia de que para pegar chutes fortes é preciso “encaixar” bem a bola. Entretanto, isso é justamente o oposto daquilo que um bom goleiro deve tentar fazer. Se o chute for muito violento, o goleiro precisará, antes de tudo, amortecê-lo. E um tal amortecimento se dará, precisamente, com o recurso, ainda que inconsciente, da 2ª lei de

Newton:  $F\Delta t = m\Delta v$ ; ou seja, encolhendo os braços ao receber o impacto, o goleiro aumenta o tempo de contato de suas mãos com a bola e assim reduz o valor da força  $F$ . Neste sentido, o comentarista aproxima-se um pouco mais da explicação física correta ao observar que braços longos parecem ser um interessante atributo para os goleiros. Eles, efetivamente, contraem

intuitivamente os braços aumentando assim o valor de  $\Delta t$ . O fato, também observado pelo comentarista, de que os goleiros se colo-

cam à frente de suas metas e de que se abaixam no momento de tentarem pegar um chute mais forte é igualmente procedente. Os goleiros tentam, deste modo, utilizar os músculos da coxa para saltarem para trás, se necessário, caso o impacto com a bola seja muito violento. Este comportamento intuitivo do goleiro, que corresponde a uma tentativa extrema de aumentar ainda mais o valor de  $\Delta t$ , significa um uso intuitivo adicional da 2ª lei de Newton. Entretanto, apesar de parecer estar na direção certa para obter uma boa explicação física para o fenômeno, o nosso comentarista não vê nenhuma lei presidindo um tal ato; antes, recorre à crença de que o goleiro possui um certo tipo de “cola” mágica nas mãos que o faz reter a bola. A segunda lei de Newton é substituída, deste modo, por algo simplesmente “pegajoso”.

Também a terceira lei de Newton sofre e encontra seus substitutos nas transmissões esportivas. Tomemos a seguinte afirmativa de um locutor: *‘Matar no peito’ com categoria é sempre uma jogada muito difícil de realizar. O jogador precisa estufar o peito e fazer na bola uma força exatamente igual à que a bola faz nele. Qualquer errinho, para mais ou para menos, a bola salta fora.* Observe-se como tal afirmação contraria a 3ª lei de Newton. O locutor parece admitir intuitivamente que a força exercida pela bola no peito do jogador é igual (em módulo) e oposta àquela que o peito do jogador faz na bola, apenas no caso em que a jogada é bem sucedida; talvez, guiado por uma concepção igualmente equivocada de

**Diz o locutor: “É uma lei básica da Física: sem força, não há movimento...”**

**...e Newton que role em seu caixaão...**

que tais forças deveriam se anular para que a jogada fosse bem executada. Isto, entretanto, é um absurdo, uma vez que ação e reação atuam em corpos distintos e por isso jamais podem anular uma à outra. De qualquer modo, o nosso locutor parece imaginar que é possível que tais forças sejam diferentes. Para ele, apenas o bom jogador obedece à 3ª lei de Newton.

Um outro locutor grita ao microfone: *A bola bateu na trave e voltou com mais força ainda. A força foi tanta que pegou na nuca do goleiro e o deixou descordado.* Também, aqui, temos uma desobediência à 3ª lei de Newton. O choque da bola com a trave fez, segundo nosso narrador esportivo, com que a bola ganhasse momento linear e desta forma transferisse tal momento linear para a cabeça do goleiro exercendo, assim, uma força ainda maior que aquela porventura comunicada pelo pé do atacante. Não apenas nenhum amortecimento, ou qualquer tipo de perda energética foi considerado em tal choque; pior: o narrador imaginou um surpreendente aumento no momento linear da bola ao se chocar com o travessão.

Não apenas as leis de Newton e os princípios de conservação sofrem nas afirmações de nossos locutores esportivos. Tomemos, por exemplo, a seguinte afirmativa em meio a uma corrida automobilística: *O novo controle de tração permite um freio mais eficiente. A roda, ao ser freada, gira para trás como as rodas das diligências dos filmes de bang-bang.* O nosso narrador não parece ter a menor idéia do que esteja ocorrendo; não percebe que o que ocorre é um descasamento entre a frequência de giro da roda em relação a frequência de exposição do filme e, por decorrência, em relação ao tempo de percepção do olho humano (de aproximadamente

**O locutor grita ao microfone:**  
**"A bola bateu na trave e voltou com mais força ainda!"**

**...porque deve ser natural das bolas o desejo de desobedecer à 3ª lei de Newton...**

1/16 s). A roda, de fato, parece atrasar-se e isso pode ser bem acompanhado por um estroboscópio, demonstrando o descasamento na frequência de rotação. Em vez disso, o nosso locutor prefere imaginar que a roda ao ser freada



Chute forte em uma partida de Hóquei: o peso da bola é sempre o mesmo.

passa efetivamente a girar para trás.

Outro equívoco comum é a confusão conceitual entre o peso de um corpo e o seu momento linear. Tomemos, como exemplo, a seguinte afirmação de um locutor esportivo durante recente jogo de Hóquei na TV: *No Hóquei sobre patins a bola chutada tem muito peso. Num chute forte, ela vem com um impacto de 200 kg.* Certamente, não faz sentido dizer que a bolinha vem com muito peso, pois o peso da mesma é constante, dado que não há variação na aceleração da gravidade. Em segundo lugar, a Física de um impacto não é descrita simplesmente por uma massa (200 kg); mas, sim, por uma transferência de energia cinética e de momento linear. De um modo semelhante, durante uma partida de tênis recente, um comentarista afirmou: *A bola do Guga está muito pesada. Ele tem sacado a 200 km/h.* Novamente, o narrador confundiu as idéias de momento linear e energia cinética com o peso do corpo. Sua intenção de dizer que a bola fica mais pesada parece ser simplesmente a de passar a idéia de

que o efeito de um impacto a ser causado por uma bola com tal velocidade (200 km/h) seria muito forte. Estas confusões ficam mais evidentes em uma outra frase de um locutor durante um jogo recente do campeonato alemão: *A bola está muito pesada e com isso ela pega muita velocidade.* Equívoco ainda maior pode ser encontrado, entretanto, na seguinte frase de um outro comentarista: *O chute do Nelinho era muito perigoso, principalmente de longe, pois a bola tinha mais tempo de pegar embalagem no ar.* Neste caso, temos algo realmente inusitado: a idéia de que o momento linear aumenta durante o percurso da bola no ar. Não bastasse não estar em alerta para o amortecimento causado pelo ar, o comentarista ainda imagina um improvável aumento de velocidade (algum vento misterioso?). No tocante aos choques, algumas afirmações são corretas, ainda que expressas de maneira não muito clara: *O 'bicudo' é um chute feio, geralmente vai sem direção, mas quando pega 'na veia' não tem pra ninguém.* A idéia aqui implícita e correta é a de que em um choque frontal ocorre uma transferência máxima de momento linear. Outros locutores parecem estar atentos para os efeitos de dissipação, confundindo, entretanto, os conceitos

envolvidos: *Ele chutou com muita força e à queima roupa. O goleiro não teve culpa no gol; a bola praticamente não teve tempo de gastar a força.* Neste caso, fica evidente que o narrador imagina que a força exercida pelo pé do atacante no momento do chute fica impressa na bola, gastando-se paulatinamente. É uma concepção que muito se assemelha à idéia medieval de *impetus*.

Outro equívoco interessante é a convicção existente entre os narradores esportivos de que o peso é algo que pode ser transferido. Este equívoco aparece, freqüentemente, associado à incompreensão da idéia de torque. Em um jogo de tênis recente, o narrador afirmou, por exemplo: *Guga transfere bem o peso do corpo para frente e solta a paralela.* Certamente isto é um absurdo, pois o peso é a força com que a Terra atrai um certo corpo e, portanto, aponta sempre para o centro deste planeta. Guga não poderia jamais transferir o seu próprio peso para frente; isso não faz nenhum sentido. O que o narrador, poderia dizer é que Guga flexiona todo o seu corpo para frente e não apenas o braço, transferindo, assim, uma maior energia cinética e um maior momento linear à bola. Note-se, ainda, que em uma tal circunstância o aumento deveu-se, principalmente, ao jogador haver au-



Saque violento do Guga: a flexão de todo o seu corpo para frente, e não apenas do braço, transfere uma maior energia cinética e um maior momento linear à bola

mentado o “braço de alavanca”, a distância em torno da qual a ponta da raquete executará um giro. Sendo o seu pé (como no caso exemplificado) o centro da referida rotação da raquete, a velocidade ( $v = \omega r$ ) da extremidade da raquete será maior que no caso no qual o jogador apenas gira o braço. Entretanto, o fato de ver o movimento do jogador, todo esticado, girando como um todo em torno da ponta do seu pé, é descrito pelo locutor como se o mesmo houvesse transferido o seu

peso para a bola, o que evidentemente não poderia jamais acontecer. Isto faz com que tenistas mais altos possam fazer a ponta de suas raquetes atingirem maiores velocidades que outros tenistas mais baixos, transferindo, assim, uma maior quantidade de movimento ( $p = mv$ ) à bola. Tal fato não tem escapado da observação mais cuidadosa daqueles que acompanham o tênis há muito tempo, mesmo sem serem físicos. Tome-se, por exemplo, o pertinente comentário sobre a evolução da potência dos saques dos tenistas feita por Carneiro [6], constante no site PlayTennis, sobre a importância do saque: *cada dia vemos aumentar a importância do saque no circuito profissional de tênis. Com o aumento da envergadura dos tenistas, onde um jogador com 1,80 m (Agassi) é considerado baixinho, a potência do saque tem decidido muitos e muitos jogos.*

Às vezes as concepções alternativas exibidas pelos narradores estão ligadas a questões biomecânicas mais complexas, como por exemplo a afirmação de que *O saque do Ivanisevic é muito forte. Isso lhe causa problemas nos joelhos devido à sobrecarga causada pela potência do seu saque.* Entretanto, como revelam estudos de biomecânica, pode-se perceber que a sobrecarga que o corpo do atleta suporta durante qualquer fase do saque é relativamente baixa [24]. Na mesma linha encontramos equívocos como *O problema do saque com um salto para cima é que ao se chocar com o solo o atleta vem muito mais*

*pesado.* Estes mesmos pesquisadores mostram que estudos empíricos revelam que mesmo levando-se em conta os efeitos de um salto no momento do saque, salto este que ocasiona uma maior transferência de momento linear no instante que os pés tornam a tocar

o solo, a força de reação vertical comunicada pelo solo é de aproximadamente 1,33 vezes o peso corporal do tenista.

Ainda relacionados aos saques no tênis encontramos afirmações como *A Serena Williams saca muito forte para os*

**Segundo o narrador, “Guga transfere bem o peso do corpo para frente e solta a paralela”**

**...a despeito do peso ser uma força que aponta para o centro do planeta, não possuindo componente que possa alterar a componente horizontal da velocidade da bola...**

*padrões femininos. O segredo do seu saque parece estar na combinação exata de força e rapidez com que executa o movimento. Um bom saque precisa ser forte e de rápida execução.* Mais uma vez, encontramos, aqui, um equívoco sobre a Biomecânica da situação. Certamente, saques praticamente indefensáveis são cada vez mais freqüentes no jogo de tênis atual. Naturalmente, isto motiva o interesse em estudar o saque, pois se constitui em um elemento técnico altamente determinante do rendimento do praticante, já que o jogador possui total controle durante a execução desta habilidade fechada, onde o ambiente varia muito pouco [3, 10, 17]. Apesar desta vantagem, entretanto, a execução do saque é de difícil domínio, já que, como revelam estes pesquisadores, o braço que lança a bola deve ser levantado lentamente com a finalidade de colocar a bola no ponto ideal de contato, enquanto o braço que segura a raquete deve balançar em um padrão complexo para golpear a bola, combinando potência e coordenação. Não somente os braços descrevem padrões de movimento e ritmos diferentes; eles também devem sincronizar-se aos movimentos dos membros inferiores e do tronco [10, 22].

Ainda do tênis, retiramos o seguinte diálogo envolvendo conceitos em Física:

Narrador: *Roland Garros é uma quadra lenta, por ser de saibro. Isso é uma vantagem para o Guga que não se adapta bem a quadras rápidas como Wimbledon.*

Comentarista: *Isso é um tanto problemático! Se você prestar atenção, verá que o tenista desliza mais rapidamente no saibro que na grama. Para mim, as quadras de saibro é que deveriam ser denominadas de quadras rápidas.*

Narrador: *Mas essa é uma convenção, creio que universal.*

Em outra transmissão, ouvimos, mais ou menos, o seguinte comentário do narrador:

*A quadra de saibro está coberta por uma areia fina. Os organizadores deveriam ter limpado a quadra antes do jogo.*

Embora coletados em ocasiões distintas, esses dois comentários dizem respeito a uma mesma situação: a conceituação do que vem a ser uma quadra rápida e uma quadra lenta. No primeiro diálogo, o comentarista e o narrador discordam sobre o fato das quadras de saibro serem ditas lentas ou rápidas. O narrador diz ser esta conceituação uma convenção. Na verdade, trata-se de uma questão de critério a ser adotado na referida conceituação.

### Entenda as quadras de tênis

Precisamos atentar para o fato de que o papel das **forças de atrito** entre a bola e a quadra é muito importante! Assim, apesar do coeficiente de restituição entre a bola e o solo ser maior no saibro, é nesse piso que os impactos apresentam menor potência. Nas rebatidas mais simples, a bola de tênis bate obliquamente com o solo, não tendo velocidade de rotação, tendo apenas sua translação. Considerando um choque quase elástico como no saibro

**No jogo entre profissionais, não é apenas o coeficiente de restituição que conta; as forças de atrito também são muito importantes**

(mais “duro” que a grama), a bola sofre uma pequena perda de momento linear. Assim, ao batermos “de chapa” na bola, é razoável que ela tenha maior velocidade conforme batemos com mais força. Contudo, os jogadores profissionais tocam a bola de raspão, acrescentando um efeito de giro (*spin*) à bola, na tentativa de tornar a recepção para o adversário mais difícil.

Como esclarece Cross [9], há dois modos de se definir uma quadra quanto à velocidade: pode-se falar em relação à velocidade que a bola pode atingir no choque com o solo ou em relação à velocidade que o jogador desliza sobre a quadra. E é neste aspecto de deslizamento que entra o papel da areia que é colocada propositalmente sobre as quadras de saibro para reduzir o coeficiente de atrito entre os sapatos dos tenistas e a superfície, fazendo com que ele deslize mais facilmente sem escorregar. A areia atua como um lubrificante para as quadras de saibro. O coeficiente de atrito no saibro é da ordem de 0,8, enquanto para a grama é da ordem de apenas 0,5. Como consequência de apresentar um maior coeficiente de atrito, o saibro retarda a componente horizontal da velocidade da bola quando a mesma se choca com o solo. Neste sentido, a quadra de saibro é, de fato, mais lenta. Além disso, o coeficiente de restituição nos choques entre a bola e o solo é maior

ton, empurra a bola para trás, mudando sua trajetória para um ângulo mais próximo da horizontal. A força exercida pelo solo causa, assim, uma redução na velocidade da bola e no seu momento linear, fazendo-a saltar menos do que se não houvesse o efeito *backspin*. Como o coeficiente de atrito é maior no saibro, esse piso faz com que o momento linear da bola sofra maior redução do que na grama, onde o coeficiente de atrito é menor!

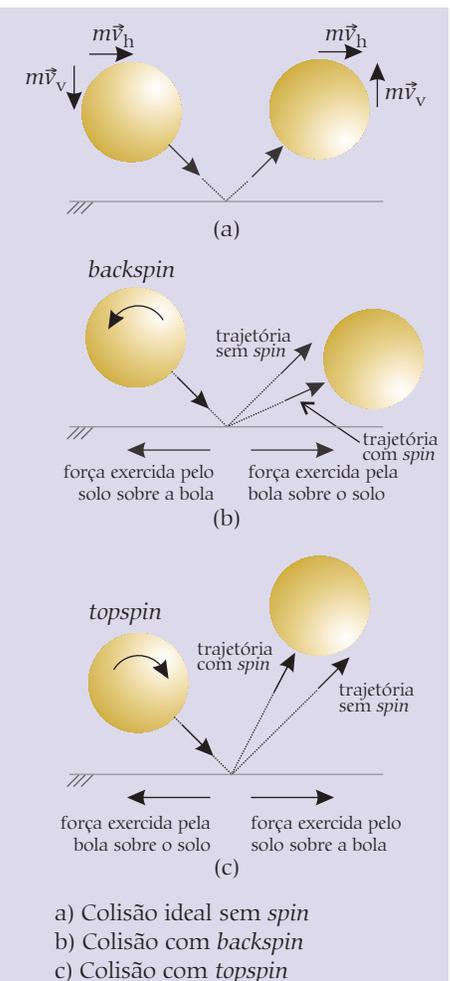
No *topspin* a bola é forçada a girar para frente, e os efeitos acontecem ao contrário: a bola ganha velocidade adicional justamente porque recebe do solo uma reação para frente ao empurrá-lo para trás, afastando-se da horizontal ao tocar o solo.

A conclusão é que o jogador profissional abre mão da força em favor do “jeito”, e o jogo na quadra de saibro é mais lento à medida em que a bola é sacada e rebatida com menor força mas com muito mais *spin* do que na grama. O jogo fica mais plástico e mesmo mais “surpreendente”, já que a bola acaba assumindo trajetórias diferentes daquelas que o senso comum indicaria.

no saibro do que na grama. Isso faz com que haja, no *topspin*, um aumento no ângulo de repique da bola. Entretanto, a fina camada de areia colocada sobre o saibro faz com que os jogadores deslizem mais facilmente que na grama, movendo-se mais rapidamente de um lado para o outro da quadra. Neste sentido, portanto, a quadra de saibro é, de fato, mais rápida que a de grama. Tudo, portanto, é uma questão do critério a ser adotado na conceituação da rapidez de uma quadra.

Relacionada com este mesmo fato, ouvimos certa vez a seguinte observação de um narrador: *Geralmente os jogadores que se adaptam bem ao saibro são mais leves e sacam sem tanta força quanto aqueles que jogam bem na grama.*

A questão está, certamente, mal colocada. De fato, usualmente, o saque no saibro é mais lento que na grama, mas isso não se deve à possível fragilidade ou à força dos jogadores. Trata-se, antes, de uma questão tática adotada pelos tenistas, de um modo



geral. Como a bola no saibro repica com menor velocidade, mas em ângulos mais acentuados, os tenistas aproveitaram este efeito para colocar uma rotação extra na mesma (veja o quadro da página anterior). Deste modo, os jogos no saibro têm menor potência nos saques, mas maiores efeitos de *spin*. Eles sacrificam a velocidade do saque no saibro, que tem uma média de 160 km/h, comparados aos 185 km/h na grama, em troca dos efeitos obtidos na rotação da bola e suas decorrentes e surpreendentes mudanças de curso também devidas ao efeito Magnus. A força de Magnus é uma consequência do princípio de Bernoulli e é a principal responsável, por exemplo, pelos surpreendentes desvios sofridos pelas bolas em cobranças de falta em partidas de futebol. Não é impressionante que este complexo efeito seja tão pouco compreendido e tão deturpado nas transmissões esportivas. Em uma ocasião, por exemplo, ouvimos o seguinte diálogo:

Narrador: *Ninguém cobrava falta igual ao Didi. A sua 'folha seca' enganava qualquer goleiro. A bola ia em uma linha reta e de repente mudava de direção.*

Comentarista: *O Didi curvava o pé na hora do chute e a bola pegava essa curva e ia no ângulo, cobrindo a barreira.*

O narrador e o comentarista estão bastante equivocados. Em primeiro lugar, não é verdade que a bola siga em linha reta e curve “de repente”. Este equívoco assemelha-se aos desenhos de movimentos de projéteis contidos nos estudos renascentistas de Tartaglia. De fato, o Didi raspava a bola lateralmente com a parte externa do pé, ao mesmo tempo em que a impulsionava para frente. Essa combinação de movimentos de rotação e translação da bola fazia com que pontos simétricos na mesma em relação ao centro de massa adquirissem distintas composições vetoriais de velocidade (rotação + translação). Era essa diferença lateral das velocidades que causava uma diferença de pressão no ar devido ao princípio de Bernoulli, gerando o chamado “efeito Magnus”, fazendo com que a mesma executasse uma curva ao redor da barreira. A afirmação, por outro lado, de que a bola pegava a curva do pé do Didi é completamente absurda. Um detalhamento maior do



A *folha seca* de Didi: o efeito Magnus sempre foi o responsável pela incrível façanha do brasileiro.

efeito Magnus foge ao escopo do presente trabalho, mas pode ser encontrado em várias referências [2, 5, 13, 14, 15, 18].

