

## Carta do Editor

**T**emos ainda recebido várias manifestações – diretas, por e-mails, através de terceiros – de entusiasmo e incentivo pelo lançamento da *FnE* que nos envaidecem e constituem forte estímulo ao prosseguimento da nossa empreitada. Um fato auspicioso é que já existe uma demanda espontânea de contribuições que estão sendo analisadas pelo Conselho Editorial e colaboradores no processo usual de revisão por pares.

No entanto, sentimos-nos frustrados pela, até agora, pouca participação dos leitores na condução da linha editorial da revista. Comprometemo-nos a editar uma revista de ensino, voltada para os níveis fundamental e médio, com participação efetiva do público interessado que nos guiaria no sentido de alcançar um alto padrão de qualidade no conteúdo e no atendimento das expectativas do professor, procurando suprir as dificuldades inerentes ao exercício do magistério – baixa carga didática da disciplina, falta de infra-estrutura laboratorial, mudança nos currículos – e buscando contribuir para tornar o ensino de física criativo, estimulante e interdisciplinar. Infelizmente, não temos recebido comentários e críticas acerca da adequação das seções, do conteúdo das notas e artigos publicados e de sua utilização em salas de aula e laboratórios ou como referência no planejamento e preparação delas. Gostaríamos de saber se o material tem sido alvo de discussões entre os colegas ou

apresentado aos alunos para leitura adicional. Os desafios propostos têm sido utilizados pelos professores-treinadores na preparação de equipes para as Olimpíadas? Qual a avaliação acerca do nível de conhecimento exigido na solução dos problemas? As experiências propostas no “Faça você mesmo” colaboraram de algum modo na prática docente? Quantos leitores visitaram os *sites* sugeridos no “Navegando na WEB”?

Um dos objetivos primordiais da *FnE* é fornecer material para-didático para auxiliar o professor em sala de aula. Por exemplo, o artigo sobre como ensinar um tema moderno como partículas elementares e interações da natureza, por Fernanda Ostermann e Cláudio Cavalcanti, foi empregado como referência em pelo menos um programa de treinamento e atualização do Pró-Ciências. Neste número, Alexandre Medeiros apresenta uma ‘entrevista’ com Tycho Brahe que pode ilustrar em sala de aula, como uma leitura de peça teatral, aspectos históricos da Astronomia a serem complementados pelos trabalhos de Kepler e Newton sobre a gravitação universal. Seria interessante conhecermos “relatos de sala de aula” acerca da utilização destes textos, bem como de todos os demais.

Um outro assunto interessante cujas contribuições gostaríamos de publicar refere-se à análise e revisão pós-uso de livros de textos, para-didáticos, *softwares* educacionais, *kits* de

laboratórios, etc.

Soubemos que apareceram críticas à *FnE* durante o último Simpósio de Ensino de Física em Natal procedentes de especialistas na área. É necessário que as críticas construtivas, sugestões e propostas alternativas cheguem ao Conselho Editorial e sejam debatidas em busca de um entendimento e consenso.

Uma das dificuldades que temos enfrentado é a incipiente divulgação da *FnE* junto à comunidade de professores e escolas do ensino médio. O projeto patrocinado pela SBF das Olimpíadas Brasileiras de Física tem contemplado este aspecto junto às escolas participantes, mas a resposta é ainda relativamente insuficiente para que a *FnE* atinja a maioria das escolas do país. Estamos procurando apoio junto às Secretarias de Educação dos estados para viabilizar convênios e disponibilizar a *FnE* nas escolas e bibliotecas públicas.

Enfim, conclamamos todos os leitores a participar mais efetivamente no processo de construção e consolidação da *FnE*. Em tempo: não há ‘Cartas dos Leitores’ nesta edição.

*Nelson Stuardant*



# Os Fundamentos da Luz

# Laser

Vanderlei S. Bagnato

Instituto de Física de São Carlos  
Universidade de São Paulo  
C.P. 369, CEP 13560-970  
São Carlos - SP

## Introdução

**A** óptica é um campo dentro da física que lida não somente com a propagação da luz mas também com a produção da luz e, principalmente, com seus mecanismos de interação com a matéria. É difícil imaginar um campo da ciência onde a óptica não esteja presente. Para citar alguns exemplos, temos a **astronomia convencional**, que só existe devido ao fato dos corpos celestes emitirem luz ou refletirem a luz de outros, e que usa instrumentos ópticos para observações. A **engenharia** utiliza vastamente a óptica, seja por meio de instrumentos analíticos ou mesmo nas linhas de produção e controle de qualidade. Nas áreas ligadas à saúde, a óptica tem estado presente de forma bastante marcante.

A grande aplicabilidade da óptica hoje em dia deve-se, bastante, à existência do raio laser. Funcionando como fonte de luz de características únicas, o laser possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico. Neste artigo queremos explicar como o laser funciona e como ele está conectado com as características básicas da matéria. De fato, antes da invenção do laser, a óptica se preocupava bastante com o desenvolvimento de ferramentas que possibilitassem produzir feixes de luz concentrados e que se propagassem por longas distâncias sem se dispersarem. Como veremos, o laser trouxe à óptica

tudo isto e muito mais.

## Conceitos Básicos para Entendermos o Laser: A Atomística

Para que seja possível entendermos o funcionamento do laser, é necessário antes esclarecermos alguns pontos fundamentais, tais como a estrutura atômica e a origem e propagação da luz. Depois disto, estaremos prontos

para entender a física do raio laser.

A idéia do átomo não é nova. Os sábios antigos consideravam a idéia de uma porção fundamental de matéria. Imagine se tomarmos um bloco de

**Funcionando como fonte de luz de características únicas (monocromaticidade, coerência e outras), o laser possui propriedades especiais que o tornam um excelente instrumento de uso científico e tecnológico**

pedra e nele dermos uma martelada, de modo que se divida em muitos fragmentos. Tomamos agora o menor dos fragmentos e prosseguimos da mesma maneira. Chegaremos então em uma porção de rocha que não mais pode ser dividida, sem perder as propriedades básicas do material. Essa porção, os antigos chamavam de átomo.

Em torno de 1808, o cientista inglês John Dalton deu um caráter científico à idéia do átomo. As idéias de Dalton a respeito do átomo são bastante exploradas nos cursos de química e física das escolas de primeiro e segundo graus e são bastante conhecidas. Para reuní-las de forma breve, podemos dizer que “todo átomo é uma minúscula partícula material, indestrutível, mantendo massa e dimensão inalteradas; os átomos podem combinar-se produzindo diferentes espécies de matéria”.

A ficção científica dos anos 60 explorou a arma de raios laser à exaustão. Hoje, o laser tem uma gama de aplicações que ainda está para ser completamente explorada; quando menos se espera, alguém aparece com uma nova utilidade para essa luz, que os mais desavisados chamariam de ‘miraculosa’. Antes de discutirmos suas aplicações, vamos conhecer neste artigo os fundamentos do laser.

O conceito atual de átomo está bastante longe da idéia de Dalton, que via o átomo como uma esfera rígida. Essa definição se enquadra muito bem em determinadas situações, mas tal modelo já não responde corretamente à maioria das perguntas relativas a fenômenos que ocorrem na natureza.

Mais tarde, o inglês Ernest Rutherford apresentou um novo modelo para o átomo. As experiências de Rutherford podem ser encontradas em vários livros básicos de química e de física, e deixamos para o leitor a tarefa de se aprofundar nesse assunto. As proposições de Rutherford foram as seguintes: “O átomo deve ser constituído de uma parte central, que foi denominada núcleo. Esse caroço central apresenta uma carga elétrica positiva. O tamanho desse núcleo seria bastante pequeno em relação ao tamanho do átomo (de 10.000 a 100.000 vezes maior)”. Isto quer dizer que, se o núcleo tivesse 1 m de diâmetro, o átomo teria 10 km. Fazemos então a seguinte pergunta: se o átomo apresenta um núcleo bastante positivo, como então a matéria é neutra? Rutherford respondeu a essa pergunta admitindo que a carga nuclear é equilibrada por partículas de carga negativa, denominadas elétrons. Mas, se esses elétrons estivessem parados, eles seriam atraídos para o núcleo. Foi então proposto um equilíbrio dinâmico para os elétrons: “Os elétrons giram ao redor do núcleo em trajetórias circulares”. O esquema apresentado na Figura 1 ajuda a compreender as idéias de Rutherford.

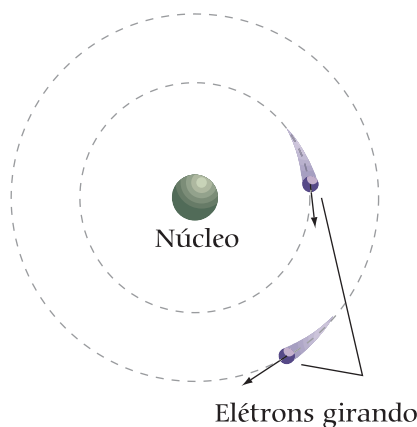


Figura 1. Modelo de Rutherford para o átomo.

Existe no modelo de Rutherford uma contradição. Como explica a teoria da eletricidade e do magnetismo, uma carga elétrica em movimento acelerado emite energia. Assim, como os elétrons estão se movendo em torno do núcleo, eles deveriam emitir energia constantemente. Para compensar a diminuição de sua energia, o raio de sua trajetória diminuiria. Isto significa que os elétrons descreveriam uma trajetória em espiral e, ao término sua energia, chocariam-se com o núcleo. Isso evidentemente é um absurdo, pois, se assim fosse, a matéria se colapsaria rapidamente e átomos não existiriam.

A justificativa para a energia dos elétrons foi dada pelo físico dinamarquês Niels Bohr, que utilizou as idéias básicas de outro físico, Planck. As proposições feitas por Bohr são conhecidas como seus postulados, fornecidos a seguir:

a) Os elétrons giram ao redor do núcleo em trajetórias circulares bem definidas e nesse movimento de rotação não há emissão de energia pelos elétrons.

b) Quando, de alguma maneira, o elétron passa de uma órbita para outra, ocorre emissão ou absorção de certa quantidade de energia determinada pela expressão

$$\Delta E = h \cdot f$$

onde  $h$  é uma constante conhecida como constante de Planck, e  $f$  a frequência da radiação (essa frequência ficará mais clara quando virmos ondas magnéticas mais adiante).

A quantidade de energia absorvida ou emitida pelo elétron nas suas transições de órbitas é denominada “fóton”. A Figura 2 mostra de forma ilustrada o explicado acima.

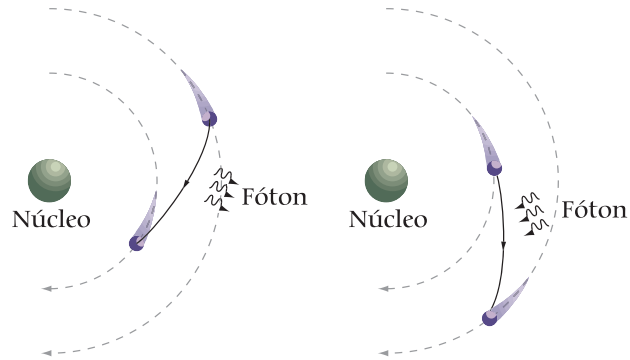


Figura 2. Processos de absorção e emissão de fótons nas transições de órbitas.

**O tamanho do núcleo atômico é pequeno em relação ao tamanho do átomo (de 10.000 a 100.000 vezes maior)”. Isso quer dizer que, se o núcleo tivesse 1 m de diâmetro, o átomo teria 10 km!**

absorve um fóton de energia. A essa mudança de órbita, ou salto, chamamos transição eletrônica.

Evidentemente, essas idéias de Bohr não surgiram em um

estalo de genialidade, mas foram baseadas em uma série de fatos experimentais da época. Esses resultados experimentais eram os espectros de emissão de certos gases, principalmente do gás hidrogênio.

Podemos começar ilustrando o que vem a ser o espectro de emissão por meio da montagem mostrada na Figura 3.

A luz branca contém todas as cores. Ao passar pelo prisma ocorre uma decomposição, que separa a luz branca em suas diversas componentes. Essas várias cores, projetadas em um anteparo, diferenciam-se pelos seus chamados comprimentos de onda, ou frequências. Como, nesse caso,

Podemos começar ilustrando o que vem a ser o espectro de emissão por meio da montagem mostrada na Figura 3.

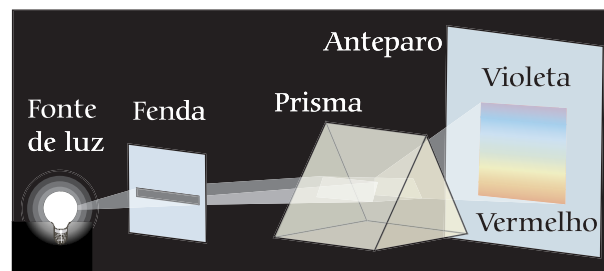


Figura 3. Espectro de emissão de uma lâmpada de luz branca.

as cores vão passando de uma a outra continuamente, temos o chamado espectro contínuo.

Se, em vez da lâmpada no esquema da Figura 3, for colocada uma ampola de vidro contendo gás hidrogênio a baixa pressão, como mostra a Figura 4, o espectro que aparece no anteparo é de linhas claras e espaçadas, como mostra a Figura 5.

Essas linhas discretas que aparecem na decomposição da luz proveniente da ampola de hidrogênio mostram que essa luz é composta apenas de determinados comprimentos de onda, e por isso dizemos que se trata de um espectro discreto. Quando um gás a baixa pressão é submetido a alta voltagem através de dois eletrodos, há emissão de elétrons do catodo que são acelerados para o anodo (pólo positivo). Mas, no meio do caminho, esses elétrons emitidos pelo catodo encontram os átomos de hidrogênio contidos na ampola e chocam-se com eles. Como são os elétrons que rodeiam o núcleo, são eles na verdade que se chocam com os elétrons liberados pelo catodo. Nesses choques, o elétron livre transmite energia ao elétron do átomo, que, adquirindo maior energia, pula para outra órbita mais externa. Porém, nessa nova situação, ele estará instável (segundo a ordem natural, ele "não gosta" de ficar nessa órbita).

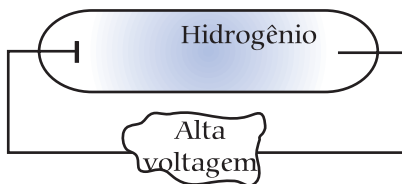


Figura 4. Ampola de descarga em gás a baixa pressão.

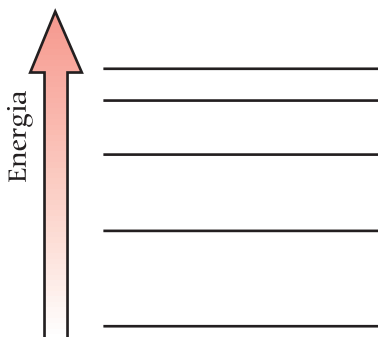


Figura 5. Espectro de emissão do gás hidrogênio.

Como a nova órbita não é a melhor para ele (a tendência é ficar na órbita mais próxima do núcleo), depois de certo tempo nessa situação o elétron retorna à órbita inicial. Como já vimos, nesse processo de retorno ao nível mais estável há emissão de um fóton, que constitui a radiação que será vista no anteparo. O esquema da Figura 6 ilustra o que foi explicado acima.

Não existe apenas uma órbita externa à qual o elétron pode ir após o choque com o elétron emitido pelo catodo. Várias órbitas são possíveis e, dependendo do choque ser mais forte ou mais suave, o elétron "pulará" para uma órbita mais externa ou menos externa. Quanto mais externa for a órbita, maior energia terá o elétron quando nela estiver. Assim, teremos pulsos diferentes quando o elétron voltar, e isto produz radiação com diferentes comprimentos de onda, como é observado no espectro do hidrogênio.

A Figura 7 mostra alguns saltos possíveis que o elétron pode dar em um átomo de hidrogênio. Quando o elétron está na órbita mais próxima do núcleo, diz-se que ele está no seu estado fundamental; quando o elétron está em uma de suas órbitas mais externas, diz-se que ele está em um de seus estados excitados.

Em cada órbita o elétron tem determinada energia. Cada uma será, então, chamada de nível energético que o elétron pode ter, e a ela se atribui um número inteiro ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), chamado número quântico principal, por ser encontrado por meio de cálculos de um ramo da física denominada Mecânica Quântica. Esse número inteiro  $n$  (número quântico principal) caracteriza a energia que o elétron apresenta quando em uma determinada órbita. O mesmo esquema mostrado na Figura 7 pode ser agora apresentado na forma de níveis de energia, já que, como dissemos, cada nível tem uma energia. Na Figura 8 também estão mostradas várias transições possíveis.

É importante lembrar que

nem sempre é possível ver a radiação emitida no salto do elétron. Às vezes, o comprimento da onda da luz emitida é muito grande ou muito pequeno, fugindo do intervalo da chamada luz visível e, então, nossos órgãos visuais não são capazes de observá-los.

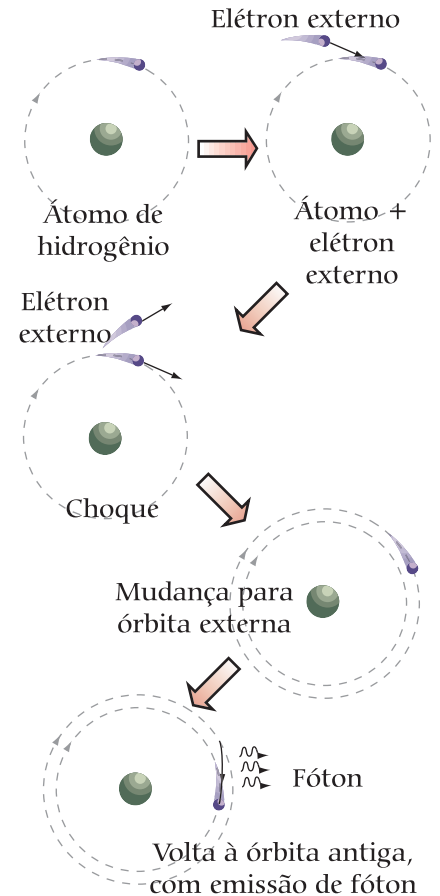


Figura 6. Esquema do processo de emissão de um fóton.

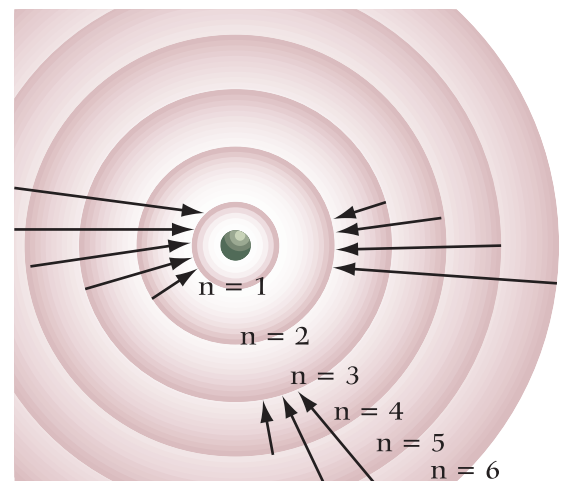


Figura 7. Saltos possíveis para elétron no átomo de hidrogênio.

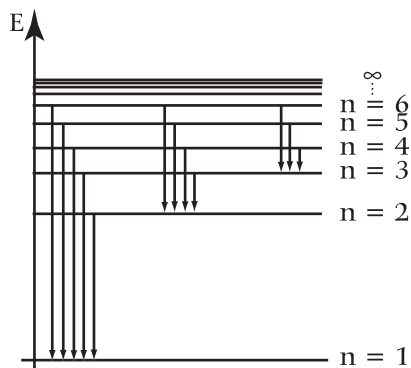


Figura 8. Transições possíveis para átomo de hidrogênio.

### Produção de Luz no Laser

Até agora foram descritos dois processos básicos de extrema importância. Primeiramente, vimos o processo de absorção de um fóton por um sistema atômico, causando a transferência de elétron de um nível de mais baixa energia para um nível de mais alta energia. Em segundo lugar, vimos um processo de emissão espontânea de um fóton pelo sistema atômico, causando a transferência do elétron para um nível de mais baixa energia.