De toda forma, equívocos na análise de situações envolvendo o efeito Magnus e o princípio de Bernoulli, estão entre os mais frequentes nas transmissões esportivas. Em uma certa ocasião, um conhecido comentarista da TV afirmou: *Tem jogadores que possuem um certo magnetismo com a bola. Eles prendem a bola facilmente aos pés, mesmo em alta velocidade. O Rivelino ia além. Ele tinha o famoso 'drible do elástico', que ele jogava a bola para frente e a atraía de volta.* Em uma tal afirmativa, as composições vetoriais entre a translação e a rotação da bola aparecem substituídas por uma misteriosa “atração magnética”. Há, entretanto, muitas outras “jóias” da Física surrealista dos narradores e comentaristas esportivos relacionadas ao assunto. Dentre elas, destacamos, ainda, as seguintes:

*Os aerofólios traseiros foram proibidos porque apesar de tornarem o carro mais aerodinâmico, faziam com que ele ficasse muito instável devido ao 'efeito asa'.*

O equívoco aqui é evidente para o

profissional de Física. O narrador não percebe que um aerofólio é justamente uma asa invertida e que o seu efeito não seria, jamais, o de fazer um carro decolar. Ao contrário, o aerofólio provoca o surgimento de forças de compressão descendentes sobre a estrutura do carro que aumentam a força de atrito pelo aumento da força normal. O carro torna-se, na verdade, mais estável, mais “preso ao chão”.

Com o aerofólio o carro fica mais pesado e tem maior aderência. Neste caso, o nosso narrador chegou mais perto da visão de que com o aerofólio o carro adquire maior estabilidade; mas, não compreendeu que esse aumento de estabilidade provém da pressão aerodinâmica exercida sobre o aerofólio. De forma ingênua, ele imagina que o peso

do carro tenha aumentado. De modo semelhante, em outra ocasião, o mesmo narrador afirmou em alto e bom tom para os seus telespectadores: *A aderência ao solo perto dos 300 km/h fica muito prejudicada, pois a essa velocidade o carro fica mais leve e qualquer erro pode ser fatal.* Trata-se do mesmo

equívoco, acima comentado, mas em um outro contexto.

Ainda relacionado com o princípio de Bernoulli, ouvimos na abertura de um jogo de futebol comemorativo do Dia do Trabalho: *O helicóptero agora já se aproxima do estádio. Vamos esperar que*

**“Os aerofólios traseiros foram proibidos porque apesar de tornarem o carro mais aerodinâmico, faziam com que ele ficasse muito instável devido ao efeito asa”**

**É verdade que o aerofólio é uma asa... invertida! E isso proporciona estabilidade aos carros durante as corridas...**

esta maravilha tecnológica que voa sem asas lance do alto a bola do espetáculo. Neste caso, o narrador exprime uma crença que parece ser compartilhada por um número grande de pessoas: a de que o helicóptero não tem asas, ou seja, a não compreensão do papel exercido por sua enorme asa rotativa que é vista, talvez, como sendo simplesmente uma hélice propulsora.

Outro ponto comum nas narrações esportivas é a crença na existência de uma certa “força do vácuo”, como, por exemplo, na seguinte afirmação, em meio a uma corrida: *Os retardatários ao serem ultrapassados tentam usar a ‘força do vácuo’ dos líderes para acompanhá-los por alguns segundos.* Na verdade, o arrasto provocado pelo carro da frente cria uma zona de descompressão na sua parte traseira, mas é a pressão maior na parte de trás do carro ultrapassado que cria um gradiente de pressões impulsionando-o efetivamente, durante um curto espaço de tempo para frente. A idéia da existência, entretanto, de uma “força do vácuo” parece estar em consonância com o senso comum e com a crença aristotélica de que a natureza teria “horror ao vácuo”.

A questão dos projéteis aparece em vários esportes nas narrações esportivas. No basquete, por exemplo, assistimos ao seguinte trecho: *O Shaquille O’Neil erra muitos lances livres porque coloca muita força na bola.* Embora uma tal explicação para o insucesso nos arremessos livres do grande pivô não



Drible desconcertante de Garrincha: traído pela memória, o comentarista se esquece que Mané abria os braços para se equilibrar no momento do drible.

seja desprovida de sentido, ela, certamente, não é a única explicação possível. Uma observação atenta dos arremessos do gigante do Lakers pode nos revelar que parte relevante do problema está no ângulo de arremesso muito pequeno, quase rasante. O narrador parece não atentar para o fato de que não apenas a força empregada no arremesso determina o sucesso do alcance obtido [21].

Do futebol vem outro interessante exemplo de equívoco em uma narração esportiva, desta vez ligado à questão do equilíbrio. Em meio a um debate na TV, um comentarista afirmou o seguinte: *O Garrincha driblava rápido e na carreira. Ele balançava o corpo e puxava a bola rapidamente para o lado; quase sempre o lado direito. E fazia isso sem abrir os braços para não dar pista ao marcador para onde e quando ele ia sair.* Certamente isto é um absurdo, mesmo para um fenômeno como foi o Garrincha. Talvez traído pela memória, o comentarista tenha exagerado nos detalhes do drible de seu Mané. Ele, de fato, driblava muito rapidamente e quase sempre para a direita. E a rapidez com que executava este movimento era uma das chaves do seu sucesso. Entretanto, ele sempre abria os braços ao driblar (ver figura). Seus dribbles desconcertantes eram bem longos e ele usava os braços com maestria para equilibrar o corpo no exato momento em que puxava a bola lateralmente. Sem essa compensação de torques, ele fatalmente iria ao chão, fato que acontecia, freqüentemente, com os seus marcadores, não tão hábeis na execução de tão rápido bailado.

Um outro fato interessante presente nas transmissões esportivas reside na crença na possibilidade de certos atletas desafiarem momentaneamente a lei da gravidade, levitando. Em uma transmissão de basquete o locutor foi enfático ao afirmar que *O Michael Jordan é realmente um jogador excepcional. Ele se diferencia dos demais jogadores, pois consegue parar no ar por uma fração de segundo e isso lhe permite encestar com mais precisão.* Também no futebol esta crença parece presente: *Hoje em dia já não temos grandes cabeceadores. Mesmo o Jardel não se compara com o Dario. O Dario era melhor que os outros porque ele parava no ar por um breve instante de tempo, no momento de cabecear.*

Também nas transmissões de atletismo pudemos perceber alguns equívocos. Em meio à disputa das Olimpíadas, um comentarista chamou a atenção do telespectador para o fato de que novos recordes de curta e longa distância nas corridas têm sido estabelecidos nos últimos anos em função da maior estatura dos atletas. Entretanto, como alertam, de modo pertinente, Gomes e Parteli [12], isso não parece ter qualquer fundamento científico. A velocidade máxima nas corridas não é determinada pela altura do corredor. Estes pesquisadores chegam a lembrar que boa parte dos recordistas de corridas são indivíduos de baixa estatura.

Nada, entretanto, parece superar as corridas de Fórmula 1, Fórmula Indy e outras do gênero, como fonte de equívocos sobre a Física das situações analisadas. E ressalte-se, ainda, que pelo fato de tais corridas serem revestidas de todo um sofisticado aparato tecnológico, as explicações pseudo-científicas parecem ainda mais convidativas em tais circunstâncias. Tomemos, por exemplo, o seguinte diálogo em meio a uma corrida de caminhões na TV:

Narrador: *Se um caminhão e um Fórmula 1 entrassem juntos em uma curva, o caminhão, certamente, sairia com uma maior velocidade.*

Comentarista: *Claro, tendo mais peso ele tende a adquirir mais velocidade.*

Tal afirmação está completamente equivocada. Narrador e comentarista parecem acreditar na relação entre o peso e a velocidade. Entretanto, o peso não importa em uma tal situação. Se o caminhão e o carro executam a mesma curva com a mesma velocidade, a mesma relação entre a força e a massa tem que ser observada. Deste modo, é necessário uma força maior para fazer o caminhão executar a curva. Esta força é devida ao atrito entre os pneus e a pista que é proporcional ao peso (em um plano horizontal). Assim, a massa tem o seu efeito cancelado na relação mencionada entre a força e a massa do veículo [8].

Em outra ocasião, um equívoco semelhante foi constatado. O narrador, referindo-se a uma curva fechada, afirmou que *Em uma curva fechada, um caminhão e um Fórmula 1 têm comportamentos muito diferentes. Enquanto, ao tentar fazer a curva, o caminhão*

desliza para fora da pista, o Fórmula 1 faz a curva facilmente. Em resposta, o comentarista concorda com o narrador, afirmando que *Certamente, pois o carro é mais leve, menor e mais rápido. Ele, deste modo, é mais apropriado para fazer curvas fechadas. Em curvas mais abertas, o caminhão e o carro de corrida conseguem executar a curva, mas em curvas fechadas apenas o carro consegue, por ser mais leve e mais rápido.* Como pode ser percebido, o mesmo tipo de equívoco anterior repete-se, em um contexto um pouco diferente. Imaginemos que o carro e o caminhão estejam com a mesma velocidade, e admitamos ainda que o coeficiente de atrito entre os pneus de ambos os veículos e o chão seja o mesmo. Como vimos no caso anterior, a relação entre a força e a massa (aceleração) será a mesma para que ambos façam a curva. Entretanto, o caminhão tem uma maior tendência a virar na curva, pois o seu centro de massa é mais alto. O que importa, neste caso, é a relação entre a altura do centro de massa e a largura da base, ou seja, a distância entre as rodas esquerda e direita. Esta relação é maior no caso do caminhão que, deste modo, tem uma menor estabilidade nas curvas fechadas [8]. Portanto, embora o caminhão tenha, realmente, maior dificuldade que o carro para fazer as curvas mais fechadas, este fato nada tem a ver com a explicação esboçada pelo narrador e complementada pelo comentarista.

Muitos outros equívocos registrados em nosso estudo nas transmissões

esportivas dizem respeito a fenômenos relacionados ao calor, à óptica e à eletricidade. O espaço do presente trabalho, entretanto, não permite que nos alonguemos em suas análises, ficando os mesmos para serem alvos de estudos e comentários em um outro texto.

Para complementar nossa coleção de “ensinamentos surrealistas” de Física contidos nas transmissões esportivas, vale a pena citar uma jóia rara bem recente. Na final da última Copa América, durante o jogo Brasil x Argentina, o comentarista observou para o locutor: *hoje à noite, no Fantástico, físicos da USP vão explicar os saltos da Daiane dos Santos.* Imediatamente o locutor acrescentou de forma eloqüente e professoral: *Eles vão tentar explicar, pois saltos são coisas artísticas; saltos não tem nada a ver com a Física.* Uma observação realmente... *fantástica!*

## Conclusões

O panorama geral que pode ser auferido do presente estudo sobre a visão de Física contida nas transmissões esportivas não parece dos mais animadores. Certamente tal panorama não descreve rigorosamente aquilo que pensam os profissionais da mídia sobre o assunto, mas fornece, assim mesmo, uma visão calcada no registro e na análise de algumas opiniões emitidas por alguns influentes narradores e comentaristas. De todo modo, entretanto, ainda que a título apenas ilustrativo, o cenário dele decorrente parece preocupante. Sendo a mídia esportiva um poderoso veículo formador de opinião,

é de se questionar o que poderia ser feito para, ao menos, suavizar este tipo de influência na formação científica dos nossos jovens. Não temos a resposta para uma tal indagação, mas assumimos a importância de que tais equívocos sejam discutidos com os alunos em sala de aula. Acreditamos, deste modo, que o presente estudo possa servir de alerta para a existência do referido problema e para que outras pesquisas sejam realizadas com o intuito de investigar em maior amplitude esta questão que se apresenta como de grande relevância educacional pelo impacto que pode exercer.

Uma tal relevância educacional pode ser aquilatada pelo potencial motivador que as menções às transmissões esportivas e aos seus personagens parecem exercer sobre parcela relevante da nossa juventude. Neste sentido, uma análise das concepções alternativas, sobre certos conteúdos da Física, apresentadas por tais personagens, pode servir como um complemento em abordagens educacionais mais ecléticas. Aliada a outras metodologias de ensino que incluam, por exemplo, experimentos, informações históricas, dramatizações, tecnologia educacional e tantas outras coisas mais, a discussão das concepções sobre os fenômenos físicos presentes no imaginário dos profissionais da mídia desportiva, parece-nos apresentar-se como um complemento dotado de um grande potencial de motivação que merece, portanto, ser convenientemente explorado em nossas salas de aula.

## Referências

- [1] A. Armenti Jr., *The Physics Teacher* **12**, 349 (1974).
- [2] T. Asai; T. Akatsuka e S. Haake, *Physics World* **10**, 25 (1998).
- [3] A. Ashe, *Getting More Firepower into the Cannonball. Tennis Strokes and Strategies* (Simon & Shuster, New York, 1975).
- [4] J. Borkowski e E. Kawecka, in *Congress GIREP: Physics in New Fields*, Lund, Suécia, 2002.
- [5] P. Brancazio, *The Physics Teacher* **23**, 403 (1985).
- [6] R. Carneiro, in *A Importância do Saque*, editado em *PlayTennis*, <http://www.playtenis.com.br/hopiniao.htm>. Acessado em 22 de julho de 2001.
- [7] W. Connolly, *The Physics Teacher* **16**, 392 (1978).
- [8] M. Crichton, *On Two Cars Negotiating a Curve*, edited in *The Andromeda Strain* (New York, 1993).
- [9] R. Cross, *The Physics Teacher* **39** (2001).
- [10] B. Elliott and R. Kilderry, *The Art and Science of Tennis* (Saunders, Philadelphia, 1983).
- [11] W. Elliott and C. Lowry, *Journal of College Science Teaching* **5**, 99 (1975).
- [12] M. Gomes e E. Parteli, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **23** (2001).
- [13] O. Haugland, *The Physics Teacher* **39** (2001).
- [14] G. Ireson, *Physics Education* **36**, 10 (2001).
- [15] G. Ireson, in *Congress GIREP: Physics in New Fields*, Lund, Suécia, 2002.
- [16] R. Júdice e V. Veloso Jr, *A Física na Escola* **3**(1) (2002).
- [17] B. King, *Play Better Tennis with Billie Jean King* (Octopus Books Ltd, London, 1981).
- [18] M. MacMillan, *Research Quarterly* **46**, 48 (1975).
- [19] F. McKim, *Physics Education* **18**, 221 (1983).
- [20] K. Parker, *Physics Education* **36**, 18 (2001).
- [21] J. Pons, *Ensenanza de las Ciencias* **18**, 131 (2000).
- [22] B. Price, *Body Arc and Serving Power. Tennis Strokes and Strategies* (Simon & Schuster, New York, 1975).
- [23] J. Salmela, *The Advanced Study of Gymnastics* (Charles C. Thomas Publisher, Springfield, Illinois, 1974).
- [24] B. Van Gheluwe and M. Hebbelinck, *International Journal of Sport Biomechanics* **2**, 88 (1986).



## Banco Óptico de Baixo Custo

Apresentamos um projeto para a construção de um banco óptico composto de materiais de baixo custo, que pode ser utilizado em aulas experimentais de Óptica Geométrica no Ensino Médio.

### Introdução

Um banco óptico constituído de um trilho, conjunto de lentes, espelhos, fonte de luz, anteparo etc. é um equipamento caro para ser adquirido pela maioria das nossas escolas de Ensino Médio.

Dessa maneira, as aulas de Óptica Geométrica em que são trabalhadas a obtenção da distância focal de lentes e espelhos, a determinação de índice de refração, a equação de conjugação, a relação entre altura do objeto e imagem, as relações de difração e interferência etc., ficam restritas à habilidade artística do professor em desenhar os esquemas na lousa e à fé do aluno nas equações da Óptica Geométrica. Não há possibilidade de o aluno pôr a “mão na massa” e verificar a validade das equações na prática, dada a inexistência de equipamentos acessíveis e adequados.

Com o objetivo de suprir esta carência, ao menos em relação ao estudo da Óptica Geométrica, alguns autores apresentaram a construção de um banco óptico de baixo custo [1]. O que apresentamos neste trabalho é uma nova alternativa para o projeto de construção de um banco óptico que pode ser feito pelos próprios alunos como trabalho em classe.

### Construção do banco óptico

#### Trilho

Para a construção do banco óptico utilizamos uma canaleta retangular de PVC de dimensões 50 x 20 x 2200 mm, que pode ser encontrada em qualquer loja de material elétrico. Esta canaleta é constituída de duas partes que se encaixam, uma lisa e outra corrugada.

Para cada banco óptico deve-se cortar a parte lisa em pedaços de 100 cm. Cada pedaço será utilizado como base para um trilho óptico (Figura 1).



Figura 1: Parte lisa da canaleta cortada para ser utilizada como base para o trilho óptico.

#### Base deslizante para dispositivos

A parte corrugada deve ser cortada em pedaços de 5,0 cm que serão bases deslizantes para espelhos, lentes, fontes de luz e anteparos (Figura 2).

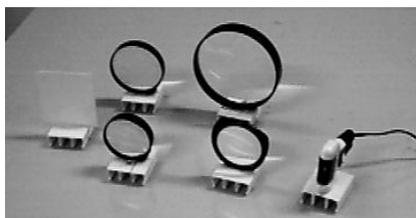


Figura 2: Parte corrugada da canaleta, cortada para servir como base para lentes, anteparos e fonte de luz.

As lentes podem ser lupas de diferentes tamanhos, ou tiradas de óculos para leitura, binóculos etc., adquiridas em lojas de produtos de baixo custo ou até em camelôs. Os vidros de relógio de laboratório de Química podem ser utilizados como espelhos esféricos. Todos esses dispositivos podem ser colados nas bases feitas com os pedaços corrugados da canaleta. Como anteparo pode-se utilizar um retalho de plástico ou de madeira, de 8,0 x 8,0 cm, revestido com papel branco.

#### Fonte de luz (objeto)

Utilizamos como fonte de luz uma mini-lâmpada noturna fluorescente encontrada em lojas de material elétrico

ou de variedades de baixo custo. Essa lâmpada, além de ser compacta, pode ser ligada diretamente à rede elétrica, dispensando o uso de pilhas.

Como objeto para projeção (fenda), recortamos em cartolina preta um retângulo com uma seta vazada em seu centro. Esse retângulo de cartolina será colocado como máscara à frente da fonte de luz, deixando passar a luz apenas pela seta vazada.

A Figura 3 mostra o conjunto óptico com alguns acessórios encaixados no trilho.

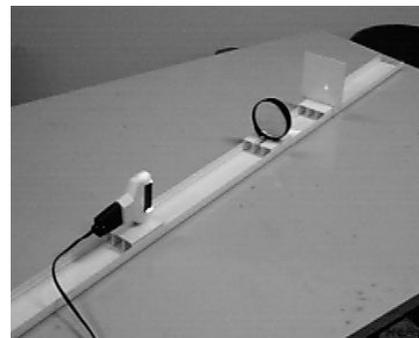


Figura 3: Banco óptico montado com acessórios para determinar a distância focal da lente convergente.

### Conclusão

O banco óptico foi utilizado em aula de laboratório por alunos do Ensino Médio da escola Centro de Estudos Alaíse Marcondes Velloso (CEAMV/Universitário) de Guaratinguetá na determinação da distância focal de lentes convergentes, aplicando a equação de Gauss, obtendo resultados satisfatórios.

Podemos incrementar o banco óptico com acessórios como espelho esférico, espelho plano, cuba para determinação de índice de refração de líquidos, rede de difração utilizando CD e outros que a criatividade alcançar.

### Agradecimentos

Agradeço reconhecidamente ao professor Alberto Gaspar pelo incentivo, sugestões e revisões do texto.

Tiago Raimundo da Silva  
Unesp, Guaratinguetá  
tiago@feg.unsp.br

### Referência

- [1] J.R. Pimentel e A.M. Brinatti, Caderno Catarinense de Ensino de Física **6**, 77 (1989).



Decreto do Presidente Lula de 9 de junho de 2004 estabeleceu a Semana Nacional da Ciência e Tecnologia, a ser comemorada no mês de outubro de cada ano, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia e com a colaboração das entidades nacionais vinculadas ao setor, com a finalidade de promover a divulgação científica e tecnológica. Neste ano, a Semana ocorrerá no período de 18 a 24 de outubro. O objetivo é criar e consolidar no Brasil um mecanismo - que já vem sendo utilizado com êxito em vários países do mundo, como Reino Unido, Espanha, França, África do Sul e Chile - que mobilize a população em torno dos temas e da importância da ciência e tecnologia e contribua para a popula-

rização da ciência de forma mais integrada nacionalmente.

Durante essa Semana, instituições de pesquisa científica e tecnológica, universidades, centros e museus de ciência e tecnologia, escolas dos vários níveis, sociedades e associações científicas e tecnológicas, além de outras entidades e grupos, realizarão atividades de divulgação científica e tecnológica voltadas para o público escolar e para o público geral. Um aspecto importante dessas atividades é contribuir para que a população possa conhecer e discutir os resultados, a relevância e o impacto das pesquisas e de suas aplicações.

A proposta de realizar no Brasil uma Semana Nacional de Ciência e Tecnologia já vem feita há tempos por sociedades científicas, centros e museus de ciência, instituições e grupos voltados para a divulgação científica. A idéia é iniciá-la já neste ano, ainda que em caráter experimental, e buscar com que ela venha a se transformar em uma tradição no país. A colaboração e a participação ativa dos governos estaduais e municipais e das instituições de pesquisa e ensino regionais e locais, assim como de entidades científicas e tecnológicas, serão decisivas para o êxito da iniciativa.

As atividades da Semana serão as mais variadas, com eventos diversos ocorrendo em locais públicos e comunitários, em centros culturais e mu-

seus, em universidades e instituições de pesquisa, em casas legislativas e praças públicas: 'dias de portas abertas' de instituições de pesquisa e universidades; ida de cientistas às escolas; festivais e feiras de ciência; oficinas para o público; atividades unindo ciência, cultura e arte (teatro, cinema, circo, música etc); noites de astronomia; exibição de filmes e vídeos científicos em locais públicos; palestras e discussões públicas sobre temas científicos de interesse geral; entrevistas, debates e documentários nos jornais, rádios e TVs etc.

As sociedades científicas e entidades da área tecnológica, as universidades e escolas, os institutos de pesquisa, as secretarias estaduais e municipais de C&T e de educação, as fundações de amparo à pesquisa, comissões de C&T das casas legislativas, fundações e entidades ligadas à área de C&T, e outros órgãos governamentais e da sociedade civil estão sendo convidados a participarem ativamente da organização e das atividades da Semana.

A coordenação das atividades está sendo articulada pelo Departamento de Popularização e Difusão da Ciência e Tecnologia, da Secretaria de C&T para a Inclusão Social do MCT. A secretaria executiva da Semana será efetuada pelo escritório da Academia Brasileira de Ciências em Brasília.

Para maiores informações, procure o sítio do MCT:

<http://www.mct.gov.br/semanact2004/semana.asp>

# Fotografias Estroboscópicas

**E**m uma “brincadeira” infantil de se tentar ver quem conseguiria fazer com que uma bolinha de tênis alcançasse a maior altura após ricochetear no chão, levantou-se em nosso clube de ciências a seguinte questão: “seria possível fotografar o momento exato em que a bolinha estivesse no ponto mais alto de sua trajetória, para que se pudesse descobrir essa altura?”. Depois de muito pensar e analisar como funciona uma máquina fotográfica, chegamos à conclusão de que com o auxílio de uma lâmpada estroboscópica obteríamos o que desejávamos: o registro da trajetória de objetos em movimento. Estávamos prestes a entrar no mundo da estroboscopia.

Mas o que é estroboscopia? A estroboscopia consiste da observação de um fenômeno muito rápido com o auxílio de um aparelho que o ilumina, com clarões breves e periódicos, registrando suas posições sucessivas. Esse aparelho, conhecido como lâmpada estroboscópica, pode ser adquirido por um preço razoável em lojas que fornecem equipamentos para festas. No entanto, para diminuir ainda mais os custos, construímos a nossa própria lâmpada estroboscópica seguindo o circuito mostrado na Figura 1. Utilizamos um farol de Fusca como direcionador e refletor da luz estroboscópica. Este circuito possibilita o controle da frequência de acendimento da lâmpada (ajuste do pisca-pisca), por meio de um potenciômetro.

Para calibrarmos a luz estroboscópica (medir sua frequência), utilizamos um outro circuito, que consiste de um resistor em série com um LDR (resistor variável com a luz), alimentados por uma fonte DC (Figura 2). Colocamos o LDR perto da lâmpada estroboscópica, e a cada acendimento desta há um pulso de tensão sobre o resistor que pode ser muito bem visualizado através de um osciloscópio. Medindo-se - pelo osciloscópio

.....  
**Rafael Antonio da Silva Rosa,**  
**Rodrigo Roversi Rapozo e Thiago**  
**Matias de Carvalho**  
 Instituto Tecnológico de Aeronáutica /  
 Clube de Ciências Quark, São José dos  
 Campos - SP  
 www.clubequark.cjb.net  
 .....

.....  
**Marcelo Magalhães Fares Saba**  
 Instituto Nacional de Pesquisas  
 Espaciais / Clube de Ciências Quark  
 msaba@dge.inpe.br  
 .....

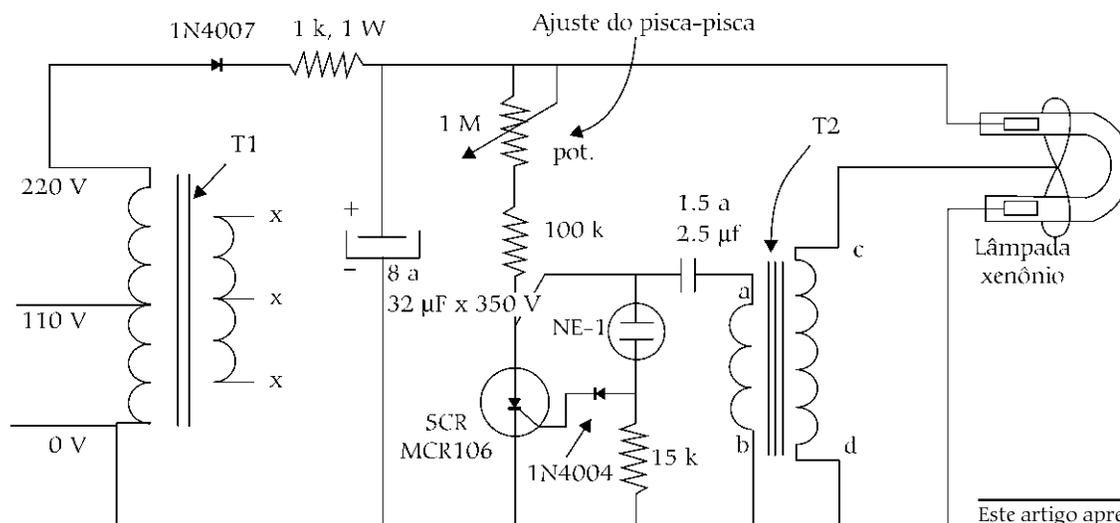


Figura 1. Circuito da lâmpada estroboscópica.

Este artigo apresenta, de forma simples, como registrar a trajetória de um corpo em movimento.

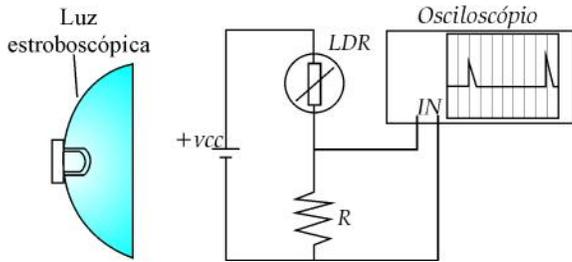


Figura 2. Circuito de calibração da lâmpada estroboscópica.

- o intervalo de tempo entre dois pulsos, tem-se a frequência.

E, finalmente, para fotografar os fenômenos estroboscópicos, colocamos a câmara (com controle de tempo de exposição) no modo B (para deixar a lente exposta enquanto o disparador estiver pressionado) e a lâmpada estroboscópica fazendo o papel de “flash” fotográfico. A cada disparo do “flash” (acendimento da lâmpada), o filme fotográfico é sensibilizado, registrando o objeto em movimento em uma posição diferente. Assim, temos na mesma fotografia o objeto em várias posições diferentes de seu movimento, como no exemplo da Figura 3, onde observamos uma bolinha de ping-pong.

Com a nossa lâmpada estroboscópica é possível alterar a frequência de acendimento, mas as melhores fotografias foram tiradas a 20 Hz. A Figura 4 ilustra a diferença na fotografia quando não se usa uma frequência adequada: o acendimento estava a 10 Hz e a fotografia não ficou boa.

Finalmente, através dessas fotografias, calculamos algumas grandezas físicas. Procedemos da seguinte forma: no caso da fotografia da Figura 3, medimos o tamanho real da bolinha e o seu tamanho na fotografia, e calculamos a relação de proporção; medimos as alturas atingidas pela bolinha na fotografia, e pela proporção calculamos as alturas reais; como sabíamos a frequência da lâmpada, sabíamos o intervalo de tempo entre duas aparições sucessivas da bolinha; e contando o número de vezes que a bolinha aparecia na fotografia, tínhamos o tempo de subida e de descida. Com as alturas e os intervalos de tempo, obtivemos:

$$f = 20 \text{ Hz} \rightarrow T = f^{-1} = 50 \text{ ms}$$

$$h = gt^2/2 \quad v = gt$$

Para a fotografia da Figura 3 cal-

culamos a gravidade e também o coeficiente de restituição:

$$g = 9,82 \text{ m/s}^2$$

$$e = v_2/v_1 = 0,87$$

Fizemos esse mesmo procedimento para muitas outras fotografias, como por exemplo a Figura 5, onde temos agora uma bolinha de tênis, em uma das mais bonitas fotografias desse trabalho.

Nesse caso, achamos:

$$g = 8,94 \text{ m/s}^2 \quad e = v_2/v_1 = 0,74$$

Outras fotografias interessantes foram as do pêndulo simples, onde pudemos calcular a gravidade. Tínhamos o comprimento do fio, medimos o período do pêndulo contando o nú-

mero de vezes que a bolinha aparecia na fotografia e, através da fórmula do pêndulo simples, calculamos a gravidade:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \rightarrow g = 10,09 \text{ m/s}^2$$

Note que o período de oscilação não depende da altura inicial do pêndulo. Note também que velocidades maiores são obtidas quando a altura inicial da bola é maior.

## Resultados

Obtivemos como gravidade média, através de todas as nossas fotografias (nem todas estão neste artigo), o valor

$$g = 9,84 \text{ m/s}^2$$

que mostra a credibilidade do nosso método.



Figura 3. Fotografia estroboscópica (20 Hz) de uma bolinha de ping-pong pingando.

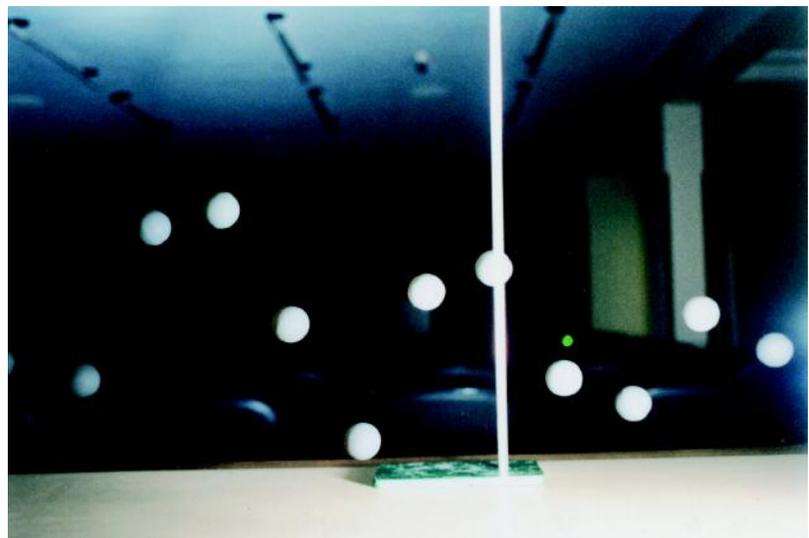


Figura 4. Fotografia estroboscópica (10 Hz) de uma bolinha de ping-pong pingando.

Pode-se perceber também que os valores encontrados para os coeficientes de restituição das bolinhas (ping-pong 0,87; tênis 0,74) são bem coerentes, pois sabemos que uma bolinha de ping-pong ricocheteia mais que uma bolinha de tênis.

Foi possível ainda provar experimentalmente que o período do pêndulo simples não depende de sua altura inicial.

## Conclusões

Concluimos com esse trabalho que é perfeitamente possível estudar qualitativa e quantitativamente diversos fenômenos mecânicos de forma fácil e ao mesmo tempo divertida. Por isso esse é um experimento que pode ser usado com fins didáticos em escolas e em clubes de ciências, facilitando o entendimento de diversos tópicos de Física e incentivando a prática da pesquisa científica. Finalmente, sem nenhuma dificuldade nem grandes gastos é possível obter fotos belíssimas de diversos outros fenômenos físicos.

## Dicas úteis

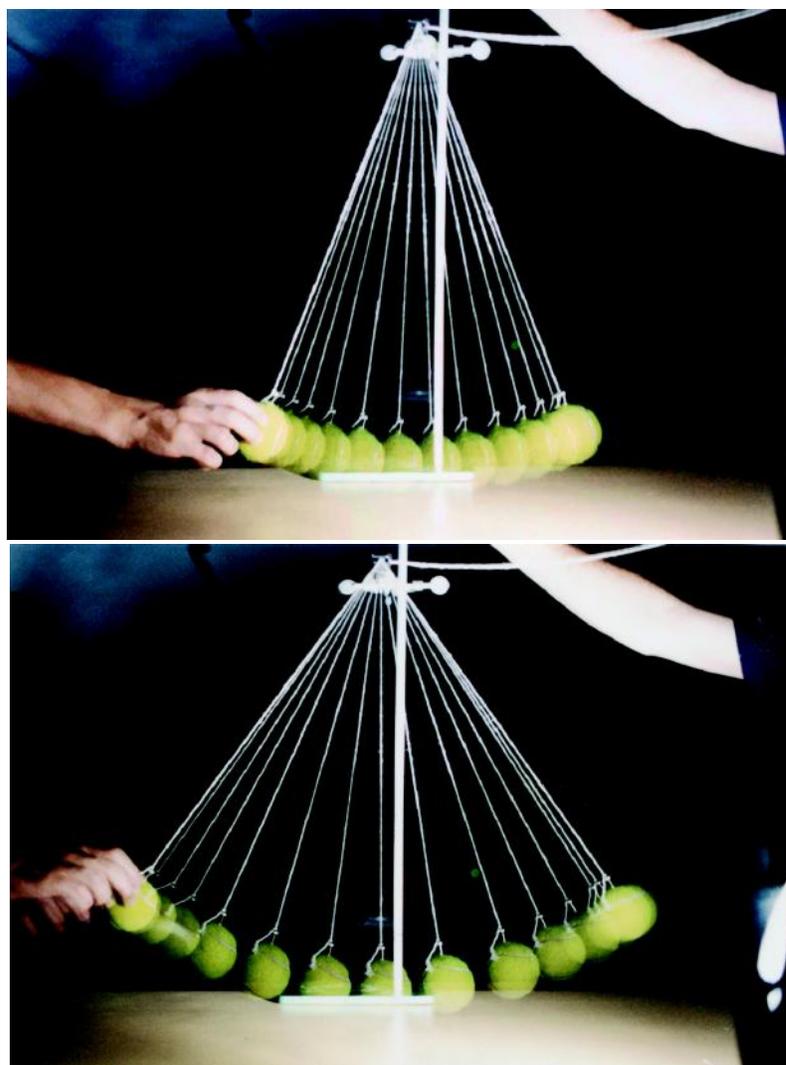
- Dê preferência a filmes de alta sensibilidade (ASA 400) e utilize um tripé para a fixação da câmera.
- Procure fotografar de perto e utilizar um fundo escuro opaco para evitar reflexos da luz do "flash" (lâmpada estroboscópica).
- Se as fotografias ficarem escuras, aproxime a lâmpada estroboscópica ou aumente a abertura do diafragma da câmera.
- Aqueles que não tiverem acesso a um osciloscópio podem calibrar a lâmpada fotografando um pêndulo com período conhecido. Sabendo-se o período, pode-se encontrar o tempo entre as sucessivas posições do pêndulo e a frequência da lâmpada.

## Agradecimentos

Agradecemos aos estudantes André de Souza Pires, do Colégio Olavo Bilac, e Bruno Masayoshi Matsumoto e Douglas Bokliang Ang Cunha, ambos do Colégio Poliedro, pela persistência nos encontros semanais do Clube de Ciências Quark, sem a qual não teríamos conseguido realizar este projeto.



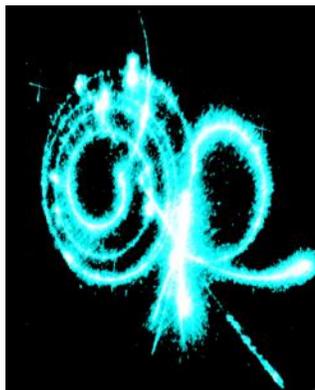
Figura 5. Fotografia estroboscópica (20 Hz) de uma bolinha de tênis pingando.



Figuras 6 e 7. Fotografias estroboscópicas (20 Hz) do pêndulo simples com diferentes alturas iniciais.

## Referência

[www.feiradeciencias.com.br/sala16/16\\_LE\\_04.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala16/16_LE_04.asp) (circuito da lâmpada estroboscópica)



# Olimpíadas de FÍSICA

.....  
**José David M. Vianna**  
Pesquisador Associado  
Instituto de Física da  
Universidade de Brasília

**Fábio Fernandes Siqueira**  
Assessor de Comunicação Social  
.....

## **A Olimpíada Brasileira de Física é um projeto permanente da Sociedade Brasileira de Física e único passaporte para as Olimpíadas Internacionais de Física**

Esta coluna apresenta notícias sobre a Olimpíada Brasileira de Física e outras olimpíadas internacionais.