Existe, também, um terceiro processo que pode ocorrer no sistema atômico, tão importante quanto os dois anteriores: a emissão estimulada.

A emissão estimulada consiste no seguinte: vamos supor um elétron que esteja em um estado que não é aquele no qual ele tem menor energia (estamos então nos referindo a um estado excitado).

Esse elétron excitado apresenta uma forte tendência em ir para o nível de mais baixa energia. Porém, sozinho, esse processo é relativamente demorado para acontecer, podendo, no entanto, ser acelerado por um agente externo. Um exemplo disto é a situação tradicional de uma bola em equilíbrio instável, no topo de uma montanha, como mostra a Figura 9.

Com o elétron no seu estado excitado ocorre o mesmo, e o agente externo que causa seu salto para um nível energético menor é justamente outro fóton. Assim, um fóton externo estimula o decaimento do elétron excitado e este, ao passar para o estado de mais baixa energia, emite um fóton que emerge do sistema juntamente com

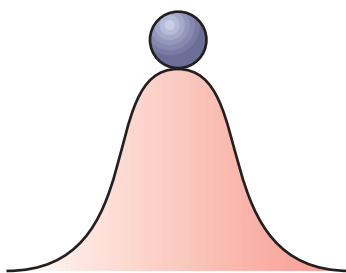


Figura 9. Equilíbrio instável de uma bola. Um leve toque externo colocará a bola em movimento.

aquele que causou a transição. Desse modo, na emissão estimulada, o causador do efeito sai intacto e o fóton gerado é o seu irmão gêmeo.

Nesse caso, os dois fótons emergem do sistema juntos, com a mesma energia, propagando-se na mesma direção. Dizemos que eles estão em fase e são fótons praticamente indistinguíveis. A Figura 10 ilustra os três processos até agora descritos.

No esquema (a), o sistema atômico absorve um fóton externo e o elétron usa a energia desse fóton para pular para o nível de energia mais alta.

No esquema (b), o elétron volta ao seu estado de mais baixa energia, através da emissão de um fóton com energia  $E_0$ .

Finalmente, no esquema (c), mostra-se o retorno do elétron ao estado de mais baixa energia, devido à ação

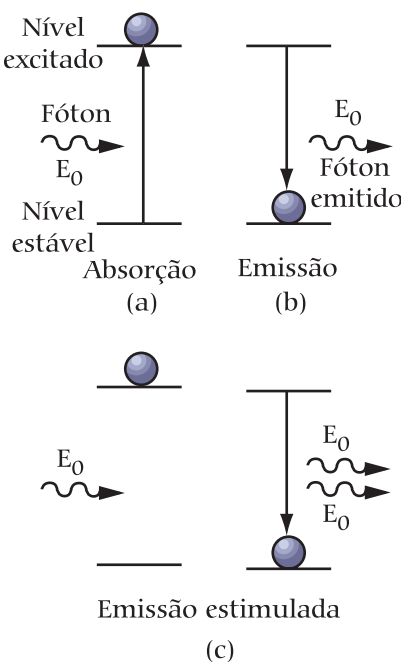


Figura 10: Maneiras para o átomo mudar seu estado de energia.

de um fóton externo. O resultado é a emissão estimulada de um outro fóton, que emerge lado a lado com o primeiro fóton.

Esses dois fótons que emergiram da emissão estimulada vão perturbar outros átomos com elétrons em seus estados excitados, havendo emissão de mais fótons que se juntam aos iniciais. A essa altura já podemos ter uma noção do que vem a ser o laser.

Como vimos, existem processos pelos quais os átomos emitem luz. Se juntarmos essa luz a processos que veremos mais adiante, e conseguirmos amplificá-la, teremos o chamado raio-laser. Assim, a luz do laser provém justamente da emissão que ocorre quando elétrons decaem de seus níveis energéticos de forma estimulada, produzindo um feixe de luz onde todas as pequenas porções (fótons) comportam-se identicamente.

Todos esses fótons que emergem do sistema são novamente jogados sobre ele por meio do uso de espelhos, que são colocados em cada extremidade da amostra. A vantagem nessa operação é que, fazendo com que os fótons emitidos pela amostra interajam mais com os átomos desta, maior será o número de fótons emitidos através do processo de emissão estimulada, aumentando a quantidade de luz que sairá do sistema.

Após vários passos, os fótons que se movimentam através do meio que forma o laser constituirão um feixe que apresenta uma intensidade considerável.

Uma abertura em um dos espelhos em uma das extremidades permitirá que continuamente uma fração dessa luz deixe o sistema.

Nas explicações dadas acima falamos em sistema, cavidade, espelhos etc., mas não demos maior atenção a esses conceitos. Vamos explicá-los.

Um laser consiste principalmente de 3 partes. A primeira parte é o chamado meio ativo, que pode ser gasoso, sólido ou líquido. Essa parte do laser é a que contém os átomos ou moléculas, as quais contêm os elétrons que, através dos saltos de níveis de energia emitem luz (fótons), que finalmente constituirão a luz laser. O primeiro laser construído tinha como

meio ativo uma barra de rubi.

De um modo geral, um sistema constitui um bom meio ativo quando os elétrons conseguem permanecer um tempo relativamente longo ( $10^{-4}$  s) em um estado excitado (normalmente um elétron permanece apenas  $10^{-10}$  s no nível excitado).

Como vimos anteriormente, a energia do fóton emitido está relacionada com seu comprimento de onda. Assim, quando queremos construir um laser que emita luz com determinado comprimento de onda, deveremos escolher um meio que apresente átomos com elétrons em níveis cujo espaçamento tenha justamente a energia do feixe de luz que desejamos obter.

Se todos os átomos do meio apresentarem elétrons no estado de mais baixa energia, a ação do laser não poderá iniciar-se devido ao fato de que não teremos elétrons excitados para que ocorra o processo de emissão estimulada, ou mesmo espontânea.

Assim, antes de iniciar-se a ação do laser, é preciso que tenhamos a maioria dos átomos com elétrons em seus estados excitados.

Para que os elétrons saltem para seus níveis mais energéticos, é preciso fornecer energia. Esse é o trabalho de uma fonte externa de energia, que é a segunda parte principal do laser. A fonte terá a obrigação de produzir estados excitados, a fim de que nos decaimentos haja produção de luz. Ela atua no meio ativo, muitas vezes emitindo fótons sobre ele, e isso faz com que um grande número de átomos fiquem no estado excitado. Quando o maioria dos átomos apresentam elétrons no estado excitado, dizemos que ocorreu uma inversão de população. Esse estágio é fundamental para a produção do laser.

A terceira parte importante do laser é a cavidade ótica ou ressonador. Sua função é justamente a de fazer com que os fótons que emergem do sistema voltem para ele, produzindo mais e mais emissão estimulada. Isso é feito por meio de espelhos que são colocados nas extremidades dessa cavidade e provocam a reflexão dos fótons de volta à amostra. A Figura 11 é um esquema simplificado dessas 3 partes do laser.

A Figura 12 faz um resumo do

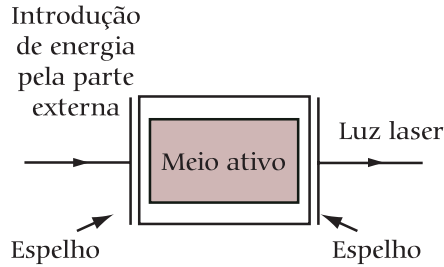


Fig. 11. Esquema simplificado das partes que constituem um laser.

que foi falado acima, mostrando a produção da luz laser (adotaremos os círculos vazios como sendo átomos no estado fundamental e círculos cheios como sendo átomos com estados excitados).

Começando do esquema (a), temos um meio ativo com seus átomos no estado fundamental. Uma fonte externa (que pode ser uma descarga elétrica no meio, outro laser etc.) deixa a maioria dos átomos em seus estados excitados, criando o que se chama de uma inversão de população (b). A emissão espontânea de um fóton por um desses átomos, adiciona mais luz à porção já existente (c). Esses fótons se refletem nos espelhos da cavidade, voltando para a amostra e provocando mais emissão estimulada, até que todos tenham decaído (esquemas (d), (e) e (f)). Essa é a máxima quantidade de luz que pode ser extraída desse meio. Uma porção dessa luz emerge do sistema, constituindo o feixe da luz laser (g). É claro que todos esses processos ocorrem de uma maneira contínua, fazendo com que a luz emergente seja um feixe contínuo e não interrompido.

### Características da Luz Laser

Após a inversão de população ter ocorrido, produzindo a excitação dos elétrons com ajuda de uma fonte externa, o decaimento espontâneo de um dos átomos para o estado fundamental começa a provocar a emissão estimulada dos demais átomos e, conseqüentemente, produz luz. Somente a luz que se propaga ao longo do eixo principal do laser é que vai sofrer as várias reflexões no interior da cavidade ressonante, fazendo com que haja emergência de um feixe de luz. As principais características desse

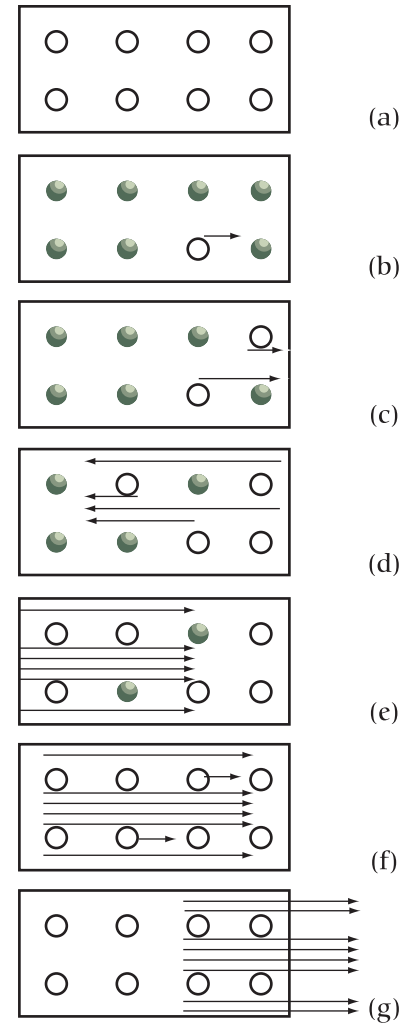


Figura 12. Esquema mostrando as várias etapas da produção de luz laser.

feixe emergente são as seguintes:

- primeiramente, a mais marcante é que a luz laser é monocromática, já que a energia carregada pelo fóton estimulante e pelo fóton emitido são as mesmas. Portanto, se verificarmos o espectro da luz laser, veremos apenas uma linha, mostrando que ela é composta de apenas um comprimento de onda, enquanto uma fonte de luz incandescente é formada por vários comprimentos de onda. O esquema da Figura 13 mostra os dois espectros. A monocromaticidade da luz laser é importante em espectroscopia e em outras áreas de pesquisa que requerem luz com uma energia determinada.

- uma segunda característica é o fato de que a intensidade do feixe laser pode ser extremamente grande, ao contrário das fontes de luz convencionais. Sua potência pode atingir ordens



Figura 13. Espectro contínuo (vários comprimentos de onda) e espectro discreto do laser (apenas um comprimento de onda).

de tera watt ( $10^{12}$  W). Essas grandes intensidades ocorrem em lasers pulsados, onde a energia acumulada em longo tempo é emitida toda em um intervalo de tempo muito pequeno, da ordem de  $10^{-12}$  s.

- em terceiro lugar temos o caráter direcional do feixe laser. Fótons emi-

tidos inclinados com relação ao eixo central não contribuirão para o feixe de laser final. O feixe resultante, que é constituído de ondas caminhando na mesma direção, é bastante estreito; ou seja, todo feixe propaga-se na mesma direção, havendo um mínimo de dispersão. Essa característica é extremamente importante para uma série de aplicações em comunicação, na indústria, na eletrônica etc.

**Luz laser é:**

- monocromática
- de alta intensidade
- direcional
- coerente

- a quarta característica importante da luz laser é sua coerência. Para explicar o que significa a luz ser coerente devemos lembrar da natureza ondulatória da luz. Radiação é espacialmente coerente se as ondas sucessivas da radiação estão em fase e temporalmente coerente se os trens de onda têm todos a mesma direção e o mesmo comprimento de onda. Para exem-

plificar nossa idéia de coerência, vamos tomar um exemplo simples. Vamos considerar as águas calmas de um lago. Ao jogarmos uma pedra, haverá produção de ondas de uma forma periódica e ordenada. Com isso, vemos em todos pontos desse lago ondas coerentes.

Agora, vamos jogar de maneira desordenada várias pedras no interior do lago. Nessa situação, as ondas da superfície estarão totalmente desordenadas,

provenientes de pontos diferentes. Essas não são ondas coerentes, mas incoerentes.

Concluindo, são essas as propriedades da luz laser que fazem dela um dos instrumentos de maior aplicabilidade. Por isso, há mesmo quem diga que o laser é a solução à procura de problemas. Em um próximo artigo, falaremos das inúmeras aplicações do laser.



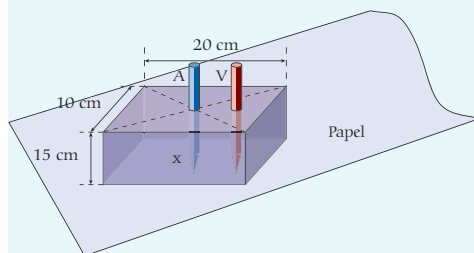
## Movimento do Centro de Massa\*

### Objetivo

Visualização do movimento do centro de massa de um corpo.

### Montagem

Em um bloco de madeira de (20 x 10 x 15 cm), praticam-se dois orifícios que atravessam o bloco ao longo de sua altura (15 cm), como se ilustra:



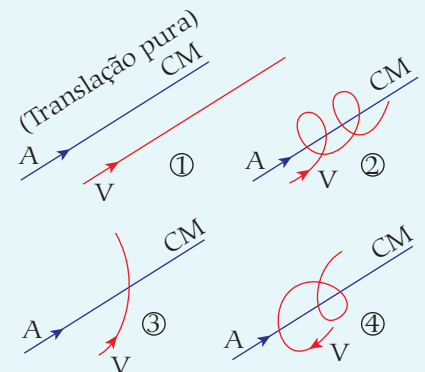
### Preparo do bloco

Esses orifícios apresentam diâmetros que permitem a introdução de canetas esferográficas comuns (bem macias), uma azul (A) e outra vermelha (V). Um dos orifícios passa pelo centro de massa do bloco e o outro, próximo à borda mais afastada do centro. O bloco, com as canetas inseridas nos orifícios, é colocado sobre uma grande folha de papel. A seguir, vamos à pancada.

### Procedimento

Com um martelo, golpeie o bloco próximo da região X, indicada na face lateral. Com as experimentações você regulará a adequada intensidade da martelada e o local pretendido X.

Como resultado, a caneta azul registra o movimento do centro de



Trajatórias registradas no papel

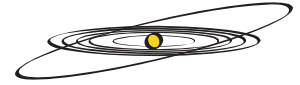
massa do bloco (uma linha reta azul) e a caneta vermelha traçará uma linha (em geral, uma curva) vermelha em torno da linha azul, como ilustramos acima (resultado de alguns ensaios):

Prof. Luiz Ferraz Netto  
leo@barretos.com.br

\*Esta experiência consta do site [http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/05\\_36.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/05_36.asp), gerenciado pelo Prof. Luiz Ferraz Netto.



# Novas Estratégias de Divulgação Científica e de Revitalização do Ensino de Ciências nas Escolas



Eduardo de Campos Valadares

Centro de Inovação Multidisciplinar  
Depto. de Física – ICEx  
Universidade Federal de Minas Gerais  
C.P. 702, CEP 30123-970 Belo Horizonte-MG  
E-mail: [ecampos@dedalus.lcc.ufmg.br](mailto:ecampos@dedalus.lcc.ufmg.br)

## Introdução

Nas últimas três décadas houve no Brasil um notável avanço nos programas de pós-graduação e uma expansão significativa do sistema universitário como um todo. Entretanto, o país ocupa ainda uma posição muito modesta no cenário internacional no que concerne a geração de patentes e de inovação tecnológica, para não mencionar o enorme contingente de pessoas excluídas socialmente.

O cenário descrito acima pode ser também atribuído ao nosso sistema educacional, em todos os níveis, que dá pouca ênfase à valorização do espírito empreendedor e ao trabalho manual criativo voltado para a inovação. O ensino de ciências praticado no Brasil, na grande maioria das escolas de nível médio e fundamental e, em grande extensão, também nas universidades, pressupõe uma atitude passiva dos alunos que não favorece a criatividade, a inovação e a transformação de conhecimento em riquezas. Ciente desta realidade, desenvolvemos no Departamento de Física da UFMG um projeto-piloto de divulgação científica de baixo custo que pretende estimular uma atitude mais pró-ativa no nosso sistema educacional e estreitar a relação das escolas com a comunidade. A experiência que acumulamos gerou uma metodologia de ensino de ciências<sup>1</sup> com potencial para reverter o quadro vigente.

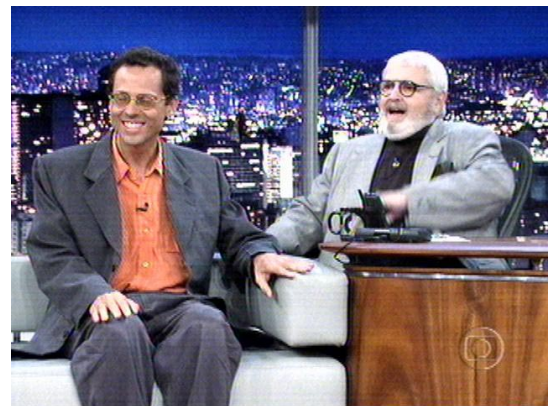
Neste trabalho apresentamos um relato de nossa tra-

jetória e as várias estratégias adotadas para popularizar a ciência a partir de protótipos baseados em materiais reciclados e de baixo custo, aliando trabalho em equipe, criatividade e o prazer da descoberta. Alguns experimentos são também descritos visando ilustrar o espírito da presente proposta.

## Exposições Interativas em Shoppings, Praças e em outros Locais Públicos

A idéia original de nosso projeto<sup>2</sup> era disponibilizar para o grande público uma série de protótipos de baixo custo associados aos avanços tecnológicos de nossa época (aquecimento solar, robótica, foguetes, fibras ópticas de água, discos voadores/*hovercrafts* e testes aerodinâmicos, dentre outros). Para implementar a nossa proposta, contamos com a simpatia e o apoio financeiro do Instituto Euvaldo Lodi de Minas Gerais (IEL-MG), da Federação das Indústrias de Minas Gerais (FIEMG) e da UFMG através das Pró-Reitorias de Graduação e de Extensão. Com isto pudemos realizar pesquisa

Este artigo apresenta um novo enfoque de divulgação científica voltado para a revitalização do ensino de ciências nas escolas dos ensinos médio e fundamental. Sua meta é a realização de projetos práticos de baixo custo visando o desenvolvimento da criatividade e da cidadania através de uma atitude pró-ativa de alunos e professores.

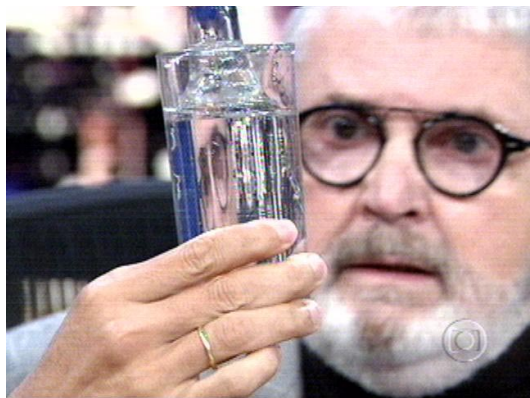


O autor de 'Física Mais que Divertida', prof. Eduardo Valadares, no programa de Jô Soares.



e desenvolvimento utilizando materiais reciclados e de baixo custo em condições compatíveis com a realidade da maioria de nossas escolas do ensino médio e fundamental. Nossa meta era demonstrar que é possível dotar as escolas de uma nova metodologia viável que revitalize o interesse de nossas crianças e adolescentes pela ciência e suas aplicações práticas e que contribua ao mesmo tempo para o desenvolvimento de uma atitude pró-ativa. É notório em nosso meio a predominância do ensino estritamente livresco e formal, sem vínculos com a realidade prática, e a ausência de desafios, o que inevitavelmente contribui para o desinteresse dos alunos pelas ciências e suas aplicações práticas, a despeito delas estarem presentes no seu dia-a-dia.