### **Coréia em movimento**

Olimpíada Internacional de Física: professores e alunos comentam suas perspectivas e falam das novidades

A Coréia do Sul foi palco das Olimpíadas em 1988. Os jogos olímpicos, realizados em Seul, foram marcados pelas revelações negativas dos exames anti-dopping. Ao todo, 7 atletas foram desclassificados por utilizarem substâncias proibidas, entre eles o velocista dos 100 metros rasos, Ben Jonhson.

Neste ano, o país novamente será sede de uma olimpíada, porém desta vez a competição será intelectual e os únicos estimulantes possíveis são à base de fórmulas de Física e conceitos científicos.

No dia 15 de julho, começará a Olimpíada Internacional de Física (IPhO). Em sua 35ª edição, o evento será realizado na cidade de Pohang e contará com a participação de mais de 60 países, que levarão estudantes do Ensino Médio para testarem seus conhecimentos.

A seleção brasileira já está definida: Henrique Rezende Graminho, Eduardo Leitner, Lucas de Freitas Freney, Mateus Gomes e Wladimir Carvalho de Maracaba. Os alunos estão sob orientação do Coordenador da OBF no estado de São Paulo, professor Euclides Marega, do Instituto de Física da USP de São Carlos.

O professor demonstra confiança: "A minha expectativa é grande. Os alunos são muito dedicados e, pelo

que pude notar, eles estão se empenhando ao máximo", comenta Marega.

### **Panorama brasileiro**

No ano passado, o Brasil obteve um bom resultado na IPhO. Com a surpreendente performance nas provas, nosso país, em sua quarta participação, ficou na melhor colocação entre os países ibero-americanos, empatando apenas com Cuba, que já participa da competição desde a década de 70.

Os estudantes Jong Woo e Rodrigo Yamashita foram os destaques. Entre 240 participantes, Jong obteve a 23ª colocação na prova experimental. Ele foi elogiado pela comissão que elaborou o teste e recebeu menção honrosa. Para Rodrigo, faltou apenas um ponto para ganhar a mesma premiação.

**Em sua quarta participação na IPhO o Brasil ficou na melhor colocação entre os países ibero-americanos, empatando apenas com Cuba, que participa da competição desde os anos 70**

Outro ponto positivo foi o Brasil, em sua quarta participação, ter se classificado melhor do que países mais experientes, como Portugal, Espanha e

Bélgica. O resultado sinaliza que a preparação proporcionada pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), com o programa da Olimpíada Brasileira de Física (OBF), surtiu efeito.

O retorno positivo motivou o desenvolvimento do Web Course. "Esta é uma ferramenta que ajuda bastante", observa o professor Cláudio Behr, representante da OBF no Colégio Etapa, onde estuda Lucas de Freitas Freney, selecionado para o grupo que irá para Pohang.

## Preparação física

O Web Course tem ajudado os alunos que irão participar de competições internacionais de Física pela OBF. Com a finalidade de oferecer uma preparação eficiente, este instrumento utiliza métodos do ensino a distância para possibilitar o acesso a um conteúdo mais abrangente que o abordado nos colégios.

O estudante pernambucano Wladimir Carvalho aprova a idéia: “O Brasil tem seguramente condições de obter bons resultados nesta IPhO, pois, além das informações recebidas na escola, a SBF está preparando os cinco representantes via internet”.

Wladimir integra a equipe que viajará à Coreia. Ele, junto com os outros membros da equipe, passará uma semana no Instituto de Física

da USP de São Carlos, onde acertará os detalhes para a prova experimental. “Isso nos ajudará a melhorar nossa desenvoltura nos laboratórios”, acrescenta o pernambucano.

Esta etapa é fundamental para equilibrar o conhecimento dos alunos, já que, neste ano, os estudantes são de diferentes regiões do Brasil. A equipe é formada por um paranaense, um cearense, um pernambucano e dois paulistas. “Isto é bom. Significa que o Brasil tem talentos espalhados por toda parte; o que falta é oportunidade para estes talentos apare-

cerem” ressalta Marega.

## Perfil dos atletas

“O fato é que a Física rege o nosso mundo, a Física rege tudo, e por isso é muito excitante estudar isso” descreve o paranaense Eduardo Henrique Leitner que, por influência dos professores e dos irmãos, passou a se interessar pela matéria.

Quando questionado sobre sua expectativa na IPhO, ele responde prontamente que “É algo novo para mim, não sei o que devo esperar. Mas a vontade, com certeza, é de trazer uma medalha, né?”.

Eduardo lança um comentário interessante sobre os estudos. Para ele, a dedicação à Física não é sinônimo de estresse e também não o diferencia dos outros colegas. “Somos pessoas normais, eu tenho namorada, vou ao cinema, festas, durmo. Os estudos não significam estresse. A única coisa que realmente me deixa cansado é a falta de sono. Tendo noites bem dormidas, nem os finais de semana seriam necessários”.

Wladimir tem outras preferências. “Eu faço piano há mais de cinco anos, e também pratico natação. Adoro viajar e estudar línguas (inglês, espanhol e francês). Mas, para mim, ficar com a família e sair com os amigos são as melhores formas para eliminar a tensão”.

O pernambucano fala que nunca

**“É muito importante que mais professores se cadastrem para as Olimpíadas, mas isto não é o suficiente. O que mais incentiva o estudo da Física é o apoio aos alunos que quiserem participar”**

**Lucas Frenay  
Representante brasileiro  
na 35ª IPhO**

teve nenhum interesse especial pela Física. O que realmente mudou sua opinião foi a OBF. À medida que foi avançando, o ritmo de estudos aumentava. Até que a Física Moderna o seduziu. “A parte mais estimulante para mim é a Física Quântica e a Relativista, porque envolve conceitos abstratos, não estudados a fundo no 2º Grau”.

Assim como Wladimir, o paulista Lucas Frenay, começou a gostar da Física durante as provas da OBF. Antes, sua praia era outra: a matemática. “Acabei parando de assistir as aulas da Olimpíada Brasileira de Matemática, e passei a me dedicar mais à Física. O aspecto que mais me identifica é a Mecânica” destaca Lucas.

O estudante reconhece a importância dessas competições. Mas faz uma ressalva: “É muito importante que mais professores se cadastrem para as Olimpíadas, mas isto não é o suficiente. O que mais incentiva o estudo da Física é o apoio aos alunos que quiserem participar”.

## Olimpíada Ibero-Americana no Brasil

A outra competição internacional, que o Brasil participa através da OBF, é a Olimpíada Ibero-Americana de Física. A OIBF ocorrerá em Salvador, no período de 25 de setembro a 2 de outubro deste ano. Nesta Olimpíada participam os países da América Latina além de Portugal e Espanha, sendo esperadas equipes de 21 países.

As provas serão realizadas no Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia.

**Para maiores informações visite a página**

**[www.sbf1.sbfisica.org.br/oibf2004](http://www.sbf1.sbfisica.org.br/oibf2004)**



**Flávia Pedroza Lima**

Museu de Astronomia e Ciências Afins  
Rio de Janeiro - RJ

**Jaime F. Villas da Rocha**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro



Figura 1. A Lua na sombra da Terra durante um eclipse lunar.

Este artigo comenta e apresenta uma proposta de abordagem dos eclipses junto aos alunos, comentando esse fenômeno astronômico muito interessante e que vem cativando a humanidade desde seu nascimento.

No dia 27 de outubro de 2004 teremos a oportunidade de observar aqui no Brasil um dos mais belos fenômenos da natureza: um eclipse lunar.

Mas o que é um eclipse? Vamos a um exemplo prático: imaginemos que você esteja observando duas pessoas chamadas SOLange e LUAna. Se a Luana passar na frente da Solange, por alguns segundos você não verá a Solange, e você poderia dizer que a Luana / eclipsou/ a Solange. Perceba que o eclipse depende da posição de onde você está observando o fenômeno. O mesmo acontece com os corpos celestes: às vezes um passa na frente do outro, e temos então um eclipse.

Há dois tipos de eclipses envolvendo o Sol, a Terra e a Lua: o eclipse lunar e o eclipse solar. Nos dois casos, há um alinhamento perfeito entre os três astros. No caso do eclipse solar, a Lua passa exatamente entre a Terra e o Sol, e no caso do eclipse lunar, a Terra passa exatamente entre o Sol e a Lua. Devemos lembrar que somente o Sol, por ser uma estrela, emite luz. A Lua e a Terra apenas refletem parte da luz que recebem do Sol. Sendo assim, quando os três corpos estiverem alinhados, um projetará sua sombra sobre o outro.

### O eclipse lunar

Em outubro, observaremos um eclipse lunar; durante esse evento observamos a sombra da Terra passando pela Lua, como mostra a Figura 1.

Quando o eclipse começar, observaremos a sombra da Terra,

arredondada, cobrindo lentamente o disco da Lua. Dizemos que está iniciando a fase parcial do eclipse. A sombra da Terra leva aproximadamente uma hora para cobrir completamente a Lua (Figura 2). Quando a Lua está completamente coberta pela sombra da Terra, dizemos que o eclipse está na totalidade. Durante a totalidade, a Lua geralmente apresenta uma coloração avermelhada, pois a atmosfera da Terra desvia um pouco da luz do Sol na direção da Lua (Figura 3). Nesta passagem pela atmosfera da Terra, a luz do Sol, que é formada por todas as cores, interage com as moléculas da atmos-



Figura 2. Sequência de fotos mostrando um eclipse lunar.

fera e a luz azul é removida, passando mais a componente na região do vermelho. Por isso a luz que chega à Lua, desviada pela atmosfera da Terra, é avermelhada, como mostra a Figura 4. Após a totalidade, a Lua vai lentamente deixando a sombra da Terra, sendo novamente iluminada pelo Sol e retomando sua cor prateada de costume.

### O eclipse solar

Durante um eclipse solar, podemos observar a Lua passando bem em frente ao Sol, bloqueando sua luz por alguns minutos (Figura 5). Isto acontece porque o disco da Lua no céu tem quase o mesmo tamanho que o disco do Sol. Durante o eclipse, a sombra da Lua se projeta na Terra, e quem estiver nas regiões onde a sombra da Lua será projetada, será capaz de ver o eclipse, como mostram as Figuras 6 e 7.

Um eclipse solar começa com o que parece uma “mordida” negra, ou seja, o disco da Lua

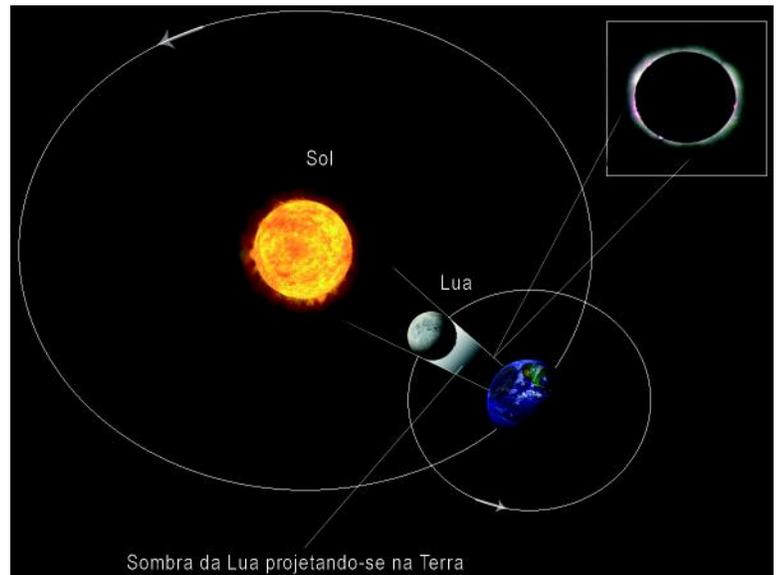


Figura 5. No eclipse solar, a Lua passa entre a Terra e o Sol, e a sombra da Lua se projeta na Terra.

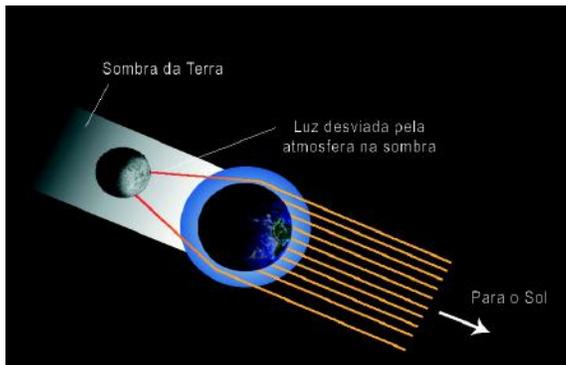


Figura 3. Durante a totalidade do eclipse lunar, a luz do Sol desviada pela atmosfera da Terra atinge a Lua, dando a esta uma coloração avermelhada.



Figura 4. Sequência de fotos da Lua atingindo a totalidade de eclipse lunar. Note como a Lua vai ficando cada vez mais avermelhada.

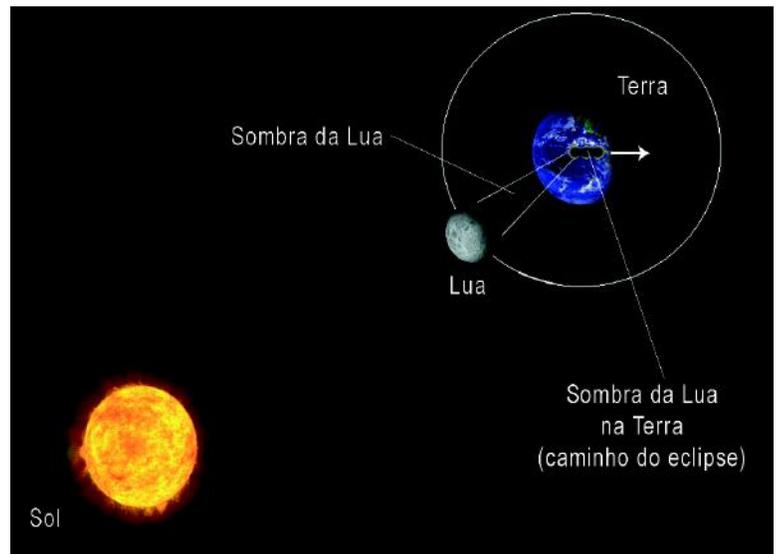


Figura 6. A sombra da Lua se projeta na Terra durante o eclipse solar. A sombra da Lua se move sobre a Terra formando o caminho do eclipse.



Figura 7. Localização dos caminhos de alguns eclipses solares totais nos próximos anos.

começa a cobrir lentamente a borda do disco do Sol. Este é o início do eclipse parcial. Dependendo do lugar na Terra em que você esteja, você só poderá observar um eclipse parcial. Em alguns lugares não será possível ver o eclipse. Se você tiver a sorte de estar em um local onde o eclipse será total, verá o disco da Lua cobrindo lentamente o Sol, até o cobrir totalmente. Durante a totalidade do eclipse solar, ou seja, enquanto o disco da Lua cobre totalmente o disco do Sol, o céu escurece bastante, como se fosse o céu que vemos bem no início das noites, e podemos ver algumas estrelas mais brilhantes. A coroa do Sol, ou seja, a parte mais externa da atmosfera solar, pode ser vista ao redor do disco negro da Lua (Figura 8). Conforme a Lua continua em sua órbita, ela vai descobrindo o Sol, e a luz normal do dia volta.

Os eclipses solares não são tão fáceis de serem observados quanto os lunares, pois exigem proteção especial para que o observador não prejudique sua visão. Nunca olhe diretamente para o Sol, pois isto causa danos irreversíveis aos olhos, e pode até causar cegueira!

### Concluindo...

Os eclipses são fenômenos raros e muito bonitos, e são aguardados ansiosamente pelos astrônomos amadores e por todas as pessoas que se interessam pela Astronomia. Algumas pessoas viajam milhares de quilômetros para observar um eclipse.



Figura 8: Fotografia de um eclipse total do Sol. A coroa solar pode ser observada durante a totalidade do eclipse.

Os eclipses lunares podem ser facilmente observados a olho nu, por isso não perca a oportunidade de observar

o eclipse lunar de outubro. Veja na Tabela 1 os horários mais importantes do eclipse e boa observação!

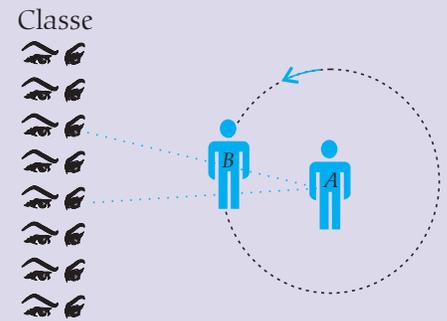
Tabela 1: Horários do eclipse que ocorrerá em outubro próximo.

| Data       | Fase do eclipse        | Horário     |
|------------|------------------------|-------------|
| 27/10/2004 | Início da parcialidade | 23 h 14 min |
| 28/10/2004 | Início da totalidade   | 0 h 23 min  |
| 28/10/2004 | Máxima totalidade      | 1 h 04 min  |
| 28/10/2004 | Fim da totalidade      | 1 h 44 min  |
| 28/10/2004 | Fim da parcialidade    | 2 h 53 min  |

Obs: horário de verão de Brasília.

### Sugestões de atividades para professores

Uma boa atividade para ser feita em sala de aula é convocar dois alunos e posicioná-los na frente da sala. O aluno *A* deverá ficar parado na frente da sala, enquanto o aluno *B* deverá passar lentamente entre o aluno *A* e o restante da classe. Enquanto isso, pede-se para os alunos que estão vendo o aluno *B* passar na frente do aluno *A* para levantar a mão. Neste momento, eles estarão vendo o aluno *B* eclipsar o aluno *A*. Podemos comparar o aluno *B* à Lua e o aluno *A* ao Sol. É uma boa representação de um eclipse solar.



Outra boa brincadeira que pode ser feita durante o recreio é a seguinte: escolha três alunos (vamos chamá-los de alunos 1, 2 e 3). O aluno 1 fica mais distante dos outros dois. O aluno 2 começa a girar ao redor do aluno 3. No momento em que os três alunos ficam perfeitamente alinhados, ocorre um eclipse. Sendo:

- Aluno 1: Sol
- Aluno 2: Lua
- Aluno 3: Terra,

quando ocorre o alinhamento 1-2-3, é como se a Lua estivesse cobrindo o disco solar, para o observador que está na Terra. Seria um eclipse solar. Quando o alinhamento se dá na ordem 1-3-2, a Lua está passando por detrás da Terra, e portanto estaria na sombra da Terra. Seria um eclipse lunar.

Outra opção pouco trabalhosa e de baixo custo é fazer uma Terra e uma Lua com bolas de isopor. Você pode até pintar as bolas de isopor com tinta guache para que elas fiquem parecidas com a Terra e com a Lua. Utilizando uma lâmpada para representar o Sol, podemos ver nitidamente a sombra que a Terra projeta sobre a Lua no caso de um eclipse lunar, e a sombra que a Lua projeta sobre a Terra no caso de um eclipse solar (Figura 9).



Figura 9: Montagem utiliza uma lâmpada para se representar o Sol e duas bolas de isopor para se representar a Terra e a Lua.