Organizamos diversas exposições em parques, *shoppings*<sup>2,3</sup> festas infantis e até em acampamentos de escoteiros, além de participarmos da UFMG-Jovem, evento anual realizado no *campus* da UFMG que abrange as diversas áreas do saber e que atrai milhares de crianças e adolescentes. Uma preocupação que sempre tivemos foi o uso de uma linguagem acessível ao público leigo e a criação de um ambiente favorável à descoberta. A excelente acolhida do público nos encorajou a dar o próximo passo – a organização de oficinas de criatividade.



Jô Soares torna invisível uma garrafa contendo glicerina ao inseri-la em um copo contendo também glicerina, cujo índice de refração é quase igual ao do vidro.

## Oficinas de Criatividade: Desafios e Descobertas

O objetivo das oficinas é criar um verdadeiro ateliê científico e tecnológico, um ambiente instigante onde os participantes se sintam estimulados a trabalhar em equipe e a desenvolver novas idéias, associando conceitos básicos a projetos práticos. Um dos desafios é a realização de projetos inovadores utilizando materiais reciclados e de baixo custo, o que torna a nossa proposta acessível a *todas* as escolas.

**'Física Mais que Divertida', com mais de 100 experimentos de baixo custo, leva uma visão mais prática do ensino de ciências para um número cada vez maior de escolas**

Num primeiro estágio os participantes realizam projetos simples, visando adquirir habilidades manuais e uma base prática de como resolver problemas específicos

utilizando ferramentas de uso doméstico e materiais encontrados em toda parte. Já neste estágio é comum surgirem novas idéias e o projeto adquire então um caráter inovador. Os protótipos são testados exaustivamente, convertendo-se em instrumentos de descoberta e tornando-se fonte de novas idéias.

Em uma etapa posterior das oficinas é colocado aos participantes o desafio de conceber e implementar os seus próprios projetos.

Temos testado nossa metodologia em escolas públicas e privadas, centros de criatividade e na própria UFMG, abrangendo crianças na faixa de 6 a 12 anos, adolescentes e adultos, incluindo professores do ensino médio e fundamental, com excelentes resultados.

Estamos oferecendo, pela primeira vez na Universidade, um curso de divulgação científica para a graduação, voltado à concepção e organização de tais oficinas e de exposições interativas do acervo nelas produzido. A idéia central é que as escolas possam gerar o seu próprio acervo de inovações e organizem exposições interativas para o grande público em *shoppings*, parques e em eventos

sócio-culturais, ampliando assim o seu papel social. A nossa experiência tem demonstrado que tais exposições aumentam consideravelmente a auto-estima e a auto-confiança de professores e alunos e permitem levar à comunidade projetos criativos e lúdicos que ilustram a importância da ciência e da tecnologia no nosso dia-a-dia, contribuindo assim para uma melhoria da cultura científica de nossa população e para a disseminação da importância da criatividade e da atitude empreendedora para o nosso desenvolvimento sócio-econômico. Outro ponto fundamental a ser ressaltado é o interesse da mídia por projetos educacionais desta natureza, permitindo atingir um público bastante amplo.

## Produção de Material Didático

Como resultado de nossas ações produzimos um livro com mais de 100 experimentos de baixo custo, *Física Mais que Divertida*<sup>4</sup>, cuja versão em alemão será publicada no início de 2002. Atualmente estamos atuando no ambiente das escolas através de oficinas com projetos baseados no livro. Os resultados obtidos são bastante animadores. A nossa expectativa é levar uma visão mais prática do ensino de ciências para um número cada vez maior de escolas e, uma vez gerada uma massa crítica, pretendemos realizar competições locais de projetos inovadores e incentivar as equipes mais inovadoras a participarem de competições internacionais.

A nossa meta é ampliar o escopo do nosso projeto através da produção de novos livros e de um portal na internet com um banco de idéias e espaço para troca de experiências. Concebemos também uma exposição interativa permanente de "Física divertida", sediada no Museu de História Natural da UFMG, a primeira do gênero de Belo Horizonte. Além disso, estamos concebendo programas educacionais voltados para professores e pretendemos divulgar nossa metodologia em escolas de periferia, em esforço integrado envolvendo a universidade, o poder público e a comunidade. Um ponto a ser ressaltado é que o sucesso de tais ações depende crucial-

mente da formação de uma ampla rede envolvendo escolas, universidade, mídia, livrarias, *shoppings*, indústria, governos estaduais e municipais e agências federais de fomento, dentre outros. Vivemos um momento extremamente propício à disseminação de novos paradigmas educacionais, já que tais instituições demonstram consciência da importância da inovação no contexto educacional para o progresso econômico e social do país, disponibilizando recursos financeiros para programas desta natureza.

## Exemplos de Experimentos de Baixo Custo

### Sustentação das Asas de Aviões

**Material:** folha de papel, linha fina de costura ou pequenas tiras de papel, cola ou fita adesiva.

**Passo a passo:** Segure uma folha de papel (“asa”) com os dedos das duas mãos e depois sobre por cima da folha e depois por baixo dela, como indicado na Figura 1. Este experimento mostra que tanto as correntes de ar que passam por baixo da “asa” como as que



Figura 1. Ilustração do princípio de sustentação de uma asa de avião.

passam por cima da mesma contribuem para a sustentação da asa. A velocidade do ar que sai da boca praticamente só tem uma componente horizontal. A folha de papel força o ar a se mover ao longo de sua superfície curva, de modo que a velocidade do ar adquire uma componente vertical no sentido para baixo. Para observar este efeito basta você fixar uma das pontas de pequenos pedaços de linha fina de costura ou tiras de papel com cola ou fita adesiva em diferentes pontos na parte de cima e na parte de baixo da folha. Observe as linhas/tiras enquanto você sopra. A força de reação correspondente, em ambos os casos, é para cima, contrabalançando o peso da folha.

### Túnel de Vento e Ângulo de Ataque

**Material:** garrafa pet de 2 L, cartolina, arame, cola, canudinho, ventilador (ou um bom fôlego)

**Passo a passo:** Corte a garrafa de modo a obter um tubo de 21 a 22 cm de comprimento com duas aberturas (túnel de vento). Com o arame, fabrique um garfo com dois longos dentes, conforme indicado na Figura 2. Faça dois rasgos paralelos de 7 cm de comprimento e uns 3 mm de largura na parte superior do tubo e dois furos na parte inferior do mesmo para encaixe dos dentes (veja a figura). Fabrique uma asa de cartolina com 7 cm de comprimento, como indicado. Faça nela dois furos com o diâmetro ligeiramente menor que o dos canudinhos atravessando a sua parte de cima e a de baixo e encaixe neles dois pedaços de canudinho (veja a Figura 2). Introduza os dentes do garfo nos dois rasgos, depois nos furos da asa e finalmente nos furos do tubo. Ao mover o cabo do garfo você pode modificar facilmente a inclinação da asa (o “ângulo de ataque”). Coloque a saída do túnel em frente a

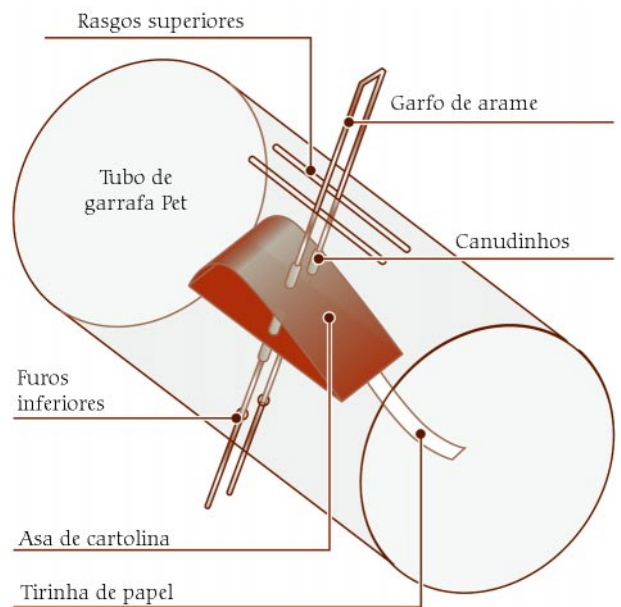


Figura 2. Esquema do túnel de vento.

um ventilador ligado, como mostrado, e veja o que acontece com a asa quando você varia o ângulo de ataque. Ao aumentar este ângulo, o vento, que acompanha o perfil da asa, adquire uma componente vertical cada vez maior, no sentido para baixo, como observado no experimento anterior com a folha de papel. A força de reação para cima tende então a aumentar. Entretanto, para ângulos de ataques acima de um certo valor crítico, a força de sustentação (reação) começa a diminuir devido ao aparecimento de turbulência. Para observar estes efeitos basta fixar na extremidade inferior da asa pedaços de fio de linha ou tiras pequenas de papel e aumentar gradualmente o ângulo de ataque da asa. Pode-se demonstrar facilmente que a asa se mantém suspensa pela ação do vento mesmo quando o avião fica de cabeça para baixo<sup>5,6</sup>.

### Raquetadas de Sabão<sup>4,7</sup>

**Material:** aro de arame com cerca de 12 cm de diâmetro (tente aros com diâmetros menores!), tubo de caneta, água, detergente e glicerina (encontrada em farmácias em tubos de 100 mL).

**Solução de sabão:** Misture em um recipiente água (2 L), 250 mL de detergente 100 mL de glicerina.

**Passo a passo:** Mergulhe o aro na solução. Ao retirá-lo, um filme de

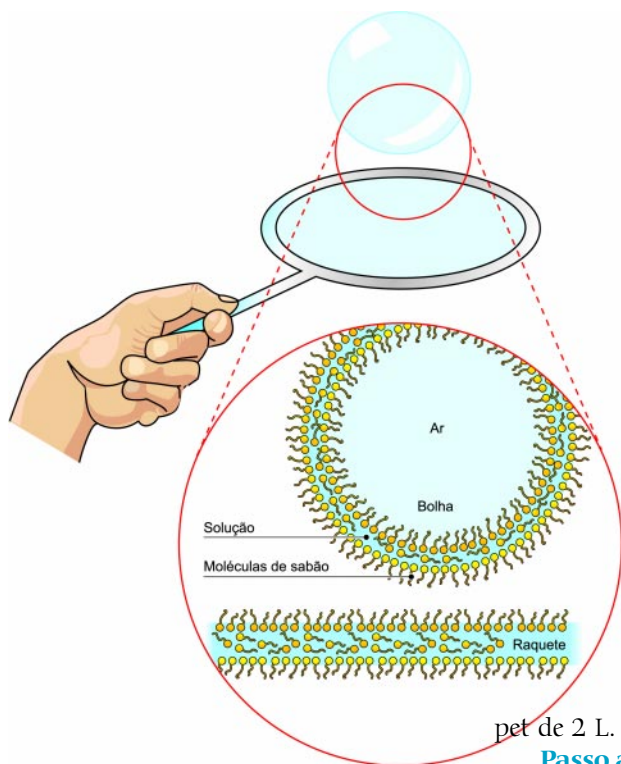


Figura 3. Ilustração de como a interação dipolar atua em uma solução de sabão.

sabão ficará ancorado no aro. Eis a sua raquete! Segure o seu cabo e mergulhe a ponta do tubo de caneta por alguns segundos na solução de sabão. Retire o tubo e sobre pela outra extremidade para obter uma bolha de sabão. Está pronta a bola! Pode começar a dar suas raquetadas. Você pode jogar tênis dessa forma graças às propriedades das moléculas típicas dos detergentes, chamadas de *hidrocarbonetos*. Cada uma dessas moléculas tem uma “cabeça” e uma “cauda”. Se a cabeça da molécula adora água, a sua cauda detesta. Pelas figuras, você pode ver que tanto na bola como na raquete as “caudas” das moléculas de detergente estão do lado de fora do filme de sabão. A bola e a raquete tendem a não se grudar porque as “caudas” de uma procuram evitar a água que está no filme da outra, devido a forças de repulsão de van der Waals (interação dipolo-dipolo).

#### “Tunelamento” de Objetos Macroscópicos<sup>4</sup>

**Material adicional:** bola de isopor com aproximadamente 2,4 cm de diâmetro ou bolinha de gude ou pedra (tente outros objetos) e uma garrafa

pet de 2 L.

**Passo a passo:** Mergulhe o aro na solução para obter um filme de sabão ancorado no mesmo (a “raquete”). Mergulhe em seguida a bola de isopor ou a bolinha de gude (ou outro objeto qualquer) na solução e em seguida deixa-a cair sobre a raquete. Este experimento mostra que a bola pode atravessar o filme sem destruí-lo, de modo análogo ao fenômeno atômico conhecido como *tunelamento quântico*. Neste caso um elétron pode atravessar uma “barreira” sem alterar as características da mesma. É como se o elétron cavasse um túnel enquanto atravessa a barreira, que se fecha à medida que ele avança. Você pode ainda ancorar nas paredes internas de um tubo de garrafa pet (veja “túnel de vento”) dois filmes de sabão paralelos (“barreira dupla”) e fazer a bola “tunelar” ambos os filmes sem destruí-los. Tente repetir o truque com duas raquetes, uma em cima da outra. É pura diversão!

## 6. Observações Finais

Acreditamos que a valorização da criatividade e da inovação através das ações propostas possa criar um clima mais favorável à inovação nas escolas e ao desenvolvimento pleno de nossas crianças e adolescentes e, por conseguinte, de nossa sociedade como um todo. Esta preocupação nos parece pertinente tendo em vista a crescente

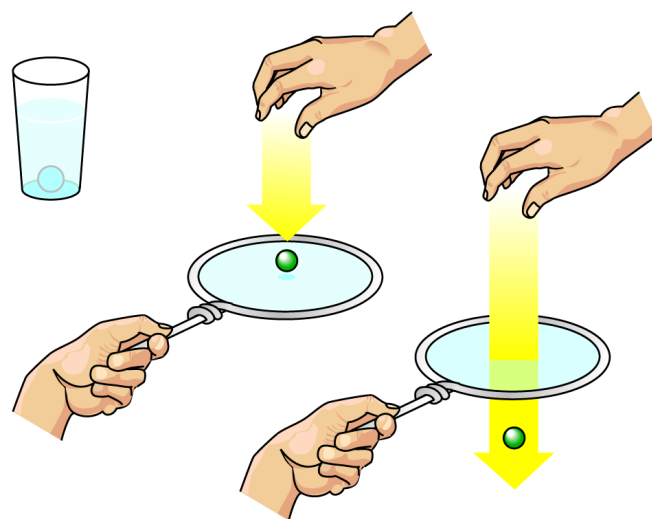


Figura 4. Exemplo macroscópico de ‘tunelamento quântico’: a bolinha passa pela ‘barreira’ sem alterar as características da mesma.

eliminação de postos de trabalho decorrentes do uso de robôs e *softwares*. Trata-se, em última análise, de uma questão de cidadania e de inserção sócio-econômica, já que na sociedade do conhecimento as pessoas serão valorizadas pela sua capacidade criativa de encontrar oportunidades e soluções para problemas e desafios.

As ilustrações dos experimentos, gentilmente cedidas pela Editora UFMG, foram retiradas da segunda edição do livro “Física Mais que Divertida” (no prelo).

## Referências Bibliográficas

1. “Propostas de Experimentos de Baixo Custo Centradas no Aluno e na Comunidade”, Eduardo de Campos Valadares, *Química Nova na Escola*, n. 13, 2001. Veja também na internet : [www.fisica.ufmg.br/divertida](http://www.fisica.ufmg.br/divertida).
2. Physics on Sale – Brazilian Style, Eduardo de Campos Valadares, *Physics World*, v. 12, n. 3, p. 64, 1999.
3. “Ciência e Diversão”, Eduardo de Campos Valadares, *Ciência Hoje das Crianças*, n. 97, novembro de 1999, p. 23.
4. “Física Mais Que Divertida”, Eduardo de Campos Valadares, Editora UFMG, Belo Horizonte, 2000.
5. “A Comparison of Explanations of the Aerodynamic Lifting Force”, Klaus Weltner, *Am. J. Phys.*, v. 55, p. 50-54, 1987
6. “Aerodynamic Lifting Force”, Klaus Weltner, *The Physics Teacher*, v. 28, n. 2, p. 78-82 (1990).
7. “Raquetadas de Sabão”, Alessandro Jesus Ferreira de Oliveira, Esdras Garcia Alves e Eduardo de Campos Valadares, *Ciência Hoje das Crianças*, n. 106, setembro de 2000, p. 14-15.



# Olimpíadas de FÍSICA

.....  
**José David M. Vianna**

Pesquisador Sênior, UnB e presidente da Comissão da Olimpíada Brasileira de Física  
.....

**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.

## **A Olimpíada Brasileira de Física (OBF) em 2001**

Este é o terceiro ano que a SBF realiza a Olimpíada de Física em nível nacional. Este programa permanente, iniciado em 1999, tem como um dos principais objetivos estimular o interesse pela Física entre alunos e professores do ensino médio. A SBF conta com o apoio do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq), das melhores universidades, centros de pesquisa em Física e escolas do país, para divulgar e realizar este evento.

A OBF consiste de várias provas, diferenciadas por série escolar, aplicadas em três fases. A primeira fase ocorre na escola do próprio estudante e o número de participantes é livre; os estudantes que apresentam melhor desempenho em cada escola são inscritos para a fase seguinte, que é realizada nas sedes regionais e estaduais da OBF. Cerca de 5% dos participantes melhor classificados na segunda fase participam da última fase, que ocorre nas sedes estaduais da OBF. As provas da última fase são divididas em dois blocos, experimental e teórico.

Em 2001 a OBF, que está sendo realizada nos moldes de 2000, conta com a participação de estudantes de 24 unidades da Federação e as fases de realização ocorrem nas datas: 11/08, 22/09 e 27/10.

Os quarenta alunos da 1ª série, melhor classificados nacionalmente, participam do processo de acompanhamento e seleção para as Olimpíadas Internacionais de 2003: a *International Physics Olympiad* (IPhO) que acontecerá no Vietnã e a *Olimpíada Ibero Americana de Física* (OIBF), prevista para um

país da América Central.

## **O Brasil nas Olimpíadas Internacionais de 2001**

A Olimpíada Brasileira de Física, visando incentivar e também avaliar o ensino de Física, promove a participação do Brasil em duas olimpíadas internacionais: a IPhO e a OIBF.

A participação nesses eventos é importante pois são espaços disponíveis para acompanhar o conhecimento de nossos estudantes na área de Física, comparando-os a alunos do Ensino Médio de outros países e daí obtendo informações que poderão ser usadas no aprimoramento de nossos currículos escolares.

O ano de 2001 é o segundo ano que o Brasil inscreve-se nas Olimpíadas Internacionais. Em julho último, a OBF patrocinou a participação brasileira na 32ª IPhO em Antalya (Turquia), e em outubro o Brasil participa da 6ª OIBF, em Sorata (Bolívia), com equipes selecionadas pela OBF99.

Para a OIBF, a equipe está formada pelos estudantes Leonardo Pereira Leite (Pará), Lívia Maria Frota Lima (Ceará), Martha Priscilla Torres (Ceará) e Paulo Ribeiro de Almeida Neto (Pará).

A equipe brasileira que participou da IPhO na Turquia foi formada pelos estudantes Caio Marques Fontenele (Ceará), Gilson Nascimento Maia (São Paulo), Guilherme Leite Pimentel (São Paulo), Luiza Pillar Cabral (Ceará) e Maurício Richartz (Paraná). Esses alunos foram acompanhados pelo professor da Universidade Federal de Juiz de Fora (MG), Paulo M. V. B. Barone e pelo professor da Universidade Federal do Ceará, José Evangelista C. Moreira.

O Brasil, além da menção honrosa do aluno Guilherme L. Pimentel, conseguiu nesta olimpíada melhorar o desempenho geral em comparação com o ano anterior.