## Introdução

A “Proposição IV”, do Livro III, dos “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, de Isaac Newton, é uma peça essencial no argumento newtoniano para a construção da idéia de uma força gravitacional. Nesta proposição, Newton argumenta que a força que mantém a Lua em sua órbita é da mesma natureza que a força que atrai uma pedra na superfície da Terra, e, para verificar esta conjectura, introduz uma “experiência de pensamento”, a da “queda da Lua”, para verificar se há compatibilidade entre o valor da aceleração centrípeta da Lua, modificada em uma adequada proporção para a situação imaginada da Lua caindo na superfície terrestre, e a aceleração de um corpo em queda livre na superfície da Terra; obtendo uma excelente concordância numérica. A comparação só foi possível, à época, porque Newton apoiou-se nos trabalhos de Christian Huygens sobre o pêndulo, os quais forneceram as primeiras medidas confiáveis, ainda que indiretas, da gravidade terrestre. O argumento newtoniano é notável por razões variadas. É nessa proposição que, pela primeira vez, se expressa o que hoje denominamos de síntese newtoniana, isto é, a idéia de que a física dos corpos celestes em suas órbitas é a mesma do movimento dos corpos na superfície da Terra. É também um argumento notável pela engenhosidade e pela simplicidade, de alcance histórico e didático. Densmore [4] afirma que este argumento é talvez, a mais emocionante demonstração nos *Principia*, enquanto Bernard

Cohen considera-a um clímax dos *Principia* [10]. Entretanto, esse argumento pouco aparece nos livros-texto [13]. Nós apresentaremos uma tradução dessa Proposição; teceremos breves comentários sobre ela; apresentaremos a proposição conforme o argumento original, para isso nos apoiaremos largamente em Densmore [4]; apresentaremos a mesma proposição de modo bastante simplificado, e mesmo anacrônico, mas inteiramente adequado à introdução no Ensino Médio; e, por fim, extrairemos algumas conclusões de natureza didática, relacionadas ao uso dessa Proposição [14].

## O argumento da “queda da Lua”

“Que a Lua gravita em torno da Terra [15], e é sempre retirada de seu movimento retilíneo, e reconduzida a sua órbita, pela força da gravidade” [Livro III, Proposição 4]

A distância média da Lua à Terra, nas sizígias, em semi-diâmetros da Terra, é 59, de acordo com Ptolomeu e a maioria dos astrônomos; 60, de acordo com Wendelin e Huygens;  $60 \frac{1}{3}$ , de acordo com Copérnico;  $60 \frac{2}{5}$ , de acordo com Street; e  $56 \frac{1}{2}$ , de acordo com Tycho. Mas Tycho e aqueles que seguem suas tabelas de refração, ao estabelecer uma refração maior – por quatro ou cinco minutos – para o Sol e a Lua do que para estrelas fixas (em completa oposição à natureza da luz), tinham au-

.....  
**Olival Freire Junior, Manoel Matos Filho e Adriano Lucciola do Valle**  
 Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia  
 .....

---

Apresenta-se a “Proposição IV”, do Livro III, dos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural e seu Sistema do Mundo*. É nessa proposição que, pela primeira vez, se expressa o que hoje denominamos de síntese newtoniana, isto é, a idéia de que a física dos corpos celestes em suas órbitas é a mesma do movimento dos corpos na superfície da Terra. Para verificar sua proposição, Newton faz uma “experiência de pensamento”, a da “queda da Lua”. Sugere-se que esta proposição pode, e deveria, ser introduzida nos cursos de Licenciatura em Física e no ensino de Física no Ensino Médio. Ao fazê-lo, estaremos ensinando um bom conteúdo de Física, de modo atrativo, e contextualizando-o nos marcos do conhecimento científico da época. Usando as palavras de Matthews [6], estaremos ensinando tanto o conhecimento em Física como sobre a Física.

mentado a paralaxe da Lua pelo mesmo número de minutos; isto é, pela décima-segunda ou décima-quinta parte da paralaxe total. Corrijamos este erro e a distância chegará a  $60 \frac{1}{2}$  semi-diâmetros terrestres, que é mais ou menos o que foi atribuído pelos outros. Vamos assumir que a distância média é sessenta semi-diâmetros nas sizígias e que o período lunar com respeito às estrelas fixas totaliza 27 dias, 7 horas, e 43 minutos, como afirmado pelos astrônomos; e que a circunferência da Terra é 123.249.600 pés parisienses, como estabelecido pelos franceses através de medição. Se, agora, supusermos que a Lua seja privada de todo movimento e deixada descer na direção da Terra, sob a influência exclusiva da força pela qual (pela Proposição 3, Corolário) ela é mantida em sua órbita, ela irá, na queda, percorrer  $15 \frac{1}{12}$  pés parisienses no espaço de um minuto. Esta conclusão deriva de cálculos baseados seja na Proposição 36 do Livro I ou (o que significa o mesmo) no nono Corolário da quarta Proposição do mesmo livro. Pois o [versed sine] [16] daquele arco que a Lua descreve em seu movimento médio, no tempo de um minuto à distância de sessenta semi-diâmetros terrestres, é cerca de  $15 \frac{1}{12}$  pés parisienses, ou mais precisamente, 15 pés, uma polegada e  $1 \frac{4}{9}$  linhas. De onde, desde que aquela força aumente com o inverso da razão duplicada da distância ao se aproximar da Terra, e seja por isso maior em  $60 \times 60$  partes na superfície da Terra que na Lua, um corpo, ao cair nas nossas regiões, sob a ação daquela força, deveria descrever um espaço de  $60 \times 60 \times 15 \frac{1}{12}$  pés parisienses no espaço de um minuto e, no espaço de um segundo,  $15 \frac{1}{12}$  pés, ou mais precisamente, 15 pés, 1 polegada e  $1 \frac{4}{9}$  linhas. E os corpos pesados, próximos à superfície terrestre, efetivamente descem

com a mesma força. Pois o comprimento de um pêndulo oscilando em segundos, na latitude de Paris, é três pés parisienses e  $8 \frac{1}{2}$  linhas, como Huygens tem observado. E a altura que um corpo pesado atravessa, ao cair durante o tempo de um segundo, está para a metade do comprimento desse pêndulo, assim como, na razão dupla [quadrado], a circunferência do círculo está para seu diâmetro (como Huygens também tem apontado). Ela tem o comprimento, por isso, de 15 pés parisienses, 1 polegada e  $1 \frac{7}{9}$  linhas. E porque a força que mantém a Lua em sua órbita, se ela descesse até a superfície da Terra, se tornaria igual a nossa força de gravidade, então (pelas Regras 1 e 2) ela é a própria força que nós estamos acostumados a chamar de gravidade. Pois se a gravidade fosse dela diferente, os corpos, ao procurarem a Terra com as duas forças conjuntamente, desciriam duas vezes mais rápido e ao caírem durante o espaço de um segundo descreveriam  $30 \frac{1}{6}$  pés de parisienses em completo desacordo com a experiência [17].

### **A mais emocionante demonstração dos *Principia***

Para uma melhor apreciação do significado dessa proposição, devemos ter em conta a estrutura geral dos *Principia*. Newton abre sua obra com um conjunto de definições e axiomas, onde aparecem as três leis de Newton, conforme denominação atual. Nenhuma referência é feita à força gravitacional nessa parte do livro. Em seguida, Newton dedica todo o Livro I ao “movimento dos corpos” tratados em uma abordagem estritamente matemática, sem consideração da natureza física das forças envolvidas. Este livro é mais um tratado de matemática, ou de física matemática, no sentido contemporâneo, que a apresentação de uma teoria física. O Livro II é inteiramente dedicado ao estudo de movimentos de

corpos em meios resistentes. Nos dois primeiros livros nenhuma referência é feita à força gravitacional. É no Livro III, intitulado “O sistema de mundo”, que devemos esperar a introdução da idéia de uma força gravitacional, sem a qual a mecânica newtoniana não teria como abordar nem o movimento dos corpos no sistema solar nem derivar o movimento de corpos próximos da superfície terrestre. Contudo, mesmo no Livro III, Newton não introduz de imediato a idéia de uma força gravitacional. Inicialmente, ele apresenta um conjunto de fenômenos astronômicos, mostrando que eles obedecem às leis de Kepler. Desse modo, Newton mostra que os satélites de Júpiter e de Saturno descrevem áreas proporcionais ao tempo de percurso e que seus períodos e distâncias orbitais estão em uma proporção similar à 3ª. Lei de Kepler (Fenômenos 1 e 2); mostra que os cinco planetas primários [Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno] giram em torno do Sol (Fenômeno 3); que os períodos dos cinco planetas primários, mais o período da Terra em torno do Sol, ou do Sol em torno da Terra, mantêm com as respectivas distâncias orbitais a relação identificada por Kepler, que hoje denominamos de 3ª Lei de Kepler (Fenômeno 4); que os cinco planetas primários só obedecem à lei das áreas de Kepler se tomarmos a distância dos planetas ao Sol e que o mesmo não ocorrerá se tomarmos as distâncias dos mesmos planetas à Terra [o que deve ser considerado um argumento favorável ao heliocentrismo] (Fenômeno 5); e, por fim, que a Lua varre áreas iguais em tempos iguais (Fenômeno 6). Como Newton havia demonstrado no Livro I, trajetórias que satisfazem relações como as Leis de Kepler devem ser causadas por uma força que varia com o inverso do quadrado da distância. Desse modo as proposições 1, 2, e 3 são dedicadas a mostrar que a força centrípeta sobre os satélites de Júpiter, sobre os planetas primários e sobre a Lua são todas proporcionais ao inverso do quadrado da distância ao centro de cada movimento.

Só então é que Newton introduz, na Proposição 4, a idéia de uma força

gravitacional, tal qual conhecemos hoje. Deve ser notado que, até Newton, a expressão “a Lua gravita na direção da Terra ...” era um *non-sense*, porque a palavra gravidade era usada exclusivamente com o significado de “peso terrestre” [4]. Newton busca associar dois resultados experimentais numéricos bem estabelecidos à época: a gravidade terrestre e a aceleração centrípeta da Lua. Esta identidade de efeitos (valores iguais para a aceleração) deve levar, conforme a Regra de Filosofar número 2, que Newton havia enunciado no início desse mesmo Livro III, a uma identidade de causas; logo, a força que acelera uma pedra na superfície da Terra é da mesma natureza da força que mantém a Lua em sua órbita. Não era ainda a idéia de uma gravitação “universal”, o que demandaria examinarmos as Proposições subsequentes, mas foi o passo mais significativo na estratégia newtoniana para a introdução dessa idéia.

Seria interessante refletirmos sobre as razões que teriam levado Newton a uma estratégia de persuasão tão cuidadosamente elaborada. Nossa opinião é que Newton tinha plena consciência dos obstáculos que enfrentaria para convencer seus contemporâneos da existência de uma ação à distância, como parecia ser a força gravitacional, e buscou minimizar essas resistências. Deve ser dito que tanto a idéia de uma força atrativa entre o Sol e os planetas quanto a idéia de uma explicação única para os movimentos celestes e terrestres já estavam postas antes de Newton [18]. Kepler havia sugerido a existência de uma força entre o Sol e os planetas, mas pensava em uma força de natureza magnética e pensava em uma força tangencial, de arrastamento, e não em uma força centrípeta. Descartes buscou uma explicação unificada para a física dos movimentos celestes e aquela dos movimentos terrestres, mas o fez através da idéia de um universo totalmente preenchido por uma substância, um éter, cujos vórtices seriam responsáveis tanto pela manutenção da Lua em sua órbita quanto pela queda de um objeto na superfície da Terra. A

explicação cartesiana, ainda que abrangente na sua capacidade de explicação, não fornecia, contudo, previsões quantitativas. A força preditiva da mecânica e da gravitação newtonianas são bem conhecidas e são as responsáveis pela aceitação dessa física, mas a gravitação newtoniana enfrentaria, como de fato enfrentou, um forte obstáculo de natureza epistemológica [19]. Este obstáculo relacionava-se à visão de mundo mecanicista, sustentada por Descartes, mas partilhada pela quase totalidade dos protagonistas da emergente ciência moderna. O mecanicismo implicava na adoção exclusiva de interações através do contato entre corpos, logo uma interação de vizinhança, de contigüidade, e rejeitava qualquer idéia de ações à distância porque esse tipo de explicação estava relacionado a explicações que o mecanicismo visava combater [20]. A gravitação newtoniana, como um tipo ação à distância, sem um meio que transmitisse a interação entre os corpos, poderia sugerir a adoção de um mesmo tipo de explicação combatida pelo mecanicismo. Newton aparentemente não tinha uma explicação satisfatória para a gravitação e adotou a estratégia de introduzi-la como uma consequência necessária dos fenômenos quando tratados matematicamente conforme os resultados que havia elaborado no Livro I. O pressentimento de Newton estava bem fundamentado, pois sua estratégia minimizou, mas não eliminou as resistências à gravitação mesmo entre cientistas como Huygens e Leibniz. A divisão entre newtonianos, principalmente britânicos, e cartesianos, sobretudo continentais, durou mais de meio século, de modo que uma larga aceitação da gravitação só se consolidaria quase na metade do século XVIII.

### ○ argumento original

Nessa seção apresentamos, em conformidade com o argumento original, como Newton calculou a aceleração de queda da Lua em sua órbita. Nos apoiaremos largamente em Densmore [4], obra notável para um ensino contextualizado da Física

newtoniana. Uma demonstração rigorosa escapa ao padrão de um curso de Ensino Médio, por envolver uma passagem ao limite que Newton havia demonstrado na Proposição 4, Corolário 9, do Livro I. Aqui apenas apresentaremos, sem o rigor necessário, o argumento newtoniano.

**Passo 1:** Newton calculou, sem o recurso à expressão algébrica da aceleração centrípeta, a distância que a Lua cairia na direção da Terra como sendo de 15 1/12 pés parisienses, no tempo de 1 minuto, caso, estando em sua órbita nas sizígias, fosse privada de todo o seu movimento tangencial. Para chegar a esse resultado, calculemos, inicialmente, qual distância a Lua viajará em órbita em 1 minuto.

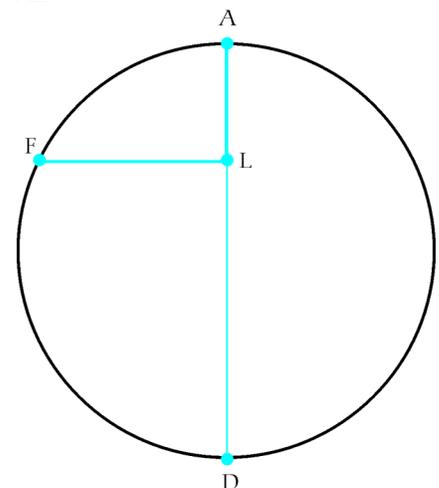
$$\frac{\text{distância de órbita cheia}}{\text{tempo de órbita cheia}} = \frac{\text{distância em um minuto}}{1 \text{ minuto}}$$

$$\frac{7394976000 \text{ pés}}{39343 \text{ minutos}} = \frac{x}{1 \text{ minuto}}$$

$$x = 187.961 \text{ pés de Paris.}$$

Considerando que o movimento da Lua em sua órbita resulta de uma composição entre seu movimento tangencial uniforme e um movimento radial acelerado e que, para tempos pequenos, a corda AF pode ser no limite identificada com o arco efetivamente percorrido pela Lua ( $AF = x$ ), podemos, por considerações geométricas, obter o resultado que buscamos.

Caso a Lua fosse libertada de um ponto da sua órbita e caísse para a Terra sob a mesma força que a mantém em órbita, viajaria uma distância, AL.



Como os triângulos AFL e AFD são semelhantes [21]

$$\frac{AL}{AF} = \frac{AF}{AD},$$

$$\frac{\text{distância que cairia AL}}{\text{distância que viajou na órbita AF}} = \frac{\text{distância na órbita AF}}{\text{diâmetro de órbita AD}}$$

Durante 1 minuto,

$$\frac{AL}{187961 \text{ pés parisienses}} = \frac{187961 \text{ pés parisienses}}{2353890000}$$

donde  $AL = 15,0089 \approx 15,01$  pés parisienses. A diferença entre o valor que obtivermos e aquele obtido por Newton - 15 1/12 pés parisienses - pode ser explicada porque ele também levou em conta o efeito da aceleração da Lua na direção do Sol.

**Passo 2:** Newton expressou a aceleração centrípeta da Lua calculando a distância que ela cairia em certo tempo, em direção à Terra, se perdesse subitamente sua velocidade tangencial. Ele afirmou que ela irá “na queda percorrer 15 1/12 pés parisienses no espaço de um minuto.” Chame-mos essa distância  $S_L$ . A esta altura, devemos observar que Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro I, que se uma força fosse capaz de gerar movimento circulares ou elípticos e se esses movimentos obedecessem à Terceira Lei de Kepler, então tal força deveria ser radial e proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência. Desse modo, Newton já havia demonstrado que a força centrípeta deveria ser proporcional ao inverso do quadrado da distância. Newton toma também forças ( $f$ ) proporcionais às acelerações ( $a$ ) e considera que para situações de aceleração constante, a exemplo de movimentos na superfície da Terra, a aceleração é proporcional à distância percorrida ( $S$ ) e inversamente proporcional ao tempo gasto no percurso ( $T$ ). Todas essas proporções reunidas levam a:

$$\frac{\text{força em órbita}}{\text{força na superfície da terra}} = \frac{(\text{raio da superfície})^2}{(\text{raio da órbita})^2}$$

$$\frac{f_o}{f_s} = \frac{r^2}{(60r)^2}$$

$$f_s = 60^2 f_o$$

$f \propto S/T^2$ , e  $f \propto 1/R^2$ , então,

$$\frac{S}{T^2} \propto \frac{1}{R^2} \quad (1)$$

$$S \propto \frac{T^2}{R^2} \quad (2)$$

Considere  $S_L$  como sendo a distância de queda da Lua à altura de sua órbita;  $S_T$  como sendo a distância de queda da lua à altura de um raio da Terra;  $T_L$  como sendo o tempo de queda da Lua à altura de sua órbita;  $T_T$  como sendo o tempo de queda da Lua à altura de um raio da Terra; e reescrevendo a Eq. 2 como uma proporção,

$$\frac{S_L}{S_T} = \frac{(T_L^2/R_L^2)}{(T_T^2/R_T^2)}$$

Reduzamos o tempo de 60 segundos à altura da órbita da Lua para 1 segundo à superfície da Terra, então:  $T_L = 60 T_T$ . Além disso, vamos reduzir a distância da órbita da Lua de 60 raios terrestres para 1 raio da terra, ou seja, na superfície da Terra:  $R_L = 60 R_T$

Substituindo na Eq. 2:

$$\frac{S_L}{S_T} = \frac{(60T_T)^2/(60R_T)^2}{T_T^2/R_T^2}$$

$$\frac{S_L}{S_T} = \frac{T_T^2/R_T^2}{T_T^2/R_T^2} = 1$$

Assim,  $S_L = S_T$ .

Então se você diminuir tempo e raio (antes de 60 raios terrestres), o número para  $S$  permanecerá o mesmo, quer dizer, em um segundo, a Lua deveria cair também 15 1/12 pés parisienses na superfície da Terra.

**Passo 3:** Qual a aceleração sofrida por uma pedra em queda livre na superfície da Terra? Devemos inicialmente nos perguntar por que Newton usou medidas de um pêndulo e uma equação de pêndulo para obter aceleração de uma pedra na superfície da Terra ao invés de simplesmente deixar cair uma pedra de uma sacada e medir o tempo de queda? No Século XVII não existiam equipamentos

suficientemente precisos para cronometrar a queda de uma pedra a fim de determinar a aceleração da gravidade. Galileu, quando determinou que os corpos caem com uma mesma aceleração percorrendo distâncias proporcionais ao quadrado dos tempos, recorreu ao expediente do plano inclinado para evidenciar esta proporção, mas o plano inclinado galileano não podia fornecer uma medida confiável do valor da aceleração da gravidade. Foi o estudo do pêndulo, pelas mãos do holandês Christian Huygens, que permitiu a primeira medida precisa dessa aceleração, razão pela qual Newton recorre ao pêndulo de Huygens e não aos trabalhos de Galileu para obter o valor dessa aceleração.