## Olimpíadas Internacionais

### Programa de Preparação

As provas das duas Olimpíadas Internacionais que o Brasil participa tem apresentado alto grau de dificuldade e os nossos resultados este ano, apesar de ainda não satisfatórios, mostraram progresso em relação ao ano anterior. Segundo a avaliação dos professores que acompanharam, por indicação da Comissão da OBF, os alunos que foram à Turquia (Prof. Barone e Prof. Evangelista), as equipes brasileiras tanto em 2000 como em 2001 contavam com estudantes talentosos mas insuficientemente preparados em face do nível da competição. Para estes professores uma prova de Olimpíada Internacional é um desafio que exige dos estudantes:

“(i) sólidos conhecimentos de um extenso programa de Física, incluindo tópicos avançados, num nível compatível com o do ensino básico das universidades brasileiras ou superior a isso;

(ii) familiaridade com procedimentos experimentais, desde a manipulação de aparelhos de medida até a análise das experiências e dos resultados obtidos;

(iii) a sistematização da apresentação das soluções das questões, que devem incluir uma série de passos intermediários que são levados em consideração na correção;

(iv) a capacidade de resolver problemas difíceis, muitas vezes enigmáticos, em um tempo limitado”.

A conclusão dos professores é que uma preparação para o tipo de prova das Olimpíadas Internacionais exige o desenvolvimento de um programa de estudos de assuntos ainda não cobertos pelo sistema de ensino brasileiro, de treinamento de metodologias para a solução de problemas, de aulas de laboratório e de exames simulados com tempo limitado, para dar ao estudante a necessária agilidade na solução rápida e correta dos problemas teóricos e experimentais que forem apresentados.

Visando melhorar o desempenho de nossas equipes a OBF tem organizado processos de preparação e acompanhamento dos estudantes classificados. Assim, em 1999 houve uma Escola Preparatória em São Paulo e em 2000 um programa de acompanhamento de estudos à distância. Na Escola Preparatória foram ministradas, para 48 estudantes, aulas experimentais, aulas de resolução de problemas de olimpíadas anteriores, conferências sobre física moderna, visitas a laboratórios de pesquisa, durante uma semana. Já na preparação de 2000 os 42 estudantes de 11 estados brasileiros, classificados pela OBF1999, tiveram o acompanhamento de um professor designado pela Comissão da OBF o qual atuou como Orientador indicando bibliografia, discutindo soluções de problemas típicos das Olimpíadas e coordenando, via Internet, discussões sobre as dúvidas que os alunos apresentassem. Ao final desse processo, ocorrido de setembro /2000 a fevereiro/2001, foram aplicadas duas provas que selecionaram as duas equipes para as Olimpíadas Internacionais de 2001.

## Olimpíadas Internacionais

### Diretrizes Gerais de Preparação dos Estudantes

A experiência adquirida com as participações das equipes OBF de 2000 e 2001, e o relato dos professores Evangelista e Barone indicam, no entanto, que o processo de preparação e acompanhamento dos estudantes deve ser uma atividade contínua a ser iniciada durante o segundo semestre do ano anterior à realização da Olimpíada Internacional. Este processo, orientado por professor(es) indicado(s) pela Comissão da OBF mas envolvendo os coordenadores dos estados e os professores dos candidatos nas escolas, deve ser assim um trabalho conjunto tendo como diretrizes básicas:

(i) o estudo do programa completo de Física do ensino médio durante os primeiros meses após o resultado da terceira fase a OBF, qualificando o candidato para o início da seleção;

(ii) o estudo de séries de problemas difíceis ou seja, no nível de nossos melhores problemas de vestibular;

(iii) o treinamento de solução detalhada, explícita e estruturada de problemas usando, por exemplo, problemas de mecânica como padrões;

(iv) o estudo de todo o programa da IPhO e OlbF por meio de livros universitários de física básica;

(v) a realização de experiências de Física com a exigência de preparação de relatórios estruturados, apresentando de forma organizada, clara, detalhada e explícita as etapas do procedimento usado para chegar à solução da(s) questão(ões) proposta(s). Gráficos, cálculos, diagramas de cálculos em gráficos, resultados intermediários, erros e deduções de equações devem estar presentes nos relatórios;

(vi) a obtenção de relações empíricas entre grandezas físicas através de experiências;

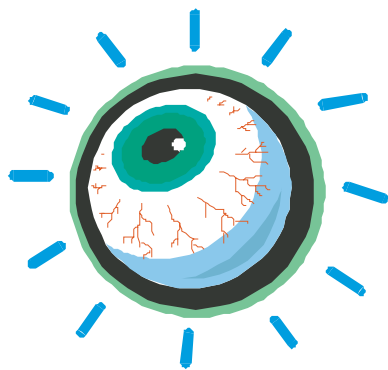
(vii) o estudo e treinamento prático de tratamento de erros experimentais, dos procedimentos para a redução dos efeitos de erros sistemáticos e para avaliação dos resultados.

Este trabalho, que envolve Coordenadores Estaduais da OBF, professores e alunos do ensino médio na preparação para as fases Nacional e Internacional, já está permitindo traçar um esboço do Ensino de Física no nível médio no país. Assim, a Olimpíada Brasileira de Física é um projeto que, ao tempo em que promove e estimula o estudo da Física possibilita, a partir do contato com professores e estudantes de todo o país, estabelecer parâmetros de avaliação e melhoria dos currículos escolares.

## Mais Informações

Comissão da Olimpíada Brasileira de Física (COBF): Dr. José David M. Vianna – Presidente: david@ufba.br; Dr<sup>a</sup> Sandra Sampaio Vianna – Vice-Presidente: vianna@npd.ufpe.br; Dr. Adalberto Fazzio – Tesoureiro: fazzio@if.usp.br; Dr. Mauricio Pietrocola – Secretário: pietro@ufsc.br; Dr. Luiz Carlos Gomes – Secretário Executivo: lgomes@if.usp.br

Visite a página da Olimpíada Brasileira de Física no portal da SBF: [www.sbf1.if.usp.br/olimpiadas](http://www.sbf1.if.usp.br/olimpiadas), ou entre em contato com a SBF, através de Sueli Mori de Almeida: [sueli@sbf.if.usp.br](mailto:sueli@sbf.if.usp.br).



# Abrindo o Olho

Dissecando um olho de boi para entender  
a óptica do olho humano

.....  
Marcelo M. F. Saba  
Instituto Nacional de Pesquisas  
Espaciais  
saba@dge.inpe.br  
.....

Ivan Dalla Valle Epiphanyo  
Clube de Ciências Quark  
.....

O desenvolvimento da óptica geométrica teve como motivação, assim como algumas outras áreas da física, a necessidade de ampliar a potencialidade do ser humano e suprir algumas de suas limitações. Os binóculos e lunetas são exemplos do primeiro caso e os óculos do segundo. Uns ampliaram a capacidade do olho humano, outros corrigiram algumas de suas debilidades. Este artigo descreve sucintamente esses aspectos e sugere uma atividade muito interessante, que ilustra os princípios de funcionamento do olho e suas partes principais por meio da dissecação de um olho de boi.

## Suas potencialidades

O olho humano é um sensor poderosíssimo. Em parceria com o cérebro, capta as imagens que desvendam o mundo exterior com todas as suas formas, relevos, cores e movimentos. É capaz de focalizar objetos situados a vários quilômetros de distância ou a um palmo da nossa face. Pode visualizar objetos sob luminosidade de um sol intenso ou na penumbra de um quarto escuro. E, apesar de ser comparável às máquinas fotográficas no que se refere ao princípio de funcionamento, a sua versatilidade é bem superior.

Na máquina fotográfica para capturarmos objetos muito pouco iluminados é preciso o auxílio de um *flash* ou a utilização de filmes muito sensíveis; já o olho humano possui uma capacidade incrível de enxergar em situações de muito baixa luminosidade. Experiente, por exemplo, entrar em uma sala muito pouco ilumina-

nada. A princípio você não enxergará nada. Porém, após 10 minutos, estará vendo vários objetos que antes eram impossíveis de enxergar. Espere 30 minutos e você estará com uma sensibilidade 10 mil vezes maior do que quando entrou na sala. Nessas situações, ou à noite, as células sensíveis às cores, chamadas de cones, não respondem, e a formação da imagem fica a cargo dos bastonetes. A imagem não possuirá cores, mas apenas tons de cinza. Por isso, dizemos que a noite todos os gatos são pardos.

No olho, como na máquina fotográfica, a luz que provém de um objeto externo passa por um sistema de lentes, formando sobre um anteparo uma imagem invertida. No olho, esse conjunto de lentes é formado basicamente pela córnea e pelo cristalino, e o anteparo é a retina, que possui milhões de neurônios sensíveis à luz, também chamados de fotorreceptores.

Na máquina fotográfica, as lentes possuem curvaturas fixas (distância focal constante). Assim, para que a imagem se forme corretamente sobre o filme, temos que mover as lentes para frente ou para trás. No olho, isto não é preciso.

A córnea, membrana transparente na frente do olho, possui uma forma de calota esférica graças à pressão exercida pelo humor aquoso. Como as lentes das máquinas fotográficas, possui uma curvatura fixa e, junto com o humor aquoso, é responsável por 80% do processo de formação da imagem sobre a retina. Como não é irrigada por vasos sanguíneos, seu transplante não apresenta problemas de rejeição. Atualmente, cirurgias com

---

Um experimento de fácil realização em sala de aula, a dissecação de um olho de boi pode ajudar os estudantes de física a entender o mecanismo da visão humana e, também, compreender melhor alguns conceitos de óptica.

laser estão “torneando” a córnea para eliminar o uso de lentes corretivas.

O cristalino é uma lente biconvexa convergente que, ao contrário das lentes utilizadas nas máquinas fotográficas, possui curvatura variável. É formado por várias camadas transparentes que deslizam umas sobre as outras. Ele se encontra preso por fortes ligamentos aos músculos ciliares, que controlam sua curvatura, variando sua distância focal. Isto permite ao olho focalizar sobre a retina a imagem de objetos a grandes ou pequenas distâncias. O processo de mudança de curvatura é chamado de acomodação. O olho normal consegue, por meio da acomodação, observar objetos a partir de 25 cm de distância. Com o avanço da idade, a perda dessa flexibilidade limita o poder de focalização do olho, ocorrendo a conhecida “vista cansada”, tecnicamente conhecida como presbiopia.

Para tirar uma foto, procuramos segurar a máquina fotográfica com a maior firmeza possível. No entanto, o olho, ao observar algo, não fica parado. Pequenos movimentos trêmulos ocorrem involuntariamente. Esses movimentos imperceptíveis têm duas funções. Primeiro, evitam que uma mesma região da retina fique exposta por um longo período a uma luz intensa. Se isto acontecesse, as células fotorreceptoras perderiam temporariamente a sua sensibilidade. Segundo, permitem que a imagem que recai sobre o ponto cego da retina, região de convergência dos nervos ópticos e, portanto, insensível à luz, seja captada por células sensíveis adjacentes.

### Suas debilidades

Os olhos, chamados por alguns filósofos de *janela da alma*, nem sempre retratam o mundo exterior com fidelidade. O homem, no seu eterno desejo de conhecer melhor o mundo, procurou desde há muitos séculos, encontrar, quando preciso, uma maneira de “consertar” essa importante via de acesso à realidade externa. Assim surgiram os óculos.

Apesar da tremenda importância que os óculos têm, principalmente para quem os utiliza, não se sabe ao

certo quem os inventou. Marco Polo relata a sua existência na China já em 1270. Porém, os chineses afirmam que os óculos têm origem árabe. Os primeiros óculos eram feitos a partir de lentes convergentes para a correção da presbiopia. Os míopes tiveram ainda que esperar quase 300 anos para terem a vista corrigida.

Os primeiros óculos não eram como os de hoje, com hastes que se dobram e se apoiam sobre as orelhas. Este só apareceram no século XVIII. Também não havia muita ciência envolvida na escolha da lente apropriada. Era necessário tentar uma lente após outra, até achar a que mais conviesse.

Hoje em dia, os oftalmologistas sabem com precisão qual o grau da lente necessária para corrigir a visão. O grau da lente é dado em dioptrias, que é numericamente igual ao inverso da sua distância focal em metros. Será negativo se a lente for divergente (bordas espessas e região central delgada). Será positivo se a lente for convergente (bordas delgadas e região central espessa).

O míope possui o globo ocular alongado. Conseqüentemente, a imagem se forma antes da retina. É capaz de enxergar nitidamente apenas objetos muito próximos. Para que a imagem se forme corretamente sobre a retina, é preciso diminuir a convergência dos raios luminosos. Por isso, o míope utiliza lentes divergentes.

Para o hipermetrópe, que possui o globo ocular menos profundo que o normal, a imagem se forma depois da retina. Assim, para aumentar a convergência dos raios, os hipermetropes usam lentes convergentes. Sem elas, apenas objetos distantes são vistos com nitidez.

Já os astigmatas possuem um defeito na córnea. Esse defeito impossibilita a formação de imagens nítidas, independentemente da distância do objeto. Isso ocorre por que a córnea não apresenta uma curvatura esférica. A córnea do astigmata parece com uma bola de rugby ou de futebol americano, sendo portanto incapaz de formar uma imagem pontual a partir de um objeto pontual. A palavra astigmatismo, derivada do grego (a =

não, stigma = ponto), indica essa incapacidade.

### Instruções para dissecar um olho de boi

O olho de boi possui várias semelhanças com o olho humano e a sua observação pode ajudar muito o entendimento de como o nosso próprio olho funciona. Se você não é da área de biológicas e nunca dissecou nada, não se assuste; o que a princípio pode parecer repugnante se converte rapidamente em uma atividade fascinante.

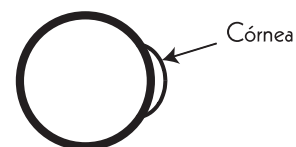
#### Material

- Bandeja ou prato fundo descartável
- Pinças (duas)
- Bisturi, estilete ou uma pequena tesoura
- Olho de boi (procure junto ao açougueiro ou em um abatedouro)

#### Procedimento

1. Retire o excesso de gordura e músculos que existe em torno do olho. A gordura serve de proteção ao olho contra impactos. Os músculos são responsáveis pela sua movimentação. O olho do boi possui apenas 4 músculos, enquanto que o do ser humano possui 6. Quando queremos ver um objeto com mais detalhes, posicionamos o nosso olho de forma que a imagem se forme sobre uma região da retina chamada fóvea. Nessa região, a densidade de células nervosas é maior, permitindo uma visão com maior nitidez.

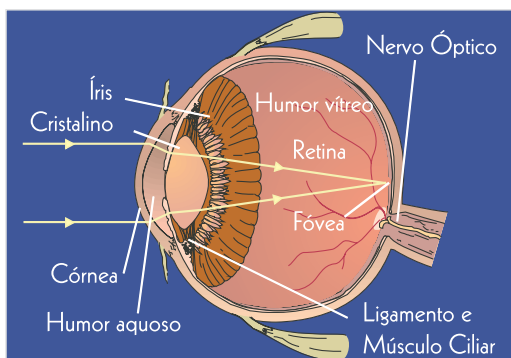
2. Retire a córnea. Podemos perceber a existência da nossa própria córnea da seguinte maneira: feche o olho, coloque o dedo sobre a pálpebra e movimente o olho de um lado para outro. Você perceberá uma protuberância.



Ao cortar a córnea, você notará que um líquido chamado humor aquoso sai de dentro dela. Esse líquido mantém a pressão que dá a forma à

córnea. Observe a íris, diafragma composto de músculos que mudam o diâmetro da pupila, controlando a quantidade de luz que entra no olho. O diâmetro da pupila no ser humano varia de 1,5 mm a 8 mm. Essa variação não é instantânea. Isso pode ser percebido facilmente se, de frente para um espelho apagarmos e acendermos a luz ambiente. A íris do boi é sempre marrom. Ou seja, não existem bois de olhos verdes ou azuis. Além disso, a sua pupila é oval, e não circular como a nossa.

3. Retire o cristalino. Veja através dele objetos distantes. Eles aparecerão de cabeça para baixo. O cristalino é

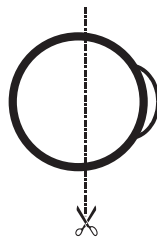


Esquema dos principais componentes do olho humano.

uma lente convergente. Observe traçinhos pretos ao redor dele. São os ligamentos que presos aos músculos ciliares, variam o tamanho da lente. Coloque o cristalino sobre um papel com algo escrito. Veja como ele funciona como uma lente de aumento.

4. Observe o humor vítreo. Ele é uma espécie de massa gelatinosa que preenche a parte interna do olho, definindo a sua forma. Ele também é responsável por manter a retina fixada no fundo do olho. Isto é muito importante pois, se a retina se dobra, o sinal que chegará no cérebro será confuso.

5. Corte o globo ocular pela metade. Observe, no fundo do olho, uma película vastamente irrigada por vasos sanguíneos. É a retina. Ela é como o filme fotográfico do olho. Está presa em um ponto chamado ponto cego, pois nele não há receptores sensíveis à luz. Nesse ponto, passa o feixe de nervos que formam o nervo óptico, que leva as informações ao cérebro.



6. Observe o *tapete* atrás da retina. O tapete é uma camada azul-esverdeada brilhante e colorida que reflete de volta para a retina a luz que já passou por ela. Ele permite ao boi enxergar melhor no escuro. O farol de um carro faz brilhar os olhos do gato pois ele também tem essa camada refletora no fundo do olho. O ser humano não possui o tapete: o fundo do nosso olho é preto e absorve a luz que passa pela retina.

### Sites com mais informações e experiências sobre a visão

#### Experiências

<http://www.fisica.ufc.br/oti3.htm>  
<http://www.exploratorium.edu/snacks/iconperception.html>

#### Animação (applet) mostrando como a imagem se forma sobre a retina

[http://users.erols.com/renau/eye\\_applet.html](http://users.erols.com/renau/eye_applet.html)

#### Mais informações

<http://www.fisica.ufc.br/tintim4.htm>  
<http://library.thinkquest.org/C001464/cgi-bin/view.cgi>



## A Água não Derrama...

### Material

- copo com água
- balão de aniversário (inflado até uns 10 cm de diâmetro)

### Procedimento

Molhe a borda do copo com o dedo umedecido e mantenha encostado nela o balão. Vire o copo com a boca para baixo e solte suavemente o balão.

### Observe que

Nem o balão cai, nem a água

derrama!

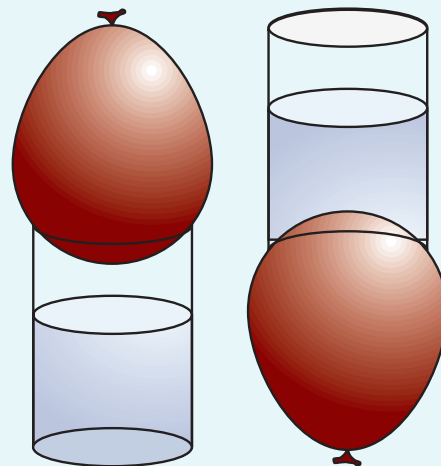
### Explicação

A pressão da água e do ar (de cima para baixo) contidos no copo é igual à pressão atmosférica (de baixo para cima) sobre o balão, de modo que o equilíbrio é mantido, e a água não derrama!

### Tópicos de discussão

- pressão atmosférica
- pressão hidrostática de líquidos

Francisco Catelli e Simone Pezzini  
 fcatelli@ucs.tche.br  
 Universidade de Caxias do Sul - RS





Entrevista com

# Tycho Brahe



O título deste artigo é certamente uma brincadeira, mas o assunto, não! O ano de 2001 assinala os 400 anos da morte do grande astrônomo Tycho Brahe, a quem muito deve a ciência moderna. Personagem quase desconhecido pelos nossos estudantes e professores de Física, ele é mencionado nos livros didáticos de forma esporádica, quase que exclusivamente pelo fato de Kepler haver utilizado os dados de suas observações na busca das três famosas leis do movimento planetário: as leis de Kepler. Mas Tycho é um personagem fascinante, misterioso, a quem a ciência moderna deve as primeiras peças de evidência contra o cosmos aristotélico. Essas peças de evidência pavimentaram o caminho para a aceitação posterior dos trabalhos de Copérnico e de Galileu. Paradoxalmente, Tycho era um adversário ferrenho de Copérnico.