Huygens publicou, em 1673, a obra *Horologium Oscillatorium*, que permitiu o tratamento matemático preciso do problema do pêndulo. Ele também construiu relógios precisos em conformidade com aquele tratamento. Huygens ajustou o período de oscilação do pêndulo a uma medida independente do tempo (um tempo de passagem do Sol de dois segundos) e com a medida direta do comprimento do pêndulo, além dos teoremas que havia estabelecido, pôde, pela primeira vez na história, obter um valor confiável para a aceleração da gravidade.

Note, contudo, que Newton não cita a expressão algébrica para o período do pêndulo. Ele refere-se ao resultado obtido por Huygens afirmando que “a altura que um corpo pesado atravessa, ao cair durante o tempo de um segundo, está para a metade do comprimento desse pêndulo, assim como, na razão dupla, a circunferência do círculo está para seu diâmetro (como Huygens também tem apontado).” O resultado de Huygens pode então ser expresso como:

$$\frac{d}{L/2} = \frac{(2\pi r)^2}{(2r)^2} = \pi^2$$

$$d = \frac{L}{2} \pi^2$$

Para  $L = 3,059$  pés parisienses, temos:  $d = 15,0956$  pés parisienses. Esta distância de queda, na superfície da Terra, em um segundo, é uma

medida da aceleração da gravidade e deve ser comparada com aquela obtida para a aceleração centrípeta da Lua, na superfície da Terra, obtida por Newton, conforme o Passo 1, que vale 15 1/12 pés parisienses, o que expressa uma boa concordância, portanto, entre os dois valores. Com esse resultado, Newton atinge seu objetivo: tanto a força que atua na queda dos corpos na superfície da Terra quanto aquela que atua na Lua, como força centrípeta, são de mesma natureza.

A expressão hoje usual para o período do pêndulo pode ser obtida combinando diretamente a expressão anterior, obtida por Huygens, com a expressão da aceleração uniforme de um corpo na superfície da Terra, com atenção para o fato de que, quando Newton fala em “comprimento de um pêndulo oscilando em segundos”, devemos adotar um período, no sentido contemporâneo, para o pêndulo com o dobro desse valor, isto é:  $T = 2t$ . Logo,

$$d = \frac{L}{2} \pi^2 \text{ e } d = \frac{gt^2}{2}, \text{ com } t = \frac{T}{2},$$

levam a:

$$\frac{L}{2} \pi^2 = \frac{g \cdot \left(\frac{T}{2}\right)^2}{2} \rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

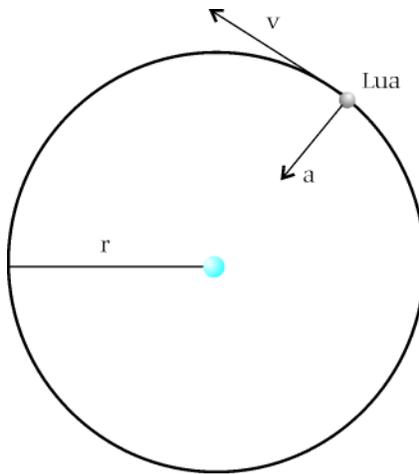
### Um argumento adequado ao Ensino Médio

Para uma apresentação mais simplificada – seguramente acessível ao ensino médio – do argumento newtoniano, introduzimos as seguintes simplificações: uso de notação moderna para a aceleração centrípeta e para o período de um pêndulo simples, expressões de uso corrente no Ensino Médio. Utilizamos também a notação contemporânea para a aceleração (comprimento pelo quadrado do tempo) e unidades do sistema MKS. Mesmo com essas simplificações, é nossa opinião que a apresentação guarda quase o mesmo fascínio que a apresentação original de Newton.

Vamos, inicialmente, fixar os valores das grandezas utilizadas por Newton convertendo-os para um sistema de unidades contemporâneo,

o MKS. Usaremos, para isso, as Tabelas 1 e 2.

**Passo 1:** Calcularemos a aceleração centrípeta da Lua à distância de sua órbita atual (60 raios terrestres nas sizíngias):



A Figura 2 acima representa a órbita da lua. Podemos calcular a velocidade ( $v$ ) com que a Lua gira em torno da Terra, como segue, sendo  $\Delta t$  o período de revolução da lua e  $C$  a órbita cheia da mesma.

$$v = \frac{C}{\Delta t}$$

Substituindo os valores com base na Tabela 2, temos:

$$v = \frac{24 \times 10^8 \text{ m}}{2.358.720 \text{ s}} = 1017,5 \text{ m/s}$$

Com o valor de  $v$ , calcularemos agora a aceleração centrípeta da Lua na altura de sua órbita ( $a_{co}$ ) pela relação abaixo. Observamos, contudo, que Newton, calculou essa aceleração usando considerações geométricas, que apresentamos na seção anterior, e não a expressão algébrica, hoje de uso corrente, para a aceleração centrípeta.

$$a_{co} = \frac{v^2}{r}$$

Fazendo os cálculos, temos:

$$a_{co} = \frac{(1017,5 \text{ m/s})^2}{3,82 \times 10^8 \text{ m}} = 2,7 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2.$$

O leitor deve ter notado que Newton, contudo, não expressou a aceleração centrípeta da Lua desse modo. Ele escreveu que ela “irá, na queda, percorrer 15 1/12 pés parisienses no espaço de um minuto.” O valor que

Tabela 1

|   |
|---|
| Distância média da Lua à Terra = raio da órbita da lua = 60 raios terrestres - R = 60 r |
| Período de revolução da Lua: P = 27 <sup>d</sup> 7 <sup>h</sup> 43' = 39343'            |
| Circunferência da Terra: c = 123 249 600 pés parisienses                                |
| Diâmetro da Terra: c = 2π r = π d   |
| d = c / π, logo, d = 123 249 600 / π, d = 39 231 500 pés parisienses                    |
| Circunf. da órbita da Lua: C = 2π R, R = 60 r, C = 2π (60 r) = 60 (2π r), C = 60 c      |
| C = 60 x 123 249 600  |
| C = 7 394 976 000 pés parisienses   |
| Diâmetro da órbita da Lua:  |
| D = 60 d = 60 x 39 231 500 pés parisienses, D = 2 353 890 000 pés parisienses           |

#### Conversões

Um pé parisiense = 0,3248 metros

12 “linhas” parisienses = 1 polegada parisiense

Tabela 2

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| Distância média da Lua à Terra = raio da órbita da lua (R): | (R = 60 r) = 3,82 x 10 <sup>8</sup> m |
| (Aproximadamente 60 raios terrestres):                      |                                       |
| Período de revolução da Lua (P):                            | P = 27,3 Dias = 2.358.720 s           |
| Circunferência da Terra (c):                                | c ≅ 4 x 10 <sup>7</sup> m             |
| Diâmetro da Terra (d):                                      | d = 12.740.000 m                      |
| Circunferência da órbita da Lua (C):                        | C = 24 x 10 <sup>8</sup> m            |
| Diâmetro da órbita da Lua (D):                              | D = 7,64 x 10 <sup>8</sup> m          |

obtivemos poderá ser expresso na terminologia newtoniana utilizando a expressão da distância percorrida por um corpo em aceleração uniforme a partir de repouso, expressão algébrica que não era, entretanto, utilizada no Século XVII, quando o um bom argumento matemático devia ser expresso na linguagem geométrica e das proporções. Cometendo, portanto, um anacronismo, em função da finalidade pedagógica, podemos traduzir na linguagem newtoniana o valor que obtivemos:

$$h = at^2/2 = 2,7 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2 \\ \times (60)^2/2 = 4,86 \text{ m}$$

Os 4,86 metros que obtivemos correspondem, convertidos, a 14,96 pés parisienses, valor em boa concordância com aquele obtido por Newton.

**Passo 2 – Primeira alternativa:** Agora vamos imaginar que a Lua caiu na direção da Terra. Como Newton já havia demonstrado, em proposições no Livro I, que uma força centrípeta capaz de gerar movimentos circulares ou elípticos, e cujos movimentos obedecem à Terceira Lei de Kepler, deve ser proporcional ao inverso do quadrado da distância ao centro da circunferência, ele pode afirmar que na superfície da Terra esta força sobre a Lua será  $60^2$  vezes maior que na órbita da Lua, uma vez que estamos assumindo a distância média da Lua à Terra ser de 60 raios terrestres. Adotando a proporcionalidade entre força e aceleração, chegamos à conclusão que a aceleração da Lua na superfície da Terra será igualmente  $60^2$  vezes mais intensa que a aceleração na órbita natural da Lua. Tendo em vista que  $a_{co} = 2,7 \times 10^3 \text{ m/s}^2$ , de acordo com os cálculos feitos no Passo

1, encontramos para a aceleração da Lua na superfície da Terra, um valor de  $a_{ct} \cong 9.72 \text{ m/s}^2$ . No Ensino Médio, vale a pena chamar a atenção dos estudantes para a familiaridade que temos hoje com esse valor pela sua proximidade da conhecida aceleração dos corpos em queda livre na superfície terrestre.

**Passo 2 – Segunda alternativa:** O cálculo feito conforme os recursos matemáticos usados por Newton é de tal simplicidade e elegância que pensamos que ele deveria ser apresentado aos nossos estudantes. Nesta etapa do nosso trabalho, com o objetivo de facilitar o entendimento, não seguiremos o raciocínio de Newton, que estava apoiado nos teoremas de Huygens, mas utilizaremos a relação direta do período de um pêndulo com o comprimento, relação esta que é parte integrante do conteúdo do Ensino Médio. Observamos, entretanto, que essa relação hoje tão familiar pôde ser deduzida facilmente dos teoremas de Huygens, como, aliás, já o fizemos.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Colocando a expressão em função de  $g$ , temos:

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$$

Convertendo os valores que Newton adotou de Huygens, temos que um pêndulo de comprimento  $L = 1,0$  metro tem um período  $T = 2$  segundos e fornece o seguinte valor para a aceleração da gravidade:

$$g = \frac{4\pi^2 \times 1,0^2}{2^2} = 9,78 \text{ m/s}^2$$

Este valor é aproximadamente o mesmo que encontramos para a Lua

no Passo 2 – Primeira alternativa. Isto é o que nós esperaríamos, se a força que segura a Lua em sua órbita é da mesma natureza daquela que faz uma pedra cair na superfície terrestre. Desse modo, Newton obtém uma expressiva evidência para seu argumento de que a força centrípeta que age sobre a Lua é de natureza gravitacional.

## Conclusões

A Proposição IV do Livro III dos “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, ou o argumento da “queda da Lua”, é um marco essencial na história da ciência, uma proposição crucial no desenvolvimento da idéia da gravitação universal e de nossa moderna cosmologia, como assinado por Densmore. Como vimos, ela pode, e deveria, ser introduzida nos cursos de Licenciatura em Física e no ensino de Física no Ensino Médio. Ao fazê-lo, estaremos ensinando um bom conteúdo de Física, de modo atrativo, e contextualizando-o nos marcos do conhecimento científico da época. Estaremos, também, introduzindo os estudantes em uma reflexão sobre a produção da própria Física, examinando, em particular, o papel dos experimentos de pensamento e o papel das estratégias de persuasão na construção do conhecimento científico. Usando as palavras de Matthews [6], estaremos ensinando tanto o conhecimento em ciência como sobre a ciência. Constatando a quase total ausência da apresentação dessa Proposição nos livros didáticos de Física, nos damos conta do quanto ainda pode ser feito para tornar o ensino de Física mais atrativo e mais significativo para os nossos estudantes.

## Referências

- [1] Blay, M. *Les “Principia” de Newton*, PUF, Paris (1995).
- [2] Butterfield, H. *The Origins of Modern Science*, Free Press, New York, [Revised edition], (1965).
- [3] Carolino, L.M. *A escrita celeste – Almanques astrológicos em Portugal nos Séculos XVII e XVIII*, Access Editora, Rio de Janeiro (2002).
- [4] Densmore, D. *Newton’s Principia: The Central Argument – Translation, Notes, and Expanded Proofs*, Translations and Diagrams by W.H. Donahue, Green Lion Press, Santa Fe, 2<sup>nd</sup> printing, (1996).
- [5] Holton, G.; James Rutherford, F. & Watson, E.G. *The Project Physics Course*, Holt, Rinehart and Winston, New York, (1970).
- [6] Matthews, M. *Science Teaching – The Role of History and Philosophy of Science*, Routledge, London & New York (1994).
- [7] Matthews, M. *Time for Science Education – How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy*, Kluwer, New York (2000).
- [8] Newton, I. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, The 3<sup>rd</sup> edition (1726) with variant readings, assembled and edited by A. Koyré & I. Bernard Cohen, Cambridge University Press, (1972).
- [9] Newton, I. *Mathematical Principles of Natural Philosophy*, Motte’s Translation – Revised by Cajori, 2 Vols., University of California Press, Berkeley, [1984].
- [10] Newton, I. *The Principia – Mathemati-*

cal *Principles of Natural Philosophy*, A new translation by I. Bernard Cohen & Anne Whitman, preceded by A Guide to Newton's Principia by I. Bernard Cohen, University of California Press, (1999).

- [11] Nussenzveig, M. *Curso de Física Básica – 1 – Mecânica*, 3ª ed., Editora Edgard Blucher, São Paulo, (1996).
- [12] Sonnevile, M. et Fauque, D. *La gravitation*, Centre National de Documentation Pédagogique, Paris, (1997).
- [13] Nussenzveig [11] e Holton [5] são, nesse sentido, exceções. Contudo, os dois livros apresentam a comparação entre a aceleração centrípeta da Lua e a aceleração da gravidade na superfície terrestre fazendo um caminho inverso ao do argumento original de Newton, isto é, eles partem da aceleração na superfície da Terra, reduzem esse valor em função da distância Terra – Lua, e comparam com a aceleração centrípeta da Lua. A ausência do experimento de pensamento da “queda da Lua” reduz, a nosso ver, parte da fascinação exercida por essa Proposição. Mesmo entre historiadores da ciência a expressão “queda da Lua” não é de uso generalizado; Blay [1] é dos poucos a utilizar esta expressão, que nos parece muito significativa tanto do ponto de vista histórico quanto pedagógico.
- [14] Em curso ministrado por um dos autores (Freire Jr.), no qual se explorou o livro de Matthews [7], a apresentação desse livro, dedicado às implicações históricas e filosóficas do estudo do movimento pendular, motivou um grupo de alunos a examinar nos detalhes Proposição IV, a qual é apresentada, no referido livro, nas páginas 188-191. O presente trabalho é o resul-

tado dessa atividade. Uma versão preliminar desse trabalho foi apresentada no XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba, 2003.

- [15] A tradução dessa frase encerra certa dificuldade. Newton [8] escreveu no original em latim “*Unam gravitare in terram; & vi gravitatis retrahi semper a motu rectilineo, & in orbe suo retraheri*”. A tradução inglesa de Motte-Cajori adotou “*That the moon gravitates towards the earth, ...*”. A clássica tradução francesa da Marquesa do Chastelet [1, 12] adotou “*La Lune gravite vers la Terre, ...*”. Para os leitores contemporâneos a expressão “Que a Lua gravita em torno da Terra” já implica na idéia de que a Lua circula em torno da Terra atraída pela força da gravidade. Até Newton, contudo, a expressão gravidade expressava apenas o peso dos corpos terrestres e não uma força atuando em escala astronômica sobre um corpo celeste. Uma tradução mais literal e mais precisa, porém redundante para o leitor contemporâneo, parece ser “Que a Lua gravita na direção da Terra” para enfatizar a idéia de que a força centrípeta é da mesma natureza do peso dos corpos terrestres.
- [16] Não conhecemos uma tradução portuguesa adequada para o termo “versed sine”, razão pela qual deixamos a expressão inglesa. A dificuldade está relacionada à própria história do conhecimento físico e matemático, pois, conforme assinalado por I. Bernard Cohen em Newton [10], “um termo com o qual os leitores de hoje podem não estar familiarizados é ‘versed sine’ [...] porque hoje nós pensamos nas funções trigonométricas em termos de ângulos, mas, na época de Newton, e mesmo no século XIX, estas funções eram concebidas e

definidas mais em termos de seus arcos que de seus ângulos correspondentes”. A expressão atual para o “versed sine” seria um menos o cosseno ( $1 - \cos \theta$ ).

- [17] Esta tradução teve por base Newton [9]. Após o texto aqui traduzido, Newton incluiu uma explicação sobre a premissa da Terra em repouso e um Escólio, que não traduzimos.
- [18] Para uma apresentação do contexto intelectual e científico no qual Newton formulou a idéia da força gravitacional, ver Butterfield [2].
- [19] Para descrições didáticas dos êxitos da mecânica newtoniana, bem como dos obstáculos por ela enfrentados, ver [5, 11].
- [20] Carolino [3] mostra que tanto os filósofos aristotélicos quanto astrôlogos medievais admitiam o “influxo” dos planetas como uma das formas de influência dos corpos celestes sobre a Terra. “Esta forma de influenciar considerava-se oculta, pois não havia meio de saber como, na realidade, tal se processava. Essa ação só se podia conceber por intermédio de seus efeitos. [...] E assim dizia-se, por exemplo, que o influxo da Lua provocava as marés”. O leitor pode perceber claramente que não seria implausível, para os contemporâneos de Newton, uma associação da gravitação com tais “influxos”; de onde todo o cuidado de Newton na construção de sua argumentação.
- [21] Da geometria temos que, o triângulo AFD é retângulo em F, visto que é inscrito na semi-circunferência, o triângulo AFL é retângulo em L, visto que AL é a projeção de AF na direção de AD, e o ângulo  $\hat{A}$  é comum. Logo por ângulo - ângulo - ângulo os triângulos AFD e AFL são semelhantes.

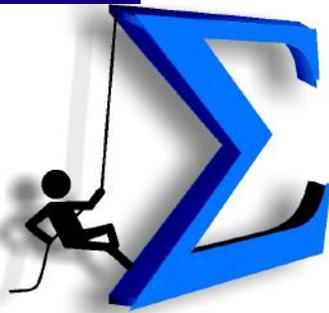


 Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) é organizado pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) e ocorre a cada dois anos. Neste ano será realizado no Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro (CEFET-RJ), na semana

de 24 a 28 de janeiro de 2005. O tema do encontro “O Ensino no Ano Mundial da Física” é fruto da coincidência histórica deste XVI SNEF com a determinação da UNESCO de comemorar em 2005 o ano mundial da Física (WYP 2005), uma vez que em 2005 completa-se 100 anos dos trabalhos de Einstein de 1905. No Brasil, as comemorações do ano mundial da Física estão sendo organizadas pela SBF, sob a coordenação do Prof. Dr. Ildeu de Castro Moreira. Em 2005, o primeiro evento do ano sob o patrocínio da SBF é o SNEF. Assim sendo o XVI SNEF iniciará, no Brasil, as comemorações das atividades relativas ao Ano Mundial da Física.

Convidamos professores, futuros professores e demais interessados, de todos os níveis de ensino, para debater questões relacionadas ao ensino e aprendizagem de Física neste “Ano Mundial da Física”; para apresentarem os resultados de suas experiências didáticas e de suas pesquisas realizadas no campo da investigação do ensino de Física e na formação de profissionais para atuarem nesse campo, quer como docentes ou como pesquisadores.

Para maiores informações sobre o SNEF, consulte a página da Sociedade Brasileira de Física em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/>.



# Problemas Olímpicos

Solução dos problemas da XIV Olimpíada Internacional de Física – Bucareste, Romenia (1988)

**1** Do gráfico vemos que a força tem magnitude de 10 N e está aplicada na direção de  $x$  positivos. No caso da partícula movendo-se na direção de  $x$  positivo, a força de atrito estará direcionada ao longo de  $x$  negativo. No caso oposto, a partícula deslocando-se na direção de  $x$  negativo a força de atrito apontará na direção de  $x$  positivo. Resulta para a descrição geral do movimento da partícula que  $|v|$  a magnitude da velocidade da partícula continua decrescendo enquanto vai se refletindo nas paredes até que sua velocidade final seja nula. A partícula estará completamente parada em  $x = 0$ .

Do problema,

$$f(x) = -\frac{dU(x)}{dx} = -10 \Rightarrow U(x) = 10x + c$$

Escolhendo  $U(x) = 0$  para  $x = 0$ ,  $\rightarrow U(x) = 10x$ .

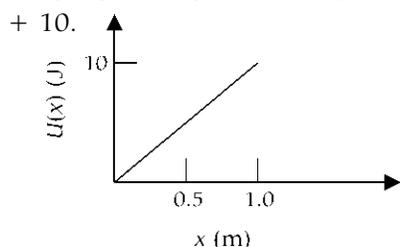
A energia perdida na forma de calor = energia potencial inicial + energia cinética inicial é

$$\bar{F} \cdot \bar{x} = 10x_0 + 10$$

Se  $s$  for a distância percorrida pela partícula até sua parada completa,

$$Fs = 10x_0 + 10$$

Substituindo  $F = 1 \text{ N} \rightarrow s = 10x_0 + 10$ .



## Soluções do Número Anterior

A aceleração da partícula será  $\vec{a} = \frac{1}{m} \left[ \vec{F} - \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \right]$ . O sinal de “-” na frente de  $\frac{\vec{v}}{|\vec{v}|}$  indica que o atrito sempre está na direção oposta da direção de  $v$ .

$$\vec{a} = \frac{1}{m} \left[ -10\hat{x} - \frac{\vec{v}}{|\vec{v}|} \right]$$

Da formula  $v^2 = v_0^2 + 2ax$ , sendo  $v$  a velocidade no tempo  $t$ ,  $v_0$  a velocidade inicial e  $x$  a distância da partícula medida a partir da origem, e

$$\frac{1}{2} mv_0^2 = 10 J$$

$$\frac{1}{2} mv^2 = 10 + \left[ -10 - \frac{\vec{v} \cdot \hat{x}}{|\vec{v}|} \right] x$$

Se  $v$  for positivo, então  $\frac{\vec{v} \cdot \hat{x}}{|\vec{v}|} = 1$  e

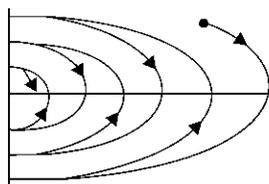
$$v^2 = \frac{1}{m} [20 - 11x] \quad (1)$$

Se  $v$  for negativo, então  $\frac{\vec{v} \cdot \hat{x}}{|\vec{v}|} = -1$  e

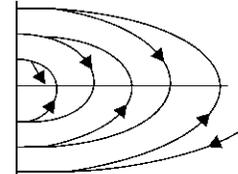
$$v^2 = \frac{1}{m} [20 - 9x] \quad (2)$$

Ou seja, se a partícula move-se se afastando da origem, a trajetória de  $v$  é uma parábola (Eq. 1), caso contrário a trajetória é dado pela Eq. (2).

A representação gráfica para um caso e para outro pode ser visto a seguir:



Partícula começa o movimento se afastando da origem



Partícula começa o movimento se aproximando da origem

**2** a) A condição para que o raio de luz de comprimento de onda  $\lambda_0$ , incidindo com qualquer ângulo em AB não seja refletido na superfície AC é

$$n_1 = n_2 \Rightarrow a_1 + b_1/\lambda_0^2 = a_2 + b_2/\lambda_0^2$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{b_1 - b_2}{a_2 - a_1}} = 500 \text{ nm} \quad \text{e também} \quad n_1 = n_2 = 1,5$$

Para a luz vermelha tendo um comprimento de onda de 500 nm os índices de refração  $n_1$  e  $n_2$  devem ser menores do que 1,5. De mesma forma para a luz azul tendo um comprimento de onda menor do que 600 nm, os índices de refração serão maiores do que 1,5.

A natureza da variação do índice de refração como função de  $\Delta\lambda$  ao redor de  $\lambda_0$  é:

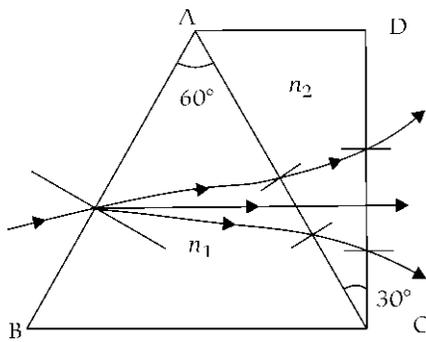
$$n_1 = a_1 + b_1/\lambda_1^2 \quad \text{e} \quad n_2 = a_2 + b_2/\lambda_2^2$$

Para a luz vermelha  $\lambda_{\text{vermelha}} > \lambda_0$ ,  $\Delta\lambda$  é positivo.

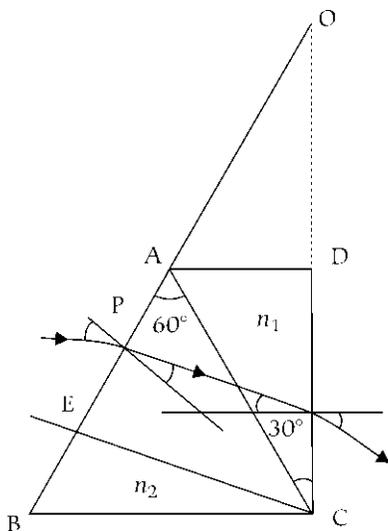
Para a luz azul  $\lambda_{\text{azul}} < \lambda_0$ ,  $\Delta\lambda$  é negativo.

Isto significa que o desvio da luz vermelha torna-se menor no primeiro prisma, mas aumenta no segundo, enquanto que o desvio da luz azul aumenta no primeiro prisma mas decresce no segundo.

b) A solução gráfica do problema é vista a seguir:



c) Para a luz de comprimento de onda  $\lambda_0$  os dois prismas podem ser considerados como um único prisma uniforme. Prolongando os lados AB e CD, os mesmos irão se interceptar em O (veja figura abaixo).



Da lei de refração,  
 $\text{sen } i = n_{\text{ar}} \text{ sen } r$

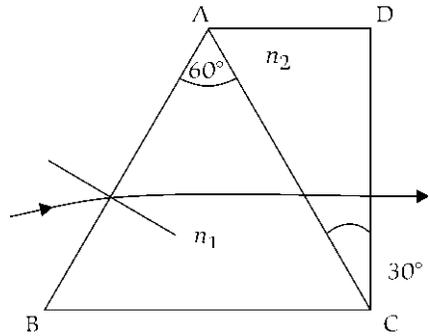
sendo  $i$  o ângulo de incidência no ar,  $r$  o ângulo de refração no prisma e  $n_{\text{ar}}$  o índice de refração relativo ao ar (luz viaja do ar para o prisma).

Da geometria,  
 $r = 90^\circ - 75^\circ = 15^\circ$

$\text{sen } i = 1.5 \text{ sen } 15 = 22^\circ 50'$ ,

$i - r = 6^\circ 10'$ , e portanto o ângulo de mínimo desvio será  $2(i - r) = 12^\circ 20'$ .

d) A partir da geometria do problema, o raio incidente na direção de  $30^\circ$  paralelo a BC terá um ângulo de incidência de  $30^\circ$  e o raio refratado sairá do prisma na lado CD normal a CD ( ângulo de refração no ar de  $90^\circ$ ).



A partir da lei de refração no lado AB resulta

$$\text{sen } 30 = n_1 \text{ sen } r$$

em AC,

$$\text{sen } (60 - r) = n_2 \text{ sen } 30$$

Resolvendo para  $n_1$  e  $n_2$  resulta em

$$n_2^2 + n_2 + (1 - 3n_1^2) = 0.$$

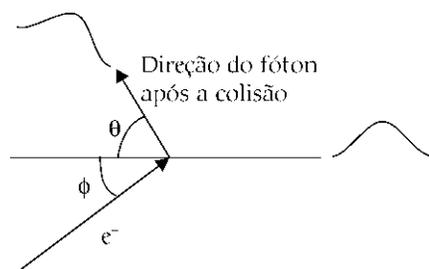
Substituindo os valores fornecidos pelo problema,

$$n_1 = 1,1 + 10^5/\lambda^2 \text{ e } n_2 = 1,3 + 0,5 \times 10^5/\lambda^2 \text{ resulta para } n_1 \text{ e } n_2$$

$$n_1^2 = 1,21 + 2,2 \times 10^5/\lambda^2 + 10^4/\lambda^4 \text{ e}$$

$$n_2^2 = 1,69 + 1,3 \times 10^5/\lambda^2 + 0,25 \times 10^4/\lambda^4 \text{ resolvendo as equações resultará } \lambda = 1,18 \mu\text{m}.$$

**3** A colisão entre fóton e elétron em movimento resultando em um elétron em repouso somente é possível se o choque for frontal, mas não necessariamente ao longo da mesma linha de movimento. Na figura, o elétron se move na direção fazendo um ângulo  $\phi$  com a direção inicial do fóton.



Após a colisão o fóton viaja fazendo um ângulo de  $60^\circ$  em relação a direção inicial. Do princípio de con-

servação de energia,

$$E + hv_0 = E_0 + hv_0' \quad (1)$$

sendo  $E$  a energia total  $mc^2$  do elétron em movimento antes da colisão,  $m$  sua massa relativística,  $v_0$  a frequência do fóton correspondente ao comprimento de onda  $\lambda_0$ ,  $v_0'$  a frequência do fóton após a colisão e correspondendo ao comprimento de onda  $\lambda_0'$ ,  $E_0 = m_0c^2$  a energia total do elétron no repouso.

Do princípio de conservação do *momentum*, aplicado ao longo da direção do movimento resulta em

$$\frac{h}{\lambda_0} \cos\theta + |p| \cos\phi = \frac{h}{\lambda_0'}$$

Normal a esta direção

$$\frac{h}{\lambda_0} \sin\theta = |p| \sin\phi,$$

sendo  $p$  o momento do elétron antes da colisão.

Lembrando que  $E^2 = m_0^2c^4 + p^2c^2$ , e manipulando as equações acima resulta que

$$\lambda_0 - \lambda_0' = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta).$$

Isto implica que na primeira colisão o elétron doa energia para o fóton.

A segunda colisão tem um processo similar ao da primeira colisão. A mudança no comprimento de onda do fóton pode ser imediatamente escrita como segue:

$$\lambda_0 - \lambda_0' = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\theta).$$

Adicionando estas duas últimas equações resulta em

$$\lambda_0 = \lambda_0'' = 1,25 \times 10^{-10}.$$

Substituindo os valores nas equações acima, resulta finalmente em

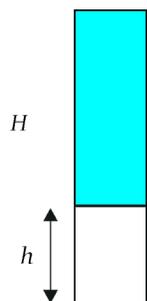
$$p = \frac{h}{1,24 \times 10^{-10}}, \text{ e como } \lambda = h/p,$$

o comprimento de onda de de Broglie do primeiro elétron será:

$$\lambda = 1,24 \times 10^{-10} \text{ m}$$

## Novos Problemas

**1** Uma pequena coluna de ar de altura  $h = 76$  cm é tampada por uma coluna de mercúrio através de um tubo vertical de altura  $H = 152$  cm. A pressão atmosférica é de  $10^5$  Pa e a temperatura é de  $T_0 = 17$  °C. Para qual temperatura  $T_1$  deve o ar do tubo ser aquecido para remover todo o mercúrio do tubo?

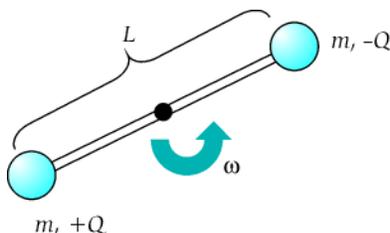


Quantum  
Março/Abril 1999

**2** Um dipolo elétrico é feito de duas partículas de mesma massa  $m$ . As partículas estão co-

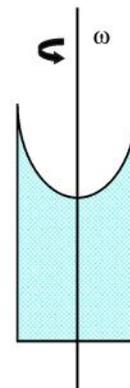
nectadas por uma barra rígida, sem peso, isolante de comprimento  $L$ . Cada partícula tem cargas elétricas  $+Q$  e  $-Q$ . Este dipolo está rodando com uma velocidade angular no plano horizontal ao redor do eixo que passa pelo centro do dipolo. Em algum instante, um campo magnético vertical  $\mathbf{B}$  é aplicado. Descreva o movimento de estado estacionário do dipolo.

Quantum  
Março/Abril 1999



**3** Ao aumentarmos a temperatura do ar, este se torna menos denso. A velocidade do som no ar aumenta com o aumento da temperatura. Explique este aparente paradoxo.

**4** Encontre a forma da superfície de um líquido, em um recipiente cilíndrico, que gira com velocidade angular constante em redor do eixo vertical.



## Navegando na WEB



<http://www1.fis.uc.pt/museu/index.htm>

Sítio do Departamento de Física da Universidade de Coimbra, Portugal. Além do museu virtual, podemos conhecer um pouco mais sobre nossos colegas portugueses.

<http://gaelgrossman.tripod.com/sof.html>

Um resumo e descrição de um curso de ciências da ficção científica. "Uma visão da ficção científica e alguma ciência por traz dela. Inclui uma pequena história da ficção científica e a ciência por traz dela bem como alguns dos maiores sub-ramos da ficção científica de modo a se poder ver o impacto nos vários campos da ciência".

<http://www.flinnsci.com/homepage/sindex.html>

Uma riqueza de materiais em laboratório e segurança química. Segurança em laboratórios de Química: artigos que auxiliam na segurança de armazenagem, uso, manipulação e dejetos dos laboratórios químicos. Informações que ajudam a criar as condições seguras de se montar um laboratório.

<http://www.tcaep.co.uk/science/index.html>

Neste sítio são fornecidos mais de 600 constantes físicas, e mais de 400 equações científicas, uma seção para as unidades no sistema internacional, conversões, tabela periódica

e muito mais.

<http://webbook.nist.gov>

O NIST Chemistry Webbook é um repositório extenso de dados físico-químicos. Entre eles existem mais de 7000 dados termoquímicos de compostos orgânicos e pequenos compostos inorgânicos, espectros de infravermelho, espectros de massa e dados termo físicos de vários fluidos.

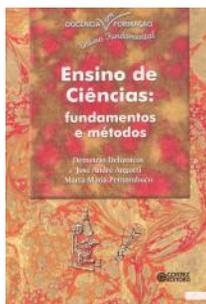
<http://www.exploratorium.edu/marsrover>

Em colaboração com o Laboratório de Propulsão da NASA, o Exploratorium vem mostrando ao vivo imagens da superfície de Marte.

# Resenhas

## Um guia para formação de professores de Ciências

**E**nsino de Ciências: Fundamentos e Métodos é um livro destinado aos docentes que atuam nos cursos de formação de professores de Ciências da Natureza, Física, Química, Biologia e afins, e aos que lecionam a disciplina de Ciências na Educação Fundamental. A sua consulta é recomendada também aos professores responsáveis pelas disciplinas de caráter pedagógico mais amplo, fornecendo-lhes informações sobre pesquisas no ensino de Ciências, além de realizar um trabalho articulado na melhoria da formação de professores nessa área. Uma de suas propostas se dá no sentido de desmistificar o conceito de que a Ciência é só para os cientistas. Assim, trabalha sobre a necessidade de elaboração de um conhecimento científico que se aproxime da produção contemporânea, levando em conta a sua relação com outras áreas do conhecimento, sua relevância social e sua produção histórica.



O livro está organizado em seis partes, cada uma dividida em dois capítulos. No primeiro, um texto elaborado tanto para alunos como para professores dos cursos de formação, trabalha os pontos fundamentais de eixos básicos para a formação e atuação docente. No segundo, são propostas, em itens, atividades que, articuladas ao texto, solicitam

trabalho compartilhado de professores e alunos, mediante distintas iniciativas. Nas suas seções, aspectos mencionados no texto são retomados para detalhamento, são sugeridas referências básicas para melhor desenvolvimento dos temas, são apresentadas situações típicas que possibilitam a discussão, o planejamento e aplicação das proposições, nos diversos ambientes onde se possa ensinar e aprender Ciências, buscando estimular a participação ativa e criativa dos envolvidos no enfrentamento de situações específicas e, por fim, apresenta listas de leituras complementares.

Os temas desenvolvidos nas seis partes são "Educação em Ciências e Prática Docente", "Ciência e Ciências na Escola", "Aluno, Conhecimentos Escolares e Não-Ecolares", "Abordagem de Temas em Sala de Aula", "Temas de Ensino e a Escola" e "Temas para Estudo e Bibliografia" que, apesar de estarem interligados, podem ser lidos independentemente, de acordo com alguma demanda específica, uma vez que cada tema aborda algum aspecto de uma concepção para o ensino de Ciências. Entretanto, é bom explicitar que o conjunto total oferece uma visão estruturada dessa concepção.

O livro é escrito na forma de hipertexto, criando vínculos, semelhantes à forma empregada na Internet, ou seja, quando os autores querem destacar ou comentar algum assunto em separado, abre-se um vínculo exatamente no local do texto onde o comentário se insere, que remete a uma nota impressa na margem da própria página. Essa forma

facilita a leitura, primeiro porque evita as maçantes notas ao final de cada capítulo ou as notas de rodapé numeradas e, segundo, porque trata-se da aplicação de uma forma cada vez mais em uso nos dias atuais.

Além do amplo espectro de referências bibliográficas (segundos capítulos de cada parte), o livro apresenta, ao longo dos textos, muitos endereços eletrônicos na Internet, ampliando as possibilidades de consultas. O único cuidado a se tomar aqui, é a "alta rotatividade" na renovação desse tipo de referenciamento. Por se tratar de uma forma fácil e econômica de divulgação, alguns endereços indicados podem já ter saído do ar, ou estarem desatualizados.

Para finalizar, os autores, cujas fichas curriculares sobre o assunto dispensam comentários, são pesquisadores e educadores empedernidos, com visões e propostas sempre atualizadas, atuando de forma responsável pela melhoria do ensino e, com esse livro, presenteiam-nos com uma leitura agradável porém densa em conceitos e proposições.

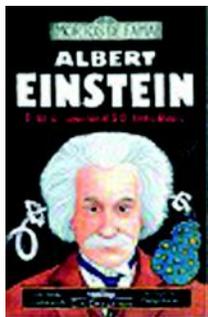
*Ensino de Ciências: Fundamentos e Métodos*, por Demétrio Delizoicov, José André Angotti e Marta Maria Pernambuco (Editora Cortez, 2002), 365 pp.

Carlos Alberto Olivieri  
Departamento de Física/UFSCar

## Introdução Elementar ao Universo de Einstein

Dois fatos aparentemente antagônicos chamaram a minha atenção quando recebi o livro pelo correio, presente do meu irmão que é médico, porém aficionado pelos textos de

divulgação científica que tratam das teorias cosmológicas, relatividade, etc...