Existe pouca coisa escrita em português para nos ajudar a entender toda essa história. A melhor delas é o clássico *Os Sonâmbulos*, escrito pelo inglês Arthur Koestler nos anos sessenta. Koestler era um jornalista e escritor inglês, que havia estudado Física na juventude. Sua obra é de fácil leitura e as informações ali contidas foram retiradas, principalmente, de obras de maior porte, como por exemplo o clássico livro de Dreyer<sup>1</sup> editado em Edimburgo em 1890 (e reeditado pela Dover em 1963). Desde aquela época muitos trabalhos interessantes têm sido escritos sobre Tycho e a sua obra; o mais notável deles, talvez, seja o livro de Victor Thoren editado em 1990 pela Cambridge University Press<sup>2</sup>. De qualquer modo, essas obras são todas de difícil acesso aos nossos estudantes e professores de Física. Além disso, com exceção do livro do Koestler, as outras obras mencionadas são trabalhos acadêmicos de difícil leitura para aqueles não iniciados nos meandros da história da ciência. Por esses motivos resolvemos lembrar os 400 anos da morte de Tycho Brahe contando um pouco da sua vida e da sua obra de um modo mais descontraído. Inventamos uma entrevista com Tycho, em um cenário surrealista: um bar à beira mar de Natal, por ocasião do XIV SNEF. Embora o relato que se segue seja, em sua concepção, uma fantasia pretensamente divertida, as informações históricas veiculadas estão todas apoiadas em obras de inegável valor acadêmico.

.....  
**Alexandre Medeiros**

Departamento de Física – Universidade  
Federal Rural de Pernambuco

.....



Esboço de Tycho Brahe.

---

Este artigo apresenta uma bem humorada conversa entre Tycho Brahe e um grupo de professores, todos sentados à beira da praia e diante de um copo. Embasado por diversos estudos acadêmicos, este texto também pode ser utilizado como uma representação teatral para se discutir aspectos históricos da astronomia.

## A Entrevista com Tycho Brahe

Sob um sol de rachar mamona, corria o XIV SNEF, em Natal. Estávamos nós, os colegas professores Jafelice, Ciclamio, Rogério, Marcelo, Marcílio, Osmar, Cleide, o Fernando e eu, conversando à beira mar em Natal sobre a divertida peça de teatro sobre a prensa hidráulica que havíamos encenado no XIV SNEF e até mesmo sobre histórias de assombrações. Um comentário do Rogério sobre Kepler despertou-me a lembrança dos 400 anos da morte de Tycho Brahe. O colega professor Jafelice comentou quão pouco se ensina sobre Tycho na escola e o professor Ciclamio misturou nossa conversa sobre assombrações com a possibilidade de conversarmos com Tycho sobre sua vida. Vários escritores famosos já utilizaram-se desse expediente para criar interessantes obras com fundo histórico. Daí para começarmos nossa própria criação foi um pulo...

Chegara a nossa cerveja, para abrir o apetite – ninguém é de ferro, e sob os quase quarenta graus de Natal, após uma intensa apresentação teatral, fazíamos por merecer. Fernando bebeu o primeiro gole e pousou o copo na mesa com força, batendo-o, mesmo. E começou a falar diferente, com uma voz rouca:

– Os livros didáticos e os professores de Física já não se lembram mais de mim...

Marcelo percebeu de imediato, e entrou no clima:

– Olhe aí, é ele, é o Tycho Brahe encarnando no Fernando. Milagre! Aleluia!

– Se é assim – disse eu, ainda meio sem entender o começo da brincadeira – vamos fazer algumas perguntas.

E começamos.

**Alexandre:** Oh, Tycho, por que você tá reclamando? Que é que você fez mesmo pra achar que merece ser citado por nossos colegas professores de Física?

**Tycho:** Eu revolucionei a Astronomia e com ela toda a ciência, vocês nunca ouviram falar nisso?

**Osmar:** Só sei que você andou fazendo umas observações do céu e que o Kepler depois as usou para chegar às suas leis.

**Tycho:** A história é um pouco mais complicada, meu caro. Além disso, minha obra não se resume a haver feito algumas observações para serem usadas após a minha morte pelo Kepler. Antes de mim as observações mais precisas eram feitas até o limite de dez minutos de arco. Com os meus novos instrumentos pude fazer medidas de até um minuto de arco. E tem mais: até então as posições dos planetas e da Lua eram medidas apenas em ocasiões especiais, quando eles estavam em alguns importantes pontos de suas órbitas, como, por exemplo, em oposição ou em quadratura. Com os instrumentos que inventei, pude acompanhar o movimento dos planetas noite após noite, durante anos.

**Marcílio:** como, se você não tinha telescópio? A invenção do telescópio não é da época de Galileu, depois da sua morte?

**Tycho:** Exato! E aí vocês podem avaliar a grandeza e a importância do meu trabalho. Mesmo sem telescópio eu consegui fazer medidas dez vezes mais precisas que as melhores até então disponíveis.

**Rogério:** que tipo de instrumentos eram esses?

**Tycho:** Eram muito variados. Havia principalmente *quadrantes* enormes, algo como um transferidor gigante, que eu e os meus auxiliares usávamos para melhor observar os deslocamentos angulares dos planetas. Havia também *esferas armilares* uma espécie de globo, com a Terra no centro e os planetas em volta. Eu a usava para marcar as posições das observações. Eram todos enormes, isso facilitava as medidas angulares.

**Rogério:** Eu tenho uma curiosidade de saber como o seu trabalho começou, onde estudou, em que se formou, coisas assim.

**Tycho:** Estudei em muitos lugares, mas me formar mesmo, não me formei em nada. Nunca tive paciência de terminar nenhum curso. E, além disso, sempre fui um cara muito brigão.

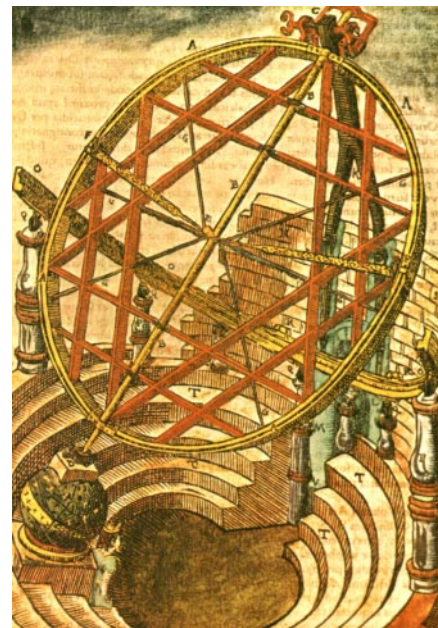
**Marcelo:** Peraí, dá pra começar do início? Fale onde você nasceu, quem eram seus pais, como foi criado, o que estudou, coisas assim.

**Tycho:** Está bem! Eu nasci em 14 de dezembro de 1546, no castelo de

Knudstrup, em Skania, na Dinamarca. Hoje o local fica na Suécia. O Brasil havia sido descoberto há bem pouco tempo e os portugueses mal haviam começado a explorá-lo, mas isso é um outro assunto. O fato é que os dinamarqueses dizem que eu sou dinamarquês e os suecos que eu sou sueco. Meu pai chamava-se Otto Brahe e pertencia à nobreza. A família Brahe era muito importante naquela época na Dinamarca, proprietária de vastas extensões de terra. Papai chegou a ser um dos membros da Câmara Alta, uma junta de vinte nobres que auxiliavam o rei na administração do país. Mamãe também tinha sangue azul, ela chamava-se Beate Billie e sua família era tão importante quanto a de papai. Vários parentes dela também fizeram parte da Câmara Alta. Titio Jorgen, no entanto, é quem tinha mais poder na família, ele chegou a ser Almirante da Armada dinamarquesa, comandando toda a nossa frota na guerra contra os suecos. Foi ele quem me criou, desde pequeno.

**Marcelo:** como é essa história, foi o seu tio quem lhe criou? Por que?

**Tycho:** Titio Jorgen não tinha um filho homem e fez papai prometer que quando mamãe tivesse um daria para ele criar. Papai prometeu, e deve ter ganhado algo com isso, mas não sei bem. Quando eu nasci, entretanto, papai não quis me dar e brigou com titio. Quando



Armilar equatorial desenvolvida por Tycho.

meu irmão nasceu titio me raptou e passou a me criar desde então. Depois de algum tempo papai e ele fizeram as pazes e eu continuei a morar com meu tio.

**Rogério:** E então, onde você estudou, como veio a se interessar pela Astronomia?

**Tycho:** Calma Rogério vou contar tudinho. Você ainda vai falar muito sobre mim e sobre a minha obra em sala de aula, principalmente agora que o Menezes, a Maria Regina e a Yassuko, lá da USP, trabalharam nos PCN e estão recomendando que aqui no Brasil se dê mais atenção a essas questões históricas. Aliás, o Thomsen e o Nielsen, dois físicos que trabalharam recentemente na reforma do ensino da Física lá na Dinamarca, também introduziram bastante coisa de história da ciência no currículo.

**Osmar:** Puxa! Você é um cara informado pra quem já morreu há tanto tempo.

**Marcelo:** Ele tá é feliz de ver o seu nome lembrado na escola.

**Tycho:** Eu mereço! (Risos)

**Jafelice:** E então Tycho, como é que você veio a se interessar pela Astronomia?

**Tycho:** Estudei numa escola paroquial. Desde os sete anos meu tio me colocou para estudar latim. Isso era um tanto esquisito, pois sendo um nobre eu precisaria apenas de aprender a caçar e fazer a guerra, mas titio desejava que fosse treinado nas coisas da administração do Estado; queria inserir-me no jogo do poder. Assim, já aos treze anos de idade, meu tio mandou-me para a Universidade de Copenhague.

**Marcelo:** Quer dizer que você fez o vestibular com treze anos?

**Tycho:** Não, eu não fiz vestibular nenhum. Aliás, isso nem existia. Na verdade como um nobre eu nem ao menos me matriculei, apenas fui para a Universidade estudar Direito e Filosofia e pronto.

**Osmar:** Direito? Não foi Física, nem Engenharia?

**Tycho:** Meu caro, na minha época, como atualmente, quem queria ganhar dinheiro ia estudar Direito, mesmo que fosse para fazer coisas erradas. Meu tio havia me colocado para estudar latim justamente com essa intenção. Lá passei

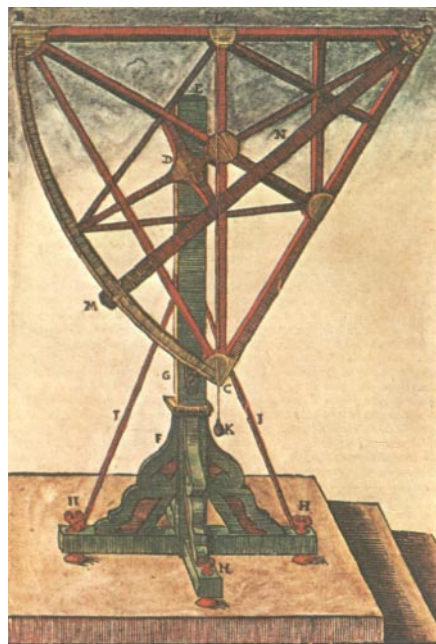
três anos. Durante esse tempo pude presenciar um fenômeno que me marcou muito e que o livro do Dreyer a meu respeito conta direitinho: um eclipse parcial do Sol. Ele havia sido previsto com exatidão pelos astrônomos. Eu achei aquilo incrível, que o homem pudesse saber o que aconteceria no reino dos céus. Pareceu-me algo divino que o homem pudesse conhecer o movimento dos astros e prever suas posições futuras. Eu que sempre fui um cara místico, passei a interessar-me pela astrologia.

**Osmar:** Você quer dizer Astronomia, não?

**Tycho:** Não, você ouviu bem: astrologia mesmo. Eu estava interessado na astrologia, a arte de desvendar os segredos do destino dos homens que estava estampado nos céus. Em prever o futuro, em fazer horóscopos. A Astronomia era uma mera coadjuvante da grande arte da astrologia. A Astronomia apenas cuidava de estudar os esquemas matemáticos que descrevessem os movimentos planetários e de observar a posição e o movimento dos astros.

**Cleide:** Quer dizer que você estava interessado, inicialmente, apenas na astrologia? Mas como veio a se tornar um astrônomo famoso?

**Tycho:** Boa pergunta! A questão é que, ao comprar uma edição em latim



Sextante idealizado por Tycho.

do *Almagesto*, o livro que Ptolomeu havia escrito sobre o movimento dos astros, eu logo percebi que as suas previsões estavam baseadas em dados observacionais muito falhos. Mesmo as correções feitas pelos astrônomos árabes não haviam contribuído muito para melhorar a qualidade das observações. E sem boas observações não me seria possível exercer bem a nobre tarefa de prever o futuro dos homens. Então, de início, foi mesmo por isso que comecei a me dedicar ao aperfeiçoamento das observações. Depois, no entanto, o fervor pela observação me tomou de tal modo que, mesmo sem abandonar jamais minha pretensão de fazer bons horóscopos, eles foram relegados a um segundo plano.

**Alexandre:** Então você nunca abandonou suas práticas astrológicas, apenas tornou-as secundárias?

**Tycho:** Em verdade, nenhum historiador jamais estabeleceu com clareza se eu abandonei a astrologia. Aliás, graças a ela ganhei cargos e mais prestígio social, como contarei daqui a pouco. A questão é que como vim a dar grandes contribuições à Astronomia, e dessas contribuições nasceu uma ciência que renega as crenças astrológicas, reescreveram o meu passado, ou melhor, omitiram parte dos meus afazeres. Agora veja lá, mesmo havendo feito contribuições para a agrimensura, e novas tabelas para as posições e para o movimento dos astros, você acha que algum rei daquela época me pagaria só para fazer isso?

**Alexandre:** Claro que não. Eu sempre disse isso, mas...

**Tycho:** Deixe-me continuar. O problema é que passaram a contar só aquilo que interessava de minha vida, para que a minha história ficasse alinhada com as contribuições posteriores de tantos outros em direção ao ideal de uma ciência essencialmente racional. Depois que historiadores, no século XX, começaram a revelar esses detalhes do meu passado, não sei se por isso, meu nome foi sumindo dos livros didáticos. Hoje é um escândalo, ninguém fala mais em mim. Vocês têm que fazer alguma coisa.

**Jafelice:** Então seja prático homem, continue a sua história.

**Tycho:** Onde eu estava?

Ciclamio: Você estava estudando na Universidade de Copenhague.

Tycho: Pois é, passei lá três bons anos, estudei um bocado e bebi muito.

Marcelo: Como é, você o que?

Tycho: Bebi muito, companheiro, desde jovem e por falar nisso bota mais um pouquinho de cerveja aqui no meu copo. Bebi a vinda inteira, sempre muito. E morri depois de uma bebedeira, mas depois eu conto isso.

Marcelo: Sabe, eu já topava com a sua cara e agora é que estou gostando mesmo.

Tycho: Obrigado. Pois então, eu saí de Copenhague e fui para a Universidade de Leipzig, na atual Alemanha, e lá continuei a estudar Direito, ou a frequentar as aulas, como queiram. Eu tinha dezesseis anos quando saí de Copenhague. Meu tio arranhou-me um tutor, um cara também jovem chamado Anders Vedel, que depois viria a se tornar o primeiro historiador famoso da Dinamarca. O Vedel deveria tentar me manter na linha que o meu tio havia traçado para mim: estudar Direito. Mas eu, naquela época já estava obcecado pelos mistérios dos céus. Comprei vários livros de Astronomia e instrumentos para fazer observações. Passei várias noites observando os céus. Naquela época eu já tinha completado os dezessete anos. Foi então que observei Júpiter e Saturno passarem muito perto um do outro. Aquilo, para mim, foi um acontecimento memorável. Isso se deu, precisamente, em 17 de agosto de 1563. Lendo as melhores tabelas astronômicas disponíveis naquela época, entretanto, constatei uma enorme disparidade entre o instante do acontecimento e o instante previsto. As tabelas Afonsinas, devidas aos astrônomos árabes, haviam errado a data do fenômeno observado por algo em torno de um mês, e mesmo as tabelas elaboradas pelo Copérnico também erravam sua previsão por vários dias. Aquilo tudo me pareceu inaceitável. Creio que foi naquela ocasião, para ser mais preciso, que decidi construir novas tabelas das posições dos astros e ficou claro para mim que isso implicaria na determinação daquelas posições com uma precisão até então nunca alcançada.

Marcelo: Você foi da mesma época

do Copérnico?

Jafelice: Epa! Você havia dito antes que a sua preocupação com a correção das tabelas astronômicas havia começado quando ainda estava em Copenhague, agora falou que foi só quando chegou em Leipzig. Qual é a verdade?

Tycho: Calma aí Jafelice, deixa eu responder primeiro ao Marcelo. Eu não fui contemporâneo do Copérnico não. Lembre-se que ele nasceu em 1473 e morreu em 1543. Eu nasci, portanto, três anos após a sua morte. Mas você precisa lembrar, também, que a grande obra do Copérnico, o *De Revolutionibus*, foi publicada logo após a sua morte. Portanto, naquela época, as idéias do Copérnico eram ainda bem recentes e causavam muita polêmica. Eu mesmo entrei nessa briga.

Alexandre: Você entrou não apenas nessa briga; você entrou em várias brigas.

Tycho: É verdade, mas deixe eu voltar para o que o Jafelice perguntou. Olha, fica difícil, após tantos anos da minha morte eu me lembrar, assim, com exatidão. Certamente meu interesse pelas coisas do céu, pela astrologia, deve ter nascido em Copenhague. Acredito, entretanto, que a minha decisão de elaborar novas tabelas astronômicas baseadas em observações mais precisas só tenha nascido em Leipzig, por ocasião da aproximação de Saturno e Júpiter.

Jafelice: Ah, ok. É que a gente quer saber como a coisa se deu para não inventar a seu respeito na sala de aula.

Tycho: Obrigado, já inventaram muita coisa ao meu respeito mesmo.

Jafelice: Prossiga!

Tycho: Então! Como eu havia decidido construir novas tabelas, ficou claro para mim que eu precisaria fazer observações cuidadosas por um longo período de tempo. Por essa época o Vedel desistiu de ser o meu tutor; ele já percebera que as coisas dos céus haviam me conquistado definitivamente e que eu jamais seria um bom estudante de Direito. Mesmo assim, continuamos amigos pelo resto da vida. Passei a assistir regularmente as aulas de Astronomia dadas por Scutetus. Nessa época titio morreu de pneumonia e havia me deixado como seu herdeiro. Mas eu não herdei apenas a fortuna do meu tio,

mas, sobretudo a gratidão que o Rei Frederico II tinha para com ele.

Rogério: Não estou entendendo.

Tycho: É que titio Jorgen, que era o almirante da armada, estava voltando de uma batalha na qual nós os dinamarqueses ensinamos aos suecos como se briga uma boa guerra.

Marcelo: Você estava lá?

Tycho: Eu não! Eu estava numa boa observando o céu e bebendo em Leipzig. O titio é que estava na batalha.

Marcelo: Entendi, mas é que você falou “nós ganhamos”.

Tycho: Modo de falar, força de expressão. Pois bem, respondendo ao Rogério: na comemoração da vitória o Rei Frederico II caiu ao mar e a água estava congelada. Titio, vendo aquilo, pulou na água e conseguiu salvar o Rei, mas contraiu uma pneumonia que rapidamente levou-o à morte.

Jafelice: Oh Tycho, essa história é verdade mesmo? Dá pra contar em sala de aula ou é apenas enrolação?

Tycho: Enrolação coisa nenhuma. Isso está no livro do Vedel sobre a história da Dinamarca. Você nunca leu?

Jafelice: Não sabia nem que esse cara existia.

Tycho: Pois é, está lá, vários historiadores da ciência já registraram isso.

Jafelice: Eu acredito, pode continuar.

Tycho: Pois é, aí o Rei Frederico II, de certo modo, transferiu aquela sua gratidão para com o titio Jorgen para mim.

Marcelo: Cara de sorte esse Tycho.