O primeiro, foi quanto à forma na qual o livro é apresentado. Como ocorre com todos os livros que me caem nas mãos, antes de proceder à leitura, costumo dar uma folheada no mesmo. Ao fazer isso, deparei com ilustrações desenhadas à mão, no estilo de história em quadrinhos, que à primeira vista, levou-me a pensar que se tratava de apenas mais um livro escrito para crianças e que, portanto, faltaria muito com o rigor dos conceitos da Física. O segundo foi a constatação de que o mesmo fora publicado pela Companhia das Letras, editora conhecida e respeitada pela seriedade na escolha dos textos por ela editados. Assim, iniciei a leitura com um olhar bastante crítico e logo após as primeiras páginas a dúvida quanto ao rigor científico foi se desfazendo e, como detalharei em seguida, apesar de não usar basicamente nada das ferramentas da matemática, o livro é bastante rigoroso.

Na ficha de catalogação, o livro se classifica como um texto de literatura infanto-juvenil. Porém ele não só pode, como deve, ser lido e entendido também por indivíduos de outras faixas etárias, mesmo aqueles que não são físicos. Os únicos requisitos básicos para entendê-lo e, por conseguinte, se deliciar com a leitura, é ter curiosidade a respeito das leis da natureza, ter um mínimo de conhecimento das principais leis da Física e, principalmente, não ter medo de entender coisas que não fazem parte do cotidiano da maioria dos seres humanos, ou seja, coisas que não são intuitivamente assimiladas.

O livro trabalha concomitantemente dados biográficos de Albert Einstein, a quem o autor chama simplesmente de Beto, e as teorias por ele desenvolvidas, passando pelas Teorias Especial e Geral da Relatividade, com suas aplicações na Física das altas velocidades e nas teorias

cosmológicas, assunto atualmente recorrente em diversas revistas e jornais de divulgação científica.

A seqüência apresentada pelo autor segue a ordem cronológica dos fatos, de forma que são apresentadas não apenas as grandes descobertas do gênio, mas também os contextos histórico-políticos vigentes nas ocasiões em que elas se deram. Desta forma, os conflitos pessoais de Einstein são apresentados intercaladamente com as propostas e soluções dos grandes problemas da Física, bem como com as questões políticas mundiais. Einstein não apenas presenciou, mas, em diversas ocasiões foi protagonista nas duas grandes guerras mundiais do século XX, como também viveu nos Estados Unidos durante o período em que guerra fria com a União Soviética atingia o seu ápice.

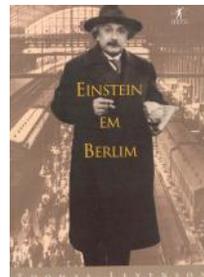
Permeando o texto principal, para tornar a leitura mais fácil e para evitar que o leitor se perca em explicações auxiliares, o autor utiliza-se de um artifício que consiste em criar caixas de textos que separam dados essenciais. Tais caixas de textos auxiliam na compreensão das idéias globais do livro. Para tanto, os assuntos de cunho pessoal do próprio Einstein são colocados em caixas com o título "Diário Perdido do Beto", enquanto os assuntos políticos são tratados nas caixas "Tribuna do Universo". Já para os assuntos científicos, cada caixa possui o seu próprio título.

Tudo isso torna o livro, que trata de assuntos extremamente complexos de uma forma lúdica porém rigorosa em relação aos conceitos científicos, numa leitura instrutiva e, sobretudo, agradável, de modo que podemos recomendá-lo como livro auxiliar para estudantes e professores desde o Ensino Médio até o ensino universitário, sem excluir a possibilidade de se indicar para indivíduos não diretamente relacionados com a escola formal.

*Albert Einstein e seu Universo Inflável*, por Mike Goldsmith (Série Mortos de Fama, Cia. das Letras, 2002), 192 pp.

Carlos Alberto Olivieri  
Departamento de Física/UFSCar

## Einstein, uma ave de arribação



Ave de arribação, penúltimo capítulo de *Einstein em Berlim*, livro recentemente publicado por Thomas Levenson, é uma síntese extraordinariamente apropriada de toda a vida desta genial personalidade. Do seu nascimento, em 1879, até sua morte, em 1955, Einstein jamais permaneceu mais do que 22 anos na mesma cidade. Este recorde pertence a Princeton, onde ele viveu os últimos anos da sua vida.

Mas, mais do que sua vocação para retirante, Einstein viveu em Berlim momentos extremos da sua vida. Da completa felicidade pelo desenvolvimento da relatividade geral e pela convivência em um ambiente científico de altíssimo nível intelectual, à dolorosa provação dos ataques antisemitas, com sérias possibilidades de assassinato. Entre um extremo e outro, registra-se o drama da sua vida conjugal. Na década de 1920 ele era o cientista mais festejado em qualquer lugar do mundo civilizado, como continua sendo até hoje. Não obstante, era submetido a enormes tensões emocionais. Uma singela demonstração desse estado de espírito encontra-se em uma carta não enviada, que ele escreveu para Max Planck no verão de 1931. Na página 452 de seu livro, Levenson fala dessa carta. Einstein refere-se à sua cidadania alemã, que ele aceitara retomar após a Primeira Guerra Mundial, mas "os acontecimentos dos últimos dias sugerem que não é aconselhável manter esta situação". Era um drama pessoal de grandes proporções; ele não desejava ter que abandonar um país e uma instituição que lhe proporcionaram "invejáveis condições de vida e de trabalho durante os melhores anos de minha vida". Alguns meses depois ele sucumbiu. Precisamente no dia 6 de dezembro de 1931, a bordo de um navio a caminho da Califórnia, ele escreveu em seu diário: "Resolvi hoje

que renunciarei essencialmente à minha posição em Berlim e serei uma ave de arribação pelo resto da vida”.

Mais uma vez Einstein balançava entre a razão e o coração. Protelou o quanto pôde a decisão assinalada no seu diário. Em fevereiro de 1932, enquanto visitava o Caltech, recebeu convite para trabalhar no recém-criado Instituto de Estudos Avançados de Princeton. O contrato previa a permanência de cinco meses por ano naquela bela instituição nos bosques de Nova Jersey. Mas em outubro ele ainda continuava reticente, pelo menos publicamente: “não estou abandonando a Alemanha. (...) Minha casa permanente continua sendo em Berlim”, declarou naquela oportunidade ao *The New York Times*. Em dezembro, partiu da Alemanha para nunca mais voltar. Na despedida da casa de campo em Caputh, olhou para sua mulher e disse [1]: “Olhe bem para nossa *villa*.” “Por que?”, perguntou Elsa. “Você nunca mais vai vê-la.” É impossível estimar a amargura daquelas palavras.

De concreto, aquela cena encerrava um período de 18 anos, ao longo dos quais ele fora ligado pelos mais fortes laços científicos e humanos, embora nem sempre em paz de espírito. A ida da família Einstein para Berlim, em abril de 1914, marcou o colapso final do seu casamento com Mileva Maric, uma situação antecipada quando, em 2 de dezembro de 1913, Einstein escreveu para Elsa, sua prima, que viria a ser sua mulher pelo resto da vida: “Trato minha mulher como uma empregada que não posso demitir.”

A chegada a Berlim e a proximidade de Elsa tornou a convivência cada vez mais insuportável. Como disse Levenson na página 37, “A atitude de Einstein em relação à esposa passou de um afeto aparentemente distante a uma atitude de frieza e surpreendente brutalidade”. Em 18 de julho de 1914 ele estabelecia as condições para continuarem juntos: “ela deveria desistir de ter relacionamento pessoal com ele, a menos que as circunstâncias externas exigissem que mantivessem as aparências. Deveria comprometer-se a manter arrumado

seu estúdio, lavar suas roupas e providenciar três refeições por dia no quarto dele. Não viajariam juntos. (...) Parar imediatamente de falar com ele quando ele mandasse, e sair do seu estúdio ou do quarto de dormir imediatamente, sem protestar, se eu assim determinar”. Resignadamente, Mileva disse aceitar até mesmo essas condições, mas Einstein deu a entender que não acreditava nela. Em 29 de julho, Mileva retorna para Zurique, acompanhada dos dois filhos, Hans Albert (10 anos) e Eduard (4 anos). Foi uma despedida dramática. Einstein acompanhou Mileva e os filhos até à estação ferroviária; no retorno para casa não conteve as lágrimas [2].

O que parece ser mais notável na biografia de Einstein é sua capacidade de superar essas tragédias da vida. Não bastassem as sucessivas falências do seu pai, os problemas enfrentados com professores medíocres, e por causa deles a falta de emprego no início da sua carreira, Einstein enfrentou severas campanhas anti-semitas e enredou-se nesses problemas conjugais insuperáveis para espíritos mais fracos. Só um gênio seria capaz de produzir o que ele produziu tendo a vida que ele teve. E não foi pouco. Pelo contrário, foi muito, e em muito pouco tempo.

O prólogo da obra de Levenson tem título, “A adoração”, e já na primeira frase ele dimensiona a estatura intelectual de Einstein: “Tudo começa com uma história bem conhecida, a dos reis magos”. A simbologia dispensa comentários, sobretudo depois de ler a seqüência do capítulo:

“No verão de 1913, dois homens chegaram a Zurique, vindos do nordeste, trazendo presentes. Ambos eram reis na esfera de suas profissões. Um deles, Walther Nernst, baixote, rubicundo, divertido e pensativo, era brilhante pesquisador em Química. O outro, alto e esguio, de óculos e bigode bem aparado, maneiras elegantes e exatas, era Max Planck, inventor da teoria quântica e o físico mais admirado da Alemanha.”

“Vinham de Berlim, a capital do *kaiser*, cidade progressista, centro do mundo da ciência teórica. (...) Planck e Nernst vieram como suplicantes, viajando de trem para trazer seu tributo. Vinham adorar um homem de 34 anos, de origem obscura, cujo trabalho havia explodido no mundo da Física como uma revelação.”

Albert Einstein, o objeto da adoração, não tinha mais do que oito anos de carreira como físico. Em 1905 era um simples avaliador de patentes em Berna. Não tinha sequer o diploma de doutor, mas publicou cinco trabalhos que revolucionaram a Física,

**Entre 1901 e 1913 Einstein já tinha publicado mais de 50 artigos, e já tinha sido indicado para o Prêmio Nobel de 1910, de 1912 e de 1913**

todos eles na prestigiosa revista alemã *Annalen der Physik* (AdP). Na verdade, já havia publicado outros cinco trabalhos na AdP, entre 1901 e 1904, mas,

comparados àqueles de 1905, os primeiros trabalhos eram claramente de menor valor científico. Um dos trabalhos de 1905 lhe valeu a tese de doutorado na Universidade de Zurique. Outro, sobre o efeito fotoelétrico, lhe valeria o Prêmio Nobel de 1921. Um terceiro tratava da teoria da relatividade restrita. No último trabalho de 1905 ele deduz sua famosa equação  $E = mc^2$ .

O primeiro emprego universitário é obtido em 1909; em maio ele assume o cargo de professor extraordinário de Física Teórica na Universidade de Zurique. Já no mês de julho ele recebe o título de *doutor honoris causa* da Universidade de Genebra. Em setembro é o convidado de honra do encontro anual da Sociedade Alemã de Ciências Naturais e Artes. Em 1911 é nomeado professor catedrático na Universidade de Praga. Em 1912 volta para a ETH, agora como renomado cientista, não como o aluno desprezado pelos seus ex-professores.

Entre 1901 e 1913 Einstein já tinha publicado mais de 50 artigos, e já tinha sido indicado para o Prêmio Nobel de 1910, de 1912 e de 1913. Era esta máquina de produzir Ciência que os “reis magos” Planck e Nernst estavam tentando levar para Berlim. A “oferenda” não era pequena: seria

o mais jovem membro da Academia Prussiana de Ciências, teria um cargo de professor na Universidade de Berlim, sem obrigações docentes e direito de fazer conferências à sua vontade, e seria nomeado diretor do seu próprio instituto de Física, a ser em breve organizado sob a égide dos Institutos Kaiser Wilhelm.

Era uma proposta irrecusável, mas Einstein pediu uma noite para pensar. Naquela noite do verão suíço de 1913, “dois homens, reis magos modernos, aguardaram a decisão do jovem príncipe”, que ao final lhes seria favorável.

Menos de uma década depois o príncipe descobriu que havia muita sujeira no reino da Física alemã. O espinhento caminho foi sendo forjado pelo anti-semitismo. Não apenas pelos ignorantes, mas também pelos membros das camadas esclarecidas, sobretudo alguns dos seus pares, como os ganhadores de Prêmio Nobel

Johannes Stark e Philipp Lenard. O primeiro ataque direto contra Einstein foi patrocinado pelo Grupo de Trabalho de Cientistas Alemães para a Preservação da Ciência Pura, numa reunião pública, realizada em agosto de 1920. Os ataques seguiram-se continuamente, até a definitiva partida de Einstein para os EUA.

Além da extraordinária descrição do contexto político alemão nos anos que antecederam a Segunda Guerra Mundial, Levenson discute conceitos físicos com razoável precisão. Por exemplo, é maravilhosa a apresentação da idéia de simultaneidade. Todavia, há pequenos equívocos, como quando trata do modelo de Bohr, na página 312. Também não apresenta referências para a colaboração entre Einstein e Wander Johannes de Haas, discutida na página 127. Trata-se de um estudo sobre magnetismo, cujos resultados Einstein publicou em dois trabalhos de 1915. Há um equívoco

quando fala da viagem de Einstein à América do Sul, em 1925. Ao contrário do que ele diz, Elsa não acompanhou o marido nessa viagem.

De forma geral, a menos desses pequenos deslizes, o livro de Levenson é maravilhoso, e pode ser colocado ao lado das melhores biografias de Einstein.

*Einstein em Berlim*, por T. Levenson (Objetiva, Rio de Janeiro, 2003).

Carlos Alberto dos Santos  
Instituto de Física – UFRGS

## Notas

- [1] Levenson relata parcialmente o diálogo, cuja versão completa encontra-se em P. Frank, *Einstein: his life and times*. (Da Capo, New York, 1947), p. 226.
- [2] Esta informação não está contida no livro de Levenson. Ela foi dada a Abraham Pais por Helen Dukas, secretária de Einstein a partir de 1928. Veja A. Pais, *Einstein lived here* (Clarendon Press, Oxford, 1994), p. 18.



## O tubo de Venturi

### Objetivo

Ilustrar o fenômeno de Venturi.

### Material

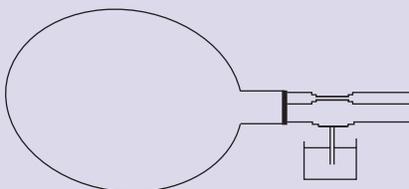
- tubo de PVC (20 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento)
- canudo fino (com 10 cm de comprimento)
- balão de aniversário
- vasilhame com água
- cola instantânea
- alicate universal
- chave de fenda fina
- luva térmica
- fonte de calor

### Procedimento

Ponha a luva e coloque o meio do tubo sobre a fonte de calor, girando-o até amolecer. Em seguida, pegue rapidamente o alicate e es-

trangule a parte amolecida. Assim que ficar rígida, faça um pequeno furo, usando a chave de fenda, no lugar indicado na figura e insira, aproximadamente, 1 cm do comprimento do canudo pelo furo. Cole o canudo “nas paredes” do furo e vede o local.

Prenda a “boca” do balão numa extremidade do tubo e comece a enchê-lo pela outra, mantendo a ponta do canudo fechada. Quando o balão estiver bem cheio, aperte seu “pescoço”, para bloquear a saída do ar, e libere a ponta do canudo. Coloque o canudo dentro d’ água e depois solte o “pescoço” do balão.



### Observe que...

A água é aspirada.

### Explicação

O fenômeno de Venturi mostra que o escoamento de um fluido no interior de um tubo horizontal de seção transversal variável, nos pontos de estrangulamento, onde a velocidade de escoamento do fluido aumenta, a pressão diminui. Sendo assim, o ar, ao mover-se na região estrangulada do tubo, ganha velocidade e perde pressão. A pressão externa, maior, faz com que a água suba pelo canudo.

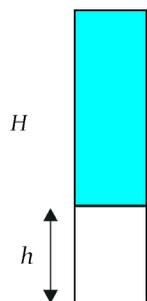
### Tópicos de discussão

- Fenômeno de Venturi
- Lei de Bernoulli

Fábio Luís Alves Pena  
Instituto de Física UFBA  
flpena@bol.com.br

## Novos Problemas

**1** Uma pequena coluna de ar de altura  $h = 76$  cm é tampada por uma coluna de mercúrio através de um tubo vertical de altura  $H = 152$  cm. A pressão atmosférica é de  $10^5$  Pa e a temperatura é de  $T_0 = 17$  °C. Para qual temperatura  $T_1$  deve o ar do tubo ser aquecido para remover todo o mercúrio do tubo?

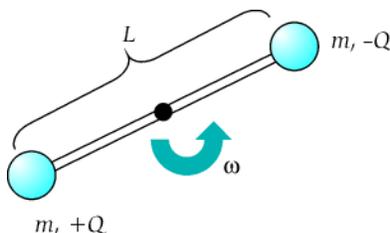


Quantum  
Março/Abril 1999

**2** Um dipolo elétrico é feito de duas partículas de mesma massa  $m$ . As partículas estão co-

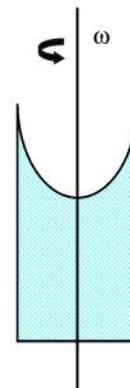
nectadas por uma barra rígida, sem peso, isolante de comprimento  $L$ . Cada partícula tem cargas elétricas  $+Q$  e  $-Q$ . Este dipolo está rodando com uma velocidade angular no plano horizontal ao redor do eixo que passa pelo centro do dipolo. Em algum instante, um campo magnético vertical  $\mathbf{B}$  é aplicado. Descreva o movimento de estado estacionário do dipolo.

Quantum  
Março/Abril 1999



**3** Ao aumentarmos a temperatura do ar, este se torna menos denso. A velocidade do som no ar aumenta com o aumento da temperatura. Explique este aparente paradoxo.

**4** Encontre a forma da superfície de um líquido, em um recipiente cilíndrico, que gira com velocidade angular constante em redor do eixo vertical.



## Navegando na WEB



<http://www1.fis.uc.pt/museu/index.htm>

Sítio do Departamento de Física da Universidade de Coimbra, Portugal. Além do museu virtual, podemos conhecer um pouco mais sobre nossos colegas portugueses.

<http://gaelgrossman.tripod.com/sof.html>

Um resumo e descrição de um curso de ciências da ficção científica. "Uma visão da ficção científica e alguma ciência por traz dela. Inclui uma pequena história da ficção científica e a ciência por traz dela bem como alguns dos maiores sub-ramos da ficção científica de modo a se poder ver o impacto nos vários campos da ciência".

<http://www.flinnsci.com/homepage/sindex.html>

Uma riqueza de materiais em laboratório e segurança química. Segurança em laboratórios de Química: artigos que auxiliam na segurança de armazenagem, uso, manipulação e dejetos dos laboratórios químicos. Informações que ajudam a criar as condições seguras de se montar um laboratório.

<http://www.tcaep.co.uk/science/index.html>

Neste sítio são fornecidos mais de 600 constantes físicas, e mais de 400 equações científicas, uma seção para as unidades no sistema internacional, conversões, tabela periódica

e muito mais.

<http://webbook.nist.gov>

O NIST Chemistry Webbook é um repositório extenso de dados físico-químicos. Entre eles existem mais de 7000 dados termoquímicos de compostos orgânicos e pequenos compostos inorgânicos, espectros de infravermelho, espectros de massa e dados termo físicos de vários fluidos.

<http://www.exploratorium.edu/marsrover>

Em colaboração com o Laboratório de Propulsão da NASA, o Exploratorium vem mostrando ao vivo imagens da superfície de Marte.