Tycho: Nessa ocasião voltei para a Dinamarca, mas a minha família não via com bons olhos a minha idéia de me dedicar ao estudo dos céus. Voltei então para a Alemanha, indo para Augsburg. Lá, convenci alguns astrônomos amadores muito ricos que era necessário construir grandes e caros instrumentos de observação para que a Astronomia pudesse ser aperfeiçoada. Refiro-me aos grandes quadrantes. Foi ali que comecei minha dedicação total à tarefa de realizar observações cada vez mais precisas. Sem elas a Astronomia nunca teria saído do estado em que se encontrava. De Augsburg fui estudar na Universidade de Wittenberg, em 1566. Apesar de não haver me matriculado oficialmente, passei a assistir

regularmente às aulas de Astronomia de Caspar Peucer. A peste negra assolou Wittenberg e ainda naquele mesmo ano fui para a Universidade de Rostock.

Marcelo: E você tem alguma lembrança dessa época da peste, Tycho?

Tycho: Da peste não, mas foi por aqueles tempos que briguei e perdi meu nariz.

Marcelo: Já que tocou nesse assunto Tycho, que negócio é esse que você usa aí no lugar do nariz. Isso é um pedaço de lata, uma peça de metal, o que é isso?

Tycho: Mais respeito, seu atrevido, veja lá como fala! Foi justamente em Rostock que a coisa começou. Briguei com um colega que dizia ser melhor matemático do que eu. Que audácia! Desafiei o atrevido para um duelo e o maldito cortou-me o nariz. Passei o resto da vida usando essa prótese horrenda de metal. E ainda precisei andar o resto da vida com uma caixinha de um óleo xexelento para passar na maldita peça, a fim de mantê-la sempre no lugar.

Cleide: Que nojento!

Tycho: É sim, aliás vamos mudar de assunto, por favor.

Alexandre: Ok, Tycho e depois de Rostock?

Tycho: Ainda tentei no ano seguinte voltar a Rostock, mas a justiça aplicou-me uma multa devido ao tal duelo. Imagine se eu houvesse arrancado o nariz daquele canalha. Em 1568 fui para a Universidade da Basileia, na Suíça. A cidade é linda e bastante civilizada, bem junto ao rio Reno. Fiquei pouco tempo por lá, mas guardei ótimas lembranças do local. Voltei para lá tempos depois. Aos vinte e seis anos, em 1570, voltei para a Dinamarca e fui morar com meu tio por parte de mãe, Steen Bille. Ele era um cara dinâmico, havia fundado a primeira fábrica de papel da Dinamarca. Ele era também o único na família, na época, que me apoiava no meu amor pelos astros.

Alexandre: Foi quando apareceu aquela supernova?

Tycho: É, eu estava morando na casa do tio Steen. Ele tinha um laboratório de Alquimia no porão. Mas não foi exatamente na época que voltei, foi dois anos depois, em 1572.

Ciclamio: Oh, Tycho, então conta

direito como foi...

Tycho: Pois é, eu havia passado a noite em claro no laboratório de Alquimia do tio e olhando para o céu me deparei com uma estrela muito brilhante na constelação de Cassiopéia; ela era mais brilhante do que Vênus. Imaginem só, ela brilhava até durante o dia! Não fui, claro, o primeiro a observá-la, mas fiquei tão impressionado com aquele fenômeno que chamei outras pessoas para testemunharem que eu não estava tendo uma alucinação.

Ciclamio: E daí, você ficou deslumbrado com o fenômeno, mas por que a coisa veio a tornar-se tão polêmica?

Tycho: Porquê segundo o grande Aristóteles o Cosmos era ordenado num mundo sublunar, onde todos nós vivemos e onde existe corrupção.

Marcelo: E como existe!

Tycho: É, mas eu estou falando de corrupção em um sentido mais amplo, de mudança. Segundo Aristóteles, nesse nosso mundo sublunar as coisas estariam sujeitas a mudanças, a transformações. Já no mundo supralunar, nas esferas dos planetas e das estrelas, tudo seria perfeito e imutável. O mundo dos céus, sendo perfeito, não poderia mudar.

Rogério: E uma simples Nova causou tanto reboliço?

Tycho: Sim; o aparecimento de um novo objeto nos céus provocou um intenso debate: ele estaria localizado abaixo ou acima da Lua? Se estivesse abaixo, tudo bem, mas se estivesse acima o caldo entornava. Teríamos uma mudança no céu antes tido como imutável.

Cleide: E como você entrou nessa disputa?

Tycho: Os astrônomos todos correram para determinar o local da tal estrela Nova. Todos nós usávamos a idéia de tentar determinar a paralaxe, o deslocamento aparente daquele objeto em relação às demais estrelas. A idéia era medir o ângulo de visada entre a estrela Nova e uma outra estrela, mudar de local e medir novamente. Se a tal estrela Nova estivesse próxima da Terra ela deveria apresentar um deslocamento angular aparente, uma paralaxe. O Maestlin de Tubingen, que foi professor do Kepler, vocês sabem, me-

diu e não encontrou paralaxe nenhuma; o Thomas Diggs, na Inglaterra também. Mas as medidas deles eram muito imprecisas, de forma que quando eu resolvi medir a tal paralaxe com os meus novos instrumentos, toda a Europa voltou sua atenção para o meu trabalho. Aquilo me colocou na vitrine.

Rogério: E qual o seu resultado?

Tycho: Também não encontrei qualquer paralaxe. A questão é que dentro da precisão em que minhas medidas haviam sido feitas a tal estrela Nova deveria, no mínimo estar para além da oitava esfera das estrelas. Isso foi um golpe tremendo no dogma da imutabilidade do Cosmos aristotélico que havia se tornado a visão da Igreja Católica.

Marcelo: Você era católico?

Tycho: Não, eu era luterano! Não muito convicto, é claro, pois sempre fui um místico e, além disso, dado às minhas carraspanas, mas ainda assim um luterano.

Rogério: E então?

Tycho: Então eu pensei em publicar aquilo, mas hesitei porque não ficava bem para um nobre publicar livros.

Jafelice: Não sabia que havia esse preconceito.

Tycho: É, havia, mas eu decidi romper com o preconceito e no ano seguinte publiquei um livro sobre a tal estrela Nova, o título era: *Sobre a Nova Estrela Nunca Vista Antes*. Parece que recentemente traduziram esse meu livro para o português. Algum de vocês viu o livro?

Marcelo: É, parece que saiu uma edição uns tempos atrás pela editora Nova Stella, mas é coisa rara de se encontrar.

Tycho: O interessante é que logo após esse evento, em 1574, alguns nobres mais jovens da corte em Copenhague me pediram que lhes desse umas aulas de Astronomia e que falasse sobre minha descoberta a respeito daquela estrela Nova. Mais uma vez, hesitei. Dar aulas não era coisa para nobres. Ensinar é coisa de pobre.

Osmar: Puxa, você acha isso, é? Aqui todos nós somos professores, sabia?

Tycho: Claro que sabia. Algum de vocês aqui é rico? Ou pensam que só porque já morri há tanto tempo podem

me enrolar?

**Rogério:** E eu que já estava pensando em convidá-lo para dar uma palestra lá no Colégio sobre a história da ciência e as novas diretrizes dos PCN...

**Tycho:** Bom, de qualquer modo eu dei as tais aulas na Universidade de Copenhague. No íntimo eu me sentia feliz de falar sobre coisas que nenhum outro poderia falar, pois ninguém tinha a possibilidade de fazer medidas tão precisas quanto as minhas. Lembrando que o próprio Rei pediu-me para dar as tais aulas, vemos que eu não tinha como escapar. No ano seguinte, em 1576, eu já era famoso por toda a Europa. Decidi, então, desfrutar da minha fama e fazer uma longa viagem encontrando-me com astrônomos por todo o continente. Aproveitei para rever a Basileia e pensei mesmo em me estabelecer por lá. Meu Rei, Frederico II, ficou muito preocupado com a possibilidade de perder os meus serviços de astrólogo real e ofereceu-me vários castelos para que eu voltasse à Dinamarca. Recusei todos eles, mas quando ele me ofereceu, em 1576, a posse da ilha de Hven e muitos recursos materiais para construir um castelo e um observatório, do modo que eu desejasse, resolvi aceitar. Hven, que atualmente é chamada apenas de Ven, significava a ilha do céu. Ela fica no meio da baía que se estende entre a Dinamarca e a Suécia. Na época pertencia à Dinamarca, hoje pertence à Suécia.

**Marcelo:** Não é da minha conta, mas quanta grana você ganhou para construir esse tal castelo e o tal observatório?

**Tycho:** Foi muito dinheiro mesmo. Para você ter uma idéia, a quantia equivalia a aproximadamente 10% do orçamento da Dinamarca. Nem o projeto Apolo dos americanos para chegar à Lua, mobilizou, proporcionalmente, tantos recursos de uma nação.

**Osmar:** Puxa, era dinheiro muito! E o que você construiu por lá?

**Tycho:** Construí Uraniborg, o “Castelo dos Céus”, um imenso palácio de três andares especialmente projetado, sob minha supervisão, por um arquiteto alemão, para ser o maior observatório astronômico do mundo. Ele tinha uma ótima biblioteca e uma grande quantidade de instrumentos de madei-

ra e bronze, como quadrantes, astrolábios, régua de paralaxe, esferas armilares e relógios dos mais precisos. E tudo gigantesco e em dobro. Uraniborg era suntuoso, tinha instalações luxuosas para mim e acomodações para vários estudantes de Astronomia e para toda uma equipe de ajudantes. Tinha jardins, laboratório de alquimia no porão, tinha uma gráfica, uma fábrica de papel e tinha até enormes salões de festa. Por falar nisso, eu dava festas incríveis, às quais compareciam nobres, príncipes e até reis. Eu tinha até um anão para fazer graças nas minhas festas e tinha também o meu alce de estimação.

**Marcelo:** Você criava um alce dentro do seu castelo? Foi isso que eu entendi?

**Tycho:** Isso! Mas o bicho morreu de uma queda na escada. Fiquei muito triste.

**Cleide:** E de onde vinha todo esse dinheiro em um Estado tão pequeno como a Dinamarca?

**Tycho:** Vinha, principalmente, das riquezas que haviam sido expropriadas da Igreja com a Reforma Protestante. Sem ela, não teria havido Uraniborg.

**Marcelo:** Agora você contou o pulo do gato, companheiro.

**Tycho:** Pois é, Uraniborg era para mim uma festa em todos os sentidos, dos prazeres intelectuais aos prazeres da vida. Lá tive muitos filhos, dei festas, e, sobretudo, observei atentamente o céu, com a ajuda dos meus instrumentos e dos meus auxiliares. Dos instrumentos já falei. Dos estudantes vale a pena falar um pouco.

Tive vários e muito talentosos. Uraniborg era mais que um observatório era uma verdadeira escola de Astronomia. Foram meus discípulos em Uraniborg, dentre outros, Peder Jacobsen Flemlose, John Hammond, Elias Olsen Morsing, Gellius Sascrides, Paul Wittich, Willem Janszoon Blaeu e, acima de todos, Christian Sorensen, conhecido como Longomontanus,

meu principal auxiliar.

**Marcelo:** E o Kepler? Ele não foi seu aluno nessa época?

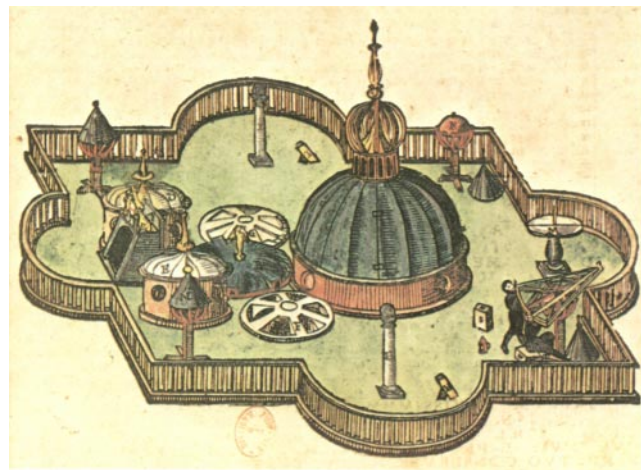
**Tycho:** Não! Na verdade este senhor nunca foi propriamente meu aluno, mas apenas meu ajudante e só o conheci perto de morrer, quando já estava morando em Praga. Ele havia estudado com o Maestlin, em Tubingen. Chegaremos lá.

**Marcelo:** Parece que você não tinha muita simpatia pelo Kepler.

**Tycho:** Realmente, ele era teimoso como eu; e dois bicudos não se beijam. Isso é um assunto para falar depois, mas já que perguntaram, aqui vai a resposta. Na verdade só aceitei o Kepler como meu ajudante em Praga, porque confiava nos seus dotes matemáticos e, estando no fim da vida, acreditava precisar da sua ajuda para estabelecer a veracidade do meu modelo do Cosmos. Longomontanus havia falhado naqueles cálculos para ajustar a órbita de Marte. E Kepler, por seu lado, queria mesmo era botar a mão nos meus dados para tentar provar as idéias dele, que eram bem diferentes das minhas, sobre o Cosmos. Ele era um interesseiro e um chato.

**Rogério:** Agora eu me atrapalhei todo. Kepler não era seu discípulo? Os livros didáticos dizem que você deixou os seus dados para ele e insinuam que ele continuou a sua obra. Não foi isso?

**Tycho:** Uma ova! O Kepler, como já disse, pensava bem diferentemente de mim. Ele só queria os meus dados. E é mentira essa história de que deixei



Esboço de Uraniborg, o observatório de Tycho, que começou a ser construído em 1576.

os meus dados para ele. Eu nunca faria isso. Os dados ficaram com a minha família. Ele se apossou de boa parte dos dados após a minha morte.

**Rogério:** O negócio está ficando confuso.

**Jafelice:** É Tycho, o Rogério tem razão, eu já vi coisas assim nos livros didáticos; que você e o Kepler eram chapinha um do outro.

**Tycho:** Já estou perdendo a paciência, esses tais livros didáticos de vocês contam absurdos. Leiam, por exemplo, o livro que o Thoren escreveu a meu respeito.

**Marcelo:** Calma Tycho, senão o seu nariz cai no chão.

**Tycho:** Olha, deixa eu voltar a história para quando morava ainda em Uraniborg e aí vocês vão entender. Em 1577 surgiu aquele famoso cometa e eu me lancei à tarefa de medir a sua posição, determinar se ele estava no mundo sublunar e se era, portanto, um fenômeno atmosférico, como muitos pensavam, ou se estava no mundo supralunar. Meus estudos foram detalhados; àquela época eu já levava em conta até a correção da posição dos astros devido à refração da luz e com os meus muitos e gigantescos instrumentos pude medir tudo com bastante precisão. Como já disse, Uraniborg tinha dois conjuntos separados de instrumentos, de modo que as medidas eram sempre feitas, simultaneamente, em dobro. Pois bem, as minhas observações levaram-me a concluir que o tal cometa não apenas era um fenômeno supralunar, assim como antes havia constatado para aquela estrela Nova de 1572. Descobri também que ele cruzava as várias esferas celestes. Isso abalou muito as crenças cosmológicas da época. A Igreja não respondeu às minhas observações, mas as tais esferas de cristal que sustentavam os planetas foram caindo em desuso. Agora só se falava em órbita dos planetas, não mais em esferas.

**Rogério:** Foi por essa época que você rompeu com o dogma aristotélico?

**Tycho:** Na verdade eu nunca rompi com o dogma aristotélico, eu sempre fui, no fundo, um aristotélico. Eu acreditava que os corpos que caem, caem porque precisam realizar seu intento de buscarem o centro do Universo, o

centro da Terra. Se por um lado eu já não aceitava o modelo de Ptolomeu, que conduzia a enormes falhas nos cálculos das posições dos astros, por outro lado, eu ainda era, no fundo, um geocentrista. Eu não aceitava de modo algum o modelo copernicano.

**Jafelice:** Mas você não havia contribuído para desafiar o velho cosmos aristotélico?

**Tycho:** Havia, e daí?

**Rogério:** Ora, se desafiou a crença aristotélica da imutabilidade dos céus, de certo modo pode-se dizer que você criou um clima propício para a aceitação das idéias de Copérnico e posteriormente das de Galileu, certo?

**Tycho:** Certo, mas isso foi contra a minha vontade. Veja lá. Eu tinha boas razões para não ser um copernicano. Qualquer astrônomo de juízo, à minha época teria. Duvido que você fosse um copernicano se houvesse tido acesso aos dados que eu tive.

**Marcelo:** Como assim?

**Tycho:** Eu estava empenhado em determinar a paralaxe das estrelas. Se o sistema copernicano fosse verdadeiro então a Terra se moveria ao redor do Sol, certo?

**Rogério:** Certo!

**Tycho:** Pois bem, se a Terra se movesse em torno do Sol, como queria o Copérnico, nós deveríamos ver as estrelas sofrerem deslocamentos aparentes, paralaxes, certo? Lembre-se que após aproximadamente seis meses, entre o periélio e o afélio, estaríamos do outro lado da órbita da Terra em torno do Sol, certo?

**Ciclâmio:** Certo!

**Tycho:** Pois bem, eu medi com a maior precisão possível as posições das estrelas com seis meses de intervalo. E qual a paralaxe que achei? Nenhuma, absolutamente nenhuma! Então o que eu poderia concluir?

**Marcílio:** Sim, o que você poderia concluir?

**Tycho:** Quem perguntou isso fui eu, responda você! Está vendo porque eu não gosto de ensinar?

**Osmar:** Calma Tycho, o Marcílio tem razão; não está claro o que você deveria concluir.

**Tycho:** Pois preste atenção! Eu poderia concluir duas coisas, ou uma ou a outra. A primeira, é que a falta de

paralaxe indicava que a Terra não se movia, como queria o Ptolomeu; e a segunda, é que as estrelas estavam tão distantes que o Universo deveria ser praticamente infinito, como queria o Copérnico. O que é que você concluiria?

**Marcílio:** Que o Universo é infinito.

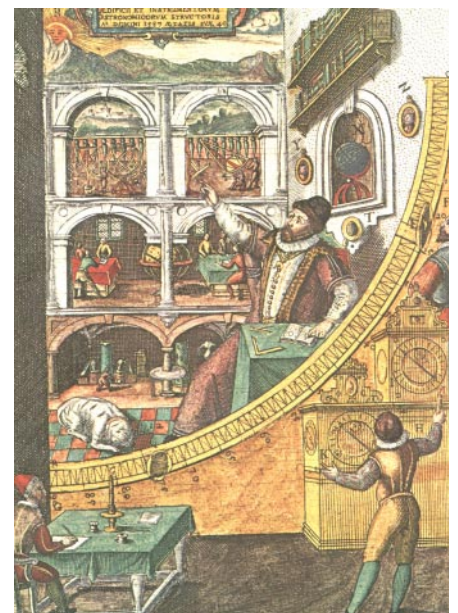
**Tycho:** Uma ova! Você diz isso porque leu nos livros, criou-se numa cultura heliocentrista, é um copernicano de berço, não de reflexão.

**Marcílio:** Olhe aqui Tycho, eu agora me enfezei. Eu sou nordestino e dou-lhe um murro nesse seu nariz de lata se você não retirar o que disse. Tá pensando que só porque você já morreu pode vir aqui tirar onda com a minha cara?

**Cleide:** Calma Marcílio, o homem já morreu faz tempo.

**Jafelice:** É pessoal, vamos ter calma e ouvir o resto da argumentação do Tycho.

**Tycho:** Fiquem sabendo os senhores que não arredo o pé; aliás foi por coisas desse tipo que perdi o meu nariz. Mas vejam lá: das duas respostas possíveis, a de admitir que o Universo fosse praticamente infinito pareceu-me absurda, como pareceu a quase todo mundo naquela época. Por outro lado, admitir que a Terra estava parada no centro do Universo era muito convidativo. Eu optei por essa resposta. Apesar de haver abalado as estruturas do edifício aristotélico, de chegar a formular duas possibilidades de resposta para



Quadrante construído por Tycho.



o problema, eu escolhi a mais conservadora das duas. A outra pareceu-me uma loucura. E aí fiquei com um enorme problema para resolver: encontrar um outro modelo, uma terceira via, nem Ptolomeu, nem Copérnico, entendeu?

Rogério: Estou entendendo. E aí como você criou esse seu modelo?

Tycho: Foi já por volta de 1583 que eu me inspirei no antigo modelo de Heráclides do Ponto, um antigo pitagórico meio esquecido, para criar o meu próprio modelo. O meu modelo era muito semelhante ao dele. Sem explicar agora os detalhes técnicos, a coisa era mais um menos um compromisso entre o melhor dos dois sistemas, o de Ptolomeu e o de Copérnico. Os planetas giravam em torno do Sol, não mais da Terra, como queria Copérnico; no entanto, o Sol e os planetas com ele, giravam todos juntos em redor da Terra. Aquele modelo de compromisso parecia-me esteticamente perfeito, eu só precisava encontrar as peças de evidência. Foi aí que mergulhei febrilmente na coleta de dados observacionais que apoiassem o meu sistema.

Jafelice: Mas qual era a vantagem desse seu sistema em termos explicativos, em relação aos outros dois?

Tycho: Olha, os livros didáticos de vocês mal falam no meu nome. Muitos pensam, quando ouvem falar que eu tinha um outro modelo, que o do Copérnico era melhor que o meu. Isso é um tremendo engano. Mais que um engano, isso é uma enorme injustiça para comigo. Meu modelo veio depois do de Copérnico. Eu, claro, havia lido as coisas do Copérnico e minhas previsões eram mais precisas que as dele naquele momento.

Osmar: Oh, Tycho. Você não está puxando a brasa para a sua sardinha?

Tycho: Não senhor. Lembre-se que o modelo do Copérnico só ficou mais preciso que o meu depois que o maldito do Kepler sacou aquela coisa das elipses. E a aceitação das idéias do Copérnico, depois de modificadas pelo Kepler, só veio também após a nova Física do Galileu e do Newton darem à teoria do Copérnico um respaldo que a Física do Aristóteles não podia dar. Mas à minha época, a minha teoria era melhor que a do Copérnico, disso eu não tenho dú-

vidas, companheiro. É que tem certas coisas que só conheci depois de morto, como a Física do Galileu e do Newton, e aí não dava mais, né?

Rogério: Estou gostando desse seu papo, mas onde é que eu posso ler algo desse tipo?

Tycho: Recentemente mesmo, em 2000, o *European Journal of Physics* publicou um artigo da Forinash e do Rumsey sobre um curso de história da ciência para estudantes de Física que fala nisso. Dê uma olhada.

Osmar: Você lê muito em cara? Para um morto, você tá bem atualizado.

Tycho: É, eu li tudo o que aparece ao meu respeito e sobre Física lá na biblioteca do céu.

Jafelice: Oh, Tycho. Eu ainda estou curioso de saber quais as loucuras que você via no modelo do Copérnico.

Marcílio: É isso aí. Para mim o modelo do Copérnico é que está certo. O seu tá errado.

Tycho: Oh espertinho, se o modelo do Copérnico está certo, por que você chama ele de “modelo”?

Marcílio: Espertinho é a sua vovozinha, seu nariz de lata. Vamos conversar lá fora!

Jafelice: Calma, calma! Eu quero saber o que o Tycho tinha tanto contra o modelo do Copérnico.

Tycho: Bem, em primeiro lugar, eu evitava aquilo que me parecia uma loucura do sistema do Copérnico. Como os corpos devem cair para o centro do Universo, segundo Aristóteles, se a Terra não estivesse no centro do mesmo, como dizia o Copérnico, nós veríamos os corpos caírem na direção desse tal centro, o Sol, por exemplo, e não como vemos na realidade, em direção ao centro da Terra. E em segundo lugar...

Ciclâmio: Espera aí Tycho, esse seu argumento não está legal. Você está rejeitando a idéia do Copérnico dizendo que está baseado em observações da realidade da queda dos corpos, mas ao descrever tais observações você já incorpora, implicitamente, a concepção aristotélica de que cair significa dirigir-se ao centro da Terra.

Tycho: Muito inteligente a sua observação, meu jovem. Se eu ainda estivesse vivo eu o contrataria para trabalhar comigo.

Ciclâmio: Obrigado; como eu moro perto do cemitério e o meu salário não é lá essas coisas, estou já pensando em aceitar a sua oferta de antemão.

Tycho: É, meu caro, mas perceba que se minhas observações da queda dos corpos estavam, como vocês dizem atualmente, carregadas de teoria, isso não é menos verdade para as suas teorias atuais. Toda observação na ciência sempre esteve carregada de teoria, não apenas as minhas.

Marcílio: Como assim, Tycho? Eu quando ensino Física sei, muito bem, que ela é uma ciência experimental. Que as leis que ensinamos saem todas da observação, sem preconceitos teóricos do tipo desse seu.

Tycho: Engano seu, caro colega. Apesar de morto, continuo lendo as coisas que os meus sucessores escreveram. Quando você ensina a primeira lei de Newton, por exemplo, diz que se nenhuma força atuar sobre um corpo ele permanecerá em estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme.

Osmar: Mas claro, pois isso pode ser demonstrado experimentalmente.

Tycho: Onde? Como? Pode coisa nenhuma! Por que vocês não fazem uma entrevista também com o Newton ou com o Galileu sobre esse assunto?

Jafelice: Faremos isso, mas por enquanto continue o papo sobre a sua história. Quais eram as outras loucuras do modelo do Copérnico?

Tycho: Além da que acabei de falar sobre essa doídice de os corpos terem de cair em direção ao Sol, no meu modo aristotélico de ver as coisas, tinha também o fato de que se a Terra estivesse girando os corpos não cairiam aos pés dos locais em que haviam sido soltos, como sabemos que caem, mas para trás destes pontos. Os pássaros não conseguiriam voar devido ao vento da Terra se deslocando no espaço. São coisas dessa natureza, e para completar tinha o fato de que eu não havia achado qualquer paralaxe para as estrelas, o que ao menos para mim indicava que a Terra deveria estar parada no centro do Universo.

Alexandre: Você estava coberto de razão, vendo as coisas do seu ponto de vista aristotélico. Suas observações, interpretadas com os olhos teóricos do aristotelismo, só poderiam tê-lo levado

às conclusões que chegou. O problema não estava nas suas observações, mas na necessidade de uma outra Física, radicalmente diferente da de Aristóteles, para dar um sentido completamente diverso naquilo que você estava observando. E isso só veio com o Galileu e com o Newton.

**Tycho:** Obrigado pela compreensão. Vocês deveriam conversar também com o Ernest Mach sobre essas coisas.

**Jafelice:** Também já está na nossa agenda.

**Tycho:** Posso continuar minha história?

**Alexandre:** Claro, vá em frente, mas fale um pouco das suas maldades com os camponeses lá na ilha de Hven.

**Tycho:** É, eu era um pouco exigente.

**Alexandre:** Exigente? Os historiadores dizem que você era cruel, que explorava os pobres camponeses a um ponto que até o Rei se revoltou. Dizem que você possuía uma cadeia em Uraniborg onde trancafiava quem você queria. Isso é verdade?

**Tycho:** Bem, isso já faz muito tempo, não me lembro direito, mas eu tinha uma cadeia sim, para colocar lá os teimosos, aqueles que não concordassem com as minhas ordens.

**Ciclamio:** Declino do convite de ser seu assistente.

**Tycho:** O que me lembro bem é que a coisa piorou em 1588, quando o Rei Frederico II morreu de uma bebedeira.

**Marcelo:** Como é, o Rei Frederico II morreu de que?

**Tycho:** De uma bebedeira, de um porre exagerado. O Vedel conta isso direitinho no livro dele sobre a história da Dinamarca.

**Rogério:** E o que é que mudou com isso?

**Tycho:** Mudou muita coisa. Frederico sempre havia me apoiado, eu havia prestado bons serviços para ele.

**Alexandre:** De que tipo?

**Tycho:** Vários tipos. Eu sempre fiz previsões astrológicas para ele. Eu fazia todo ano uma espécie de prognóstico astrológico do que poderia acontecer. Em 1577, ano que aquele cometa apareceu, eu fiz um prognóstico especial. Além disso eu, como um discípulo de Paracelsus que sempre fui, preparava remédios no meu laboratório de Alqui-

mia. Os livros didáticos de vocês não falam disso, mas foram aquelas coisas que garantiram o apoio do Frederico. Eu fiz também os horóscopos de todos os seus filhos ao nascerem, até o do desgraçado do Cristiano IV.

**Rogério:** Quem era esse tal Cristiano IV, por que essa raiva dele?

**Tycho:** Cristiano IV era o filho mais velho do Frederico, que assumiu o trono em 1588 com a morte do pai. Ele era muito jovem e não gostava de mim. A coisa foi degenerando. Eu não era lá nenhuma flor, mas tinha uma competência reconhecida mundialmente, enquanto o Cristiano IV era um jovem idiota, que vivia me mandando cartinhas com reclamações. Mas a história vingou-se dele, reduzindo-o à sua insignificância. Quem se lembra do Cristiano IV?

**Jafelice:** Eu nunca tinha ouvido falar.

**Rogério:** Nem eu.

**Alexandre:** Eu sabia que ele havia brigado com você e que por isso você terminou abandonando a Dinamarca e Uraniborg.

**Tycho:** Olha aí! Ele só entrou na história nas minhas costas. Ele ficava me exigindo satisfação para tudo. Chegou ao ponto que eu não podia mais trabalhar nas minhas observações, nas minhas idéias. Foi aí, em 1597, que resolvi por um fim naquilo tudo. Arrumei todas as minhas coisas, desmontei e empacotei meus gigantescos instrumentos e sai pela Europa procurando um lugar onde pudesse trabalhar bem e em paz. Mas antes de sair dei alguns conselhos para as próximas gerações que ficaram famosos.

**Rogério:** Quais?

**Tycho:** Anotem aí, isso está escrito em vários lugares, podem citar à vontade. Primeiro: *um cientista tem que ter uma mente cosmopolita, pois não pode esperar jamais que autoridades*

*ignorantes apreciem o valor do seu trabalho.*

**Cleide:** Gostei!

**Alexandre:** Eu também!

**Tycho:** Pois é, e passei a procurar um local de trabalho baseado em uma idéia central: *minha pátria é onde eu me sinta bem e tenha um céu por cima para ser observado.* E lá fui eu pela Europa com os meus troços embaixo do braço.

**Alexandre:** Mas você ainda tentou voltar à Dinamarca, não foi? Tentou fazer as pazes com o Cristiano IV, não é verdade?

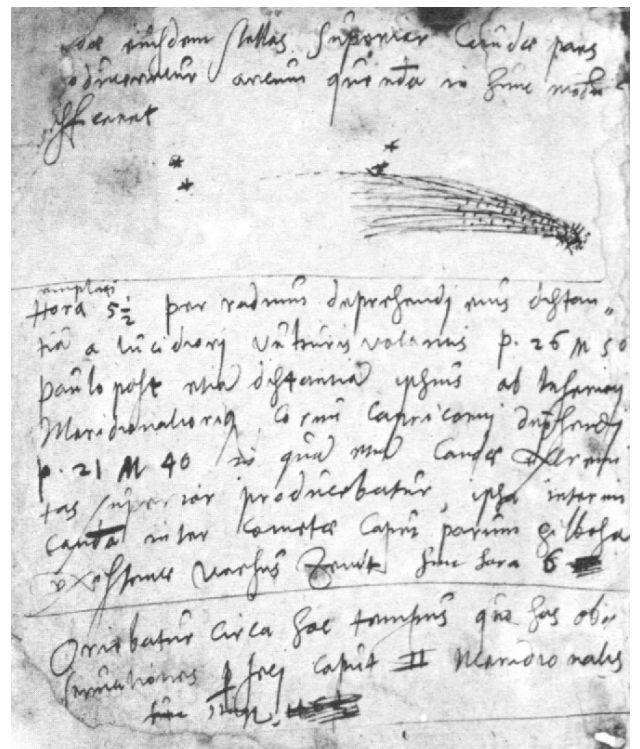
**Tycho:** É, mas não deu mais mesmo. Eu exigi o que merecia e o Cristiano mandou eu esquecer. Miserável!

**Osmar:** E onde você foi parar?

**Tycho:** Bem, eu perambulei um pouco, porque sempre fui muito exigente.

**Marcelio:** Alguma Universidade ofereceu-lhe algum cargo?

**Tycho:** Várias, mas não era o que eu queria. Já em 1577, no ano do cometa, fui indicado para ser Reitor da Universidade de Copenhague. Pensaram que aquilo seria uma honra para mim; led engano. O que eu queria era me concentrar nos meus afazeres intelectuais e mundanos. Recusei o convite e acho que muitos se espantaram com



Anotações de Tycho sobre o cometa de 1577.

isso. Pois bem, vinte anos depois, após sair da Dinamarca, em 1597, perambulei pela Europa com a minha família e os meus instrumentos.

Rogério: Que idade você tinha?

Tycho: Tinha 51 anos, já era um velho.

Rogério: Qual é, você ainda era jovem.

Tycho: Eu já era meio gasto; muitas noites sem dormir, a vida inteira olhando para os céus ou para coisas ainda mais bonitas, você sabe, e bebendo, bebendo muito.

Osmar: Puxa, você não era lá um exemplo de vida para os nossos jovens. Acho que você, Rogério, não deveria falar desse cara nas suas aulas de Física.

Tycho: Meu amigo, a ciência sempre foi construída por homens normais, com virtudes e com defeitos, como eu. Essa coisa de ficar enfeitando só complica, falseia a história. Se quiser contar histórias da carochinha continue dizendo que o Kepler, aquele chato, era como um filho para mim, e que eu deixei os meus escritos para ele e ele continuou o meu trabalho. Agora, que isso é conversa fiada, é!

Osmar: Puxa, como você é chato cara!

Marcílio: Eu também estou achando. Segura ele que eu meto a mão.

Tycho: Não é questão de ser ou não ser chato. A questão é saber se vocês querem ainda contar a história, mesmo que ela contenha detalhes que não lhes pareçam convenientes. Porque, geralmente, o que se conta são mitos e não história.

Jafelice: Você quer dizer a história dos vencedores.

Tycho: Isso! Eu só sou convidado a entrar na história nos livros didáticos se me encaixar em uma linha de continuidade da história dos que venceram. Mas, mesmo levando em conta meus pontos de vistas vencidos, eles ainda assim são fundamentais para você entender porque o trabalho do Galileu, após a minha morte, foi tão necessário para a aceitação das idéias de Copérnico. Sem compreender o meu pensamento, fica um certo hiato nesse relato todo. As pessoas não se dão conta de que inicialmente as idéias de Copérnico pareciam coisas de doido. E tem mais o impulso monumental que eu dei à

Astronomia. O Jafelice e o Ciclamio, que trabalham com isso, sabem que a moderna Astronomia é construída em um jogo entre observações quantitativas e teorias que possam ser testadas e que tentem explicar aquelas observações segundo algum raciocínio matemático. Pois bem, essa atitude observacional rigorosa começa comigo. Agora, não dá para querer que eu raciocinasse interpretando a realidade observada com a Física do Galileu e do Newton se eles apenas nasceram depois que eu morri. Sacou?

Osmar: É, acho que percebi onde você quer chegar. Vou conversar com o Rogério de novo a seu respeito.

Marcílio: No fundo, acho que você está certo. Peço desculpa por ter perdido a paciência momentos atrás.

Ciclamio: Dá para concluir a sua história?

Tycho: Pois é, eu sai pela Europa, já meio gasto, isso em 1597, com minha família e os meus instrumentos. Passei por várias cidades alemãs, dentre elas Wandsbeck, perto de Hamburgo. Lá tive uma idéia brilhante: dedicar o meu novo livro ao Imperador Rodolfo II. Autoridades adoram esse tipo de homenagem.

Marcelo: Até hoje, companheiro. Aqui no Brasil, nós chamamos isso de bajulação.

Tycho: Pois é, no fundo as autoridades se sabem insignificantes e com um pouquinho de jeito, fingindo que eles são pessoas admiráveis, a gente consegue chegar lá.

Marcílio: Já não estou gostando desse cara, de novo. Puxa saco!

Rogério: Oh, Marcílio, deixa o Tycho terminar a história dele.

Tycho: Pois bem, foi em Wandsbeck que eu escrevi o livro sobre os meus famosos instrumentos. Chamava-se: *Instrumentos para a Astronomia Restaurada*. Aquela dedicatória surtiu efeito e ano seguinte de 1599 o Imperador Rodolfo II convidou-me para estabelecer-me em Praga como Matemático Imperial. Ofereceu-me um salário anual de 3000 florins e um castelo da minha escolha. Aceitei na hora e mudei-me para Praga.

Osmar: Quer dizer então que você foi ser professor de Matemática, no fim da vida, mesmo contra a sua vontade?

Tá vendo? Teve que dobrar a sua língua.

Tycho: Que nada, eu não fui dar aula nenhuma!

Marcílio: E era matemático de que? Fazia contas para que, só para arrumar o seu modelo astronômico?

Tycho: Bem, eu gastava o meu tempo, essencialmente, com três coisas: fazer os horóscopos que o Imperador esperava, tentar ajustar o meu modelo cosmológico às observações coletadas e beber.

Marcelo: Isso, companheiro, água faz mal à saúde, enferruja o organismo.

Rogério: Mas qual era a sua preocupação com o seu modelo?

Tycho: Eu tentava a todo custo fazer cálculos que ajustassem as minhas observações ao meu modelo cosmológico, pois àquela altura já tinha um calhamaço de anotações compiladas. Mas havia problemas, principalmente com os dados da órbita de Marte. Eles não se encaixavam direito e eu tinha certeza de que as observações estavam corretas. O Longomontanus, que era um grande matemático e havia ido comigo para Praga, vinha trabalhando há muito naquilo, sem obter sucesso. Tentei, em desespero, retomar minhas observações, corrigir possíveis falhas, pois já não sabia mais o que fazer, mas eu já havia perdido minha energia, já não era mais o mesmo dos tempos de Uraniborg. Foi então que decidi, com o apoio do Imperador, contratar novos auxiliares. Ao Longomontanus vieram juntar-se novos e talentosos astrônomos: David Fabricius, Johannes Muel-ler, Melchior Joestelius e o Kepler.

Rogério: Quer dizer que o Kepler chegou, assim, no final da festa?

Tycho: Isso! Mas ele era muito talentoso, apesar de ser teimoso como uma mula e muito chato. Eu dei para ele o problema da órbita de Marte, pois ele me parecia incansável, dedicando-se de corpo e alma a tentar resolver o problema com o qual estivesse envolvido. Ele de início tinha umas idéias interessantes, mas que me pareciam meio loucas; aquilo de acreditar que as órbitas dos planetas se encaixavam segundo esferas dentro dos sólidos platônicos. Ele era bem mais pitagórico do eu, acreditava também naquela história do fogo central do Filolau e coisas assim. Se bem que para fazer justiça,



Busto de Tycho.

àquela altura ele já era um copernicano. Eu esperava que ele tomasse os meus dados e ajustasse os mesmos ao meu modelo e não àquela sua antiga maluquice de esferas centradas em sólidos platônicos ou ao modelo copernicano, mas não vivi o suficiente para ver os resultados. Eu tinha muito receio que com a minha morte ele usasse os meus dados para detratar o meu modelo e para tentar provar algumas daquelas suas loucuras. Por isso, eu jamais teria deixado meus dados para ele. Sem mim por perto para vigiar o seu trabalho, Deus sabe o que aquele maluco genial faria. Depois da minha morte, todos sabem, ele virou tudo pelo avesso. Pe-

gou os meus dados, mas os meus dados pegaram ele.

**Cleide:** Como assim? Como os seus dados pegaram ele?

**Tycho:** Ele não cumpriu o nosso acordo. Como falei, só mostrei a ele os meus dados com o compromisso de que trabalhasse no meu modelo cosmológico. Mas ele, quando eu morri, tentou desenvolver o dele a partir dos meus dados, mas quebrou a cara. Foi aí que os meus dados pegaram ele. Ele àquela altura já era mesmo um copernicano convicto e usou os meus dados para tentar validar o modelo de Copérnico, mas a maldição da órbita de Marte também o perseguiu. Passou muitos anos atormentado até chegar na tal idéia da elipse. Eu não digo, como os livros didáticos que vocês costumam usar, que ele descobriu as suas leis a partir dos meus dados, mas apenas que fazendo justiça à precisão das minhas medidas, foi forçado a abandonar as órbitas circulares copernicanas, assim como já havia abandonado antes o seu modelo de sólidos platônicos e também o meu querido modelo.

**Rogério:** Mas não foi melhor assim? Sem os seus dados não haveria as leis de Kepler.

**Tycho:** É, pode ser que sim! Vendo nessa sua perspectiva histórica dá até para aceitar. Mas eu não vivi pra ver isso. No fundo, não era isso que eu queria que ele fizesse.

**Rogério:** E aí, como é que você morreu?

**Tycho:** Morri em Praga no dia 24 de outubro de 1601, como, não sei ao certo. Sempre pensei que soubesse.

**Marcelo:** Como assim?

**Tycho:** Tenho certeza de que morri

após uma tremenda bebedeira. Foi um porre daqueles.

**Marcelo:** Iguazinho ao Rei Frederico II, seu antigo protetor.

**Tycho:** Isso! Só que a coisa foi um pouco diferente. As versões oficiais contam que eu bebi muito e fiquei envergonhado de sair para urinar, na presença dos nobres, e continuei bebendo. Aquilo teria me causado uma ruptura da bexiga e uma infecção urinária que me levou à morte.

**Rogério:** E por que você diz que não sabe mais como morreu?

**Tycho:** Porque recentemente uns pesquisadores analisando fios do meu cabelo detectaram traços de chumbo e concluíram que eu poderia ter sido envenenado, quem sabe pelo chumbo misturado nesse grude que usava no nariz.

**Alexandre:** E você, pessoalmente, o que acha disso?

**Tycho:** Eu, é... Toss, toss, toss, toss!. Que horas são, gente? Toss, toss! Já terminou o jogo do Fluminense? Vou ao banheiro.

**Marcelo:** Sujou! O Fernando voltou a si logo agora. Vamos ficar sem saber como é que o Tycho morreu.

**Rogério:** Mas valeu a visita e o papo, aprendi muitas coisas sobre ele que acho que dão para encaixar na sala de aula.

**Marcelo:** Sei não bicho, acho melhor a gente conversar é com o Kepler e escutar a versão dele.

**Jafelice:** Está combinado. Assim que o nosso grupo *umas e outras* voltar a se reunir, vamos encher a cara do Pai Fernando de Niterói e conversar com o Kepler.

Risos!!!!

## Referências Bibliográficas

1. Dreyer, J. *Tycho Brahe: A Picture of Scientific Life and Work in the Sixteenth Century* (Edinburgh: Adam & Charles Black, 1890; 2d ed. New York: Dover, 1963).

2. Thoren, V. *The Lord of Uraniborg: A Biography of Tycho Brahe* Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

## Leia Mais

Ashbrook, J. (1963). "Tycho Brahe's Nose" *Sky and Telescope*, v. 29, n. 6, p. 353, 358, 1965.

Blair, A. "Tycho Brahe's Critique of Copernicus and the Copernican System" *Journal for the History of Ideas*, v. 51, p. 355-77, 1990.

Christianson, J. "The Celestial Palace of Tycho Brahe" *Scientific American*, v. 204, n. 2, p. 118-128, 1961.

Forinash, K. & Rumsey, W. A First Course in the History and Philosophy of Science. *European Journal of Physics*, v. 21, p. 427-433, 2000.

Hellman, C. "Tycho Brahe" in *Dictionary of Scientific Biography*, Charles Coulston Gillispie, ed., v. 2, p. 401-416. New York: Charles Scribner's Sons, 1970.

Hellman, C. "Was Tycho Brahe as Influential as He Thought?" *British Journal for the History of Science*, v. 1, p. 295-324, 1963.

Humberd, C. "Tycho Brahe's Island" *Popular Astronomy*, v. 45, p. 118-125, 1937.

Koestler, A. *The Sleepwalkers: A History of Man's Changing Vision of the Universe*. New York: Grosset & Dunlap, Universal Library, 1963. Este livro foi publicado em português com o título *O Homem e o Universo*, pela Ibrasa, em 1989.

Rogers, E. *Physics for the Inquiring Mind*. Princeton: Princeton University Press, 1960.

Thoren, V. *Tycho Brahe*, in *The General History of Astronomy*, v. 2A, eds. R. Taton and C. Wilson, Cambridge University Press, p. 3-21, 1989.

Thoren, V. *Tycho Brahe*, in *The General History of Astronomy*, v. 2A, eds. R. Taton and C. Wilson, Cambridge University Press, p. 3-21, 1989.

Thoren, V. *Tycho Brahe*, in *The General History of Astronomy*, v. 2A, eds. R. Taton and C. Wilson, Cambridge University Press, p. 3-21, 1989.



# Notas da HISTÓRIA DA FÍSICA no Brasil

## Capanema:

Um Professor de Física Cria a Telegrafia Elétrica no Brasil



**D**ata de 150 anos atrás, a introdução do telégrafo elétrico no Brasil. Antes, existiam apenas algumas instalações de telegrafia ótica que faziam ligações entre fortalezas e faróis em portos brasileiros. O nome de maior destaque ligado a isto foi o de Guilherme Schüch de Capanema (1824, em Mariana, MG; 1905), posteriormente Barão de Capanema, então professor de física e mineralogia da Escola Militar, no Rio. Capanema havia se formado na Escola Politécnica de Viena.

Em maio de 1852, sob a sua direção, inaugurava-se a primeira linha telegráfica no Brasil que ia da Quinta Imperial ao Quartel do Campo, no Rio, com 3 km de linha subterrânea. A motivação inicial para a instalação da linha parece ter sido facilitar o combate ao tráfico de escravos. Em 1855, Capanema foi nomeado Diretor Geral dos Telégrafos, cargo que ocupou até a queda do Império, exercendo forte influência junto a D. Pedro II. Após a primeira linha, o telégrafo começou a se estender pelo país, inicialmente para o Sul, atendendo às necessidades militares da Guerra do Paraguai. Uma estação de manutenção e uma pequena fábrica para construir equipamentos foram criadas por Capanema, em 1865, no Rio. Depois deste período, as linhas telegráficas

cresceram rapidamente em direção ao norte e ao interior, numa epopéia que duraria até o primeiro quartel do século XX, particularmente com os trabalhos de Rondon e sua equipe.

A ligação telegráfica entre as várias cidades da costa brasileira e do Brasil com a Europa foi realizada, em 1873 e 1874, respectivamente, por meio de cabos submarinos de companhias inglesas. Curiosamente, o grande físico inglês William Thomson (Lord Kelvin) e seu colega Fleeming Jenkin eram engenheiros especialistas na colocação de cabos e supervisionaram a instalação do cabo entre Recife e Belém.

Uma interessante controvérsia técnica, política e econômica, envolvendo William Thomson e Fleeming Jenkin com Capanema, ocorreu em 1873. A Western and Brazilian Telegraph Company havia solicitado ao governo a dispensa de construção da ligação do cabo submarino para São Luís, na linha Recife-Belém. Capanema recusa a proposta britânica. Na disputa que se seguiu, Thomson, Jenkin, e outros engenheiros da companhia inglesa, por um lado, e Capanema e outros engenheiros brasileiros, pelo outro, produziram relatórios em oposição, uns contra e outros a favor de tal ligação. O embate estendeu-se de 1873 a 1876, quando uma expe-

dição da marinha brasileira foi enviada ao local para fazer medidas e concluiu pela possibilidade técnica de se construir a linha até São Luís, o que a companhia inglesa teve de realizar.

Outro fato interessante foi a invenção, feita por Capanema, de um novo isolador para as linhas telegráficas terrestres. Devido às condições ambientais nos trópicos (calor e alta umidade) a deterioração rápida dos isoladores era um problema grave. Isto levou Capanema a inventar um novo tipo, todo feito de vidro, porcelana, ebonite etc, mas que não usava peças metálicas. Essa invenção recebeu a patente número 4171, em 1873, no Reino Unido. Este isolador foi usado no Brasil e temos a informação de Capanema (que precisa ser confirmada) de que teria sido usado também na grande linha telegráfica da Índia. Se isto for verdadeiro, este será um exemplo interessante de transferência tecnológica entre países da periferia, em um domínio tecnológico em que existia ampla hegemonia do Império Britânico.

Além desse cargo e de suas atividades de professor, Capanema realizou muitos outros empreendimentos, como a reconstrução da Fábrica de Pólvora da Estrela, a construção de primeira fábrica de papel do Brasil. Inventou também um máquina, e a substância química necessária, para matar formigas (saúva). Participou da Comissão Científica de Exploração, da instalação das primeiras estações meteorológicas no Brasil e presidiu a comissão de introdução do sistema métrico decimal no Brasil. Foi, ainda, um dos fundadores da Sociedade Brasileira de Estatística e do Instituto Politécnico Brasileiro. Ou seja, este nosso colega, professor de física do século XIX, teve uma atuação ampla na vida brasileira, em particular usando seus conhecimentos de física aplicada e de engenharia para contribuir com o desenvolvimento tecnológico do país.

Ildeu de Castro Moreira  
Mauro Costa Silva  
COPPE-UFRJ



## Navegando na WEB

**A**s feiras de ciências representam uma grande possibilidade de interação dos alunos e do grande público com os mais diversos e interessantes assuntos de cunho científico. Neste número, apresentamos alguns endereços que abordam esse tema.

<http://fisicanet.terra.com.br/>

Essa página é escrita e produzida pelo Prof. Alberto Ricardo Präss, de Porto Alegre, RS. Ali podemos encontrar alguns cursos on line, provas e simu-

lados de vestibular, notícias, discussão de como funcionam alguns aparelhos e dicas para feira de ciências.

<http://www.fisica.ufc.br/sugestoes.htm>

Esse site é da Universidade Federal do Ceará. Contém sugestões de experimentos nos quais a simplicidade dos aparelhos é uma das principais preocupações. Há sugestões para experimentos de mecânica, fluidos, ondas, som, calor, eletricidade e projetos espe-

ciais. Além dos projetos em si, contém dicas de como escolher e incrementar a apresentação em uma feira de ciências.

<http://www.moderna.com.br/FeiradeCiencias/>

Apesar de não muito numerosas, temos aqui mais algumas sugestões de projetos com uma descrição muito bem especificada de como montá-los.

<http://www.feiradeciencias.com.br/>

São 23 salas de exposições, além da sala de links recomendados pelo autor, Prof. Luiz Ferraz Netto. Discutem-se os aparelhos indispensáveis, projetos para o ensino fundamental de 5ª a 8ª séries e projetos mais elaborados para as séries mais avançadas. Contém também leitura recomendada e artigos; esse site é realmente bastante completo.

<http://www.ifi.unicamp.br/~accosta/feirciencias.html>

Esse site do Departamento de Física da Unicamp é dedicado a sugestões para feiras de ciências (conta atualmente com 64 propostas).

### O Brasil na 32ª Olimpíada Internacional de Física

Estamos melhorando. No ano passado não ganhamos nada; agora conseguimos uma menção honrosa na 32ª Olimpíada Internacional de Física. Com um pouco mais de esforço chegaremos às tão almejadas medalhas. A equipe brasileira foi a seguinte:

#### Estudantes

Guilherme Leite Pimentel – São José dos Campos – SP (Menção honrosa); Gilson Dias Nascimento – Mogi da Cruzes – SP; Luiza Pillar Cabral – Fortaleza – CE; Maurício Richartz – Curitiba – PR; Caio Marques Fontenele – Fortaleza – CE.

#### Professores

José Evangelista Moreira – UFC; Paulo Barone – UFJF; Luiz Severo Filho – Fortaleza – CE (Observador); Edson Nakamura – Mogi da Cruzes – SP (Observador).

A Olimpíada Internacional deste ano de 2001 foi na Turquia e o evento foi muito bem organizado pela equipe



A equipe que representou o Brasil na 32ª OIF. Da esquerda para a direita (agachados): Barone, Luiza e Maurício; (em pé) Gilson, Edson, Evangelista, Caio, Severo e Guilherme (Menção honrosa).

turca. Aconteceu na cidade balneária de Antalya, às margens do Mediterrâneo. O nível das provas teórica e experimental foi bom e as questões foram elogiadas pelos participantes.

Quanto à participação brasileira, podemos dizer que melhorou em relação ao ano anterior, quando enviamos nossa primeira delegação à Inglaterra. Como antes, ainda não estivemos em condições ideais para aspirar medalhas, mas adquirimos novas experiências que servirão para preparar melhor as futuras equipes, principal-

mente na parte experimental, pedra no sapato de nossas escolas secundárias. Para atingir esse necessário preparo será imprescindível a ajuda dos coordenadores locais, com a utilização de laboratórios didáticos dos Departamentos de Física das universidades.

Os textos das provas teórica e experimental dessa Olimpíada Internacional e de algumas Olimpíadas anteriores podem ser encontrados na página do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará, em <http://www.fisica.ufc.br>

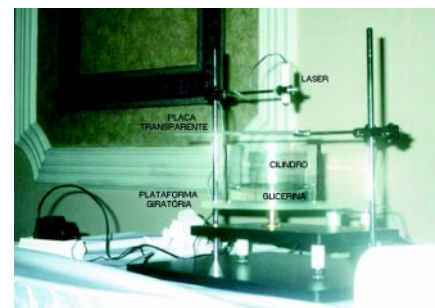
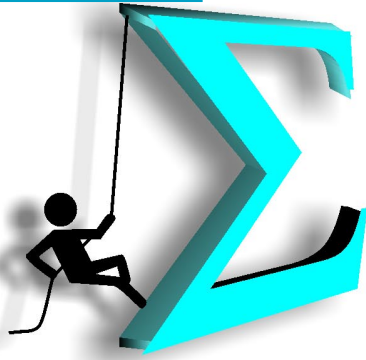


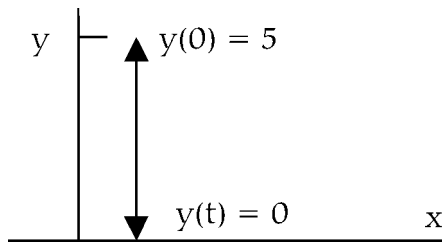
Foto do equipamento da prova experimental que consistiu em usar a superfície parabolóide de um líquido em rotação para, dentre outras coisas, obter um valor para a aceleração da gravidade.



# Problemas Olímpicos

## Soluções do Número Anterior

**1** Interação entre as massas  $M$  e  $m$ . Devemos analisar o movimento nas duas direções ( $x$  e  $y$ ) separadamente.



### Análise do movimento da bola na vertical

$$y(t) = y(0) + ut + \frac{1}{2}gt^2$$

sendo  $y(0)$  a posição inicial da bola/projétil,  $y(t)$  a posição da bola/projétil ao atingir o solo,  $u$  a velocidade vertical inicial (no caso nula), e  $g$  a aceleração da gravidade ( $g = -9.8 \text{ m/s}^2$ ).

Com estes dados, o tempo de queda da bola bem como do projétil será:

$$t^2 = 10/9.8 \rightarrow t = 1.01 \text{ s}$$

### Análise do movimento horizontal da bola e do projétil

Vamos definir

$\vec{v}_i$  = velocidade do projétil antes da colisão

$\vec{v}_f$  = velocidade do projétil após a colisão

$\vec{V}$  = a velocidade da bola imediatamente após a colisão

Todas as 3 velocidades estão na direção  $x$

Do princípio da conservação do momento linear, temos

$$m\vec{v}_i = m\vec{v}_f + M\vec{V}$$

Como o tempo de queda é o tempo que a bola se deslocou na direção  $x$ , resulta que

$$|\vec{v}| = \frac{20}{1.01} \text{ m/s} = 19.8 \text{ m/s}$$

Substituindo os valores das massas e das velocidades conhecidas, obtém-se a velocidade do projétil após a colisão

$$0.01 \times 500 = 0.01 \times v_f + 0.02 \times 19.8 \rightarrow v_f = 104 \text{ m/s}$$

Note que o projétil também atingirá o solo em 1.01s. Neste tempo o projétil percorrerá uma distância

$$X = 1.01 \times 104 \text{ m} \rightarrow x = 105 \text{ m}$$

A energia cinética do projétil antes e depois da colisão é:

$$K_i = \frac{1}{2} m\vec{v}_i \rightarrow K_i = 1250 \text{ J}$$

$$K_f = \frac{1}{2} m\vec{v}_f \rightarrow K_f = 54 \text{ J}$$

A energia cinética da bola imediatamente após a colisão é

$$K_{bola} = \frac{1}{2} mV^2 \rightarrow K_{bola} = 39.2 \text{ J}$$

A energia cinética do sistema bola + projétil antes da colisão é:

$$K_{antes} = K_i + K_{bola} = 1250 \text{ J}$$

e a energia cinética do sistema bola + projétil após da colisão:

$$K_{depois} = K_f + K_{bola} = 54 + 39.2 = 93.2 \text{ J}$$

Da conservação da energia temos que a parte da energia do projétil transferida para a bola na forma de calor será

$$K_{antes} - K_{depois} = 1250 - 93.2 = 1156.8 \text{ J}$$

Seleção e tradução:

**José Evangelista Moreira**

Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará  
e-mail: ita@fisica.ufc.br

**José Pedro Rino**

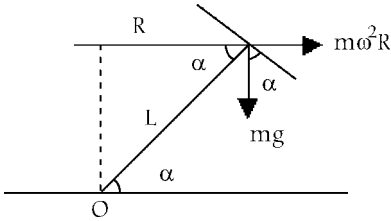
Departamento de Física, Universidade Federal de S. Carlos  
e-mail: djpr@df.ufscar.br

Esta seção apresenta problemas desafiadores que têm sido propostos em olimpíadas, gincanas e livros e comenta a solução dos mesmos.

**2** Um anel em equilíbrio em uma vareta. Por definição, o atrito estático é descrito como

$$F \leq \mu N$$

Neste caso, a contribuição para N além de mg é também devido a rotação,  $mR\omega^2$ , na direção normal a vareta de madeira.



$L$  = distância a partir da base  $O$ , ponto de apoio da vareta.

Do problema,

$$\mu = \operatorname{tg}(\theta)$$

$$N = mg \cos(\alpha) + m\omega^2 R \sin(\alpha)$$

portanto

$$F_{\text{atrito}} \leq \operatorname{tg}(\theta) [mg \cos(\alpha) + m\omega^2 R \sin(\alpha)]$$

**Primeiro caso - A força de fricção aponta para baixo, na direção de  $O$**

$$m\omega^2 R \cos(\alpha) - mg \sin(\alpha) \leq \operatorname{tg}(\theta)$$

$$[mg \cos(\alpha) + m\omega^2 R \sin(\alpha)]$$

multiplicando toda a expressão por  $\cos(\theta)$

$$m\omega^2 R \cos(\alpha) \cos(\theta) - mg \sin(\alpha) \cos(\theta) \leq mg \sin(\theta) \cos(\alpha) + m\omega^2 R \sin(\theta) \sin(\alpha)$$

$$m\omega^2 R (\cos(\theta) \cos(\alpha) - \sin(\theta) \sin(\alpha)) \leq mg (\sin(\theta) \cos(\alpha) + \cos(\theta) \sin(\alpha))$$

ou

$$m\omega^2 L \cos(\alpha) \cos(\alpha + \theta) \leq mg \sin(\alpha + \theta)$$

$$\operatorname{tg}(\alpha + \theta) \geq \frac{\omega^2 L \cos(\alpha)}{g}$$

ou

$$L_{\text{Max}} \leq \frac{g \operatorname{tg}(\alpha + \theta)}{\omega^2 \cos(\alpha)}$$

**Segundo caso - A força de fricção aponta para cima**

$$mg \sin(\alpha) - m\omega^2 R \cos(\alpha) \leq \operatorname{tg}(\theta) [mg \cos(\alpha) + m\omega^2 R \sin(\alpha)]$$

multiplicando toda a expressão por  $\cos(\theta)$

$$m\omega^2 R (\sin(\theta) \sin(\alpha) + \cos(\theta) \cos(\alpha)) \geq mg (\sin(\alpha) \cos(\theta) - \cos(\alpha) \sin(\theta))$$

ou

$$m\omega^2 L \cos(\alpha) \cos(\alpha - \theta) \geq mg \sin(\alpha - \theta)$$

e portanto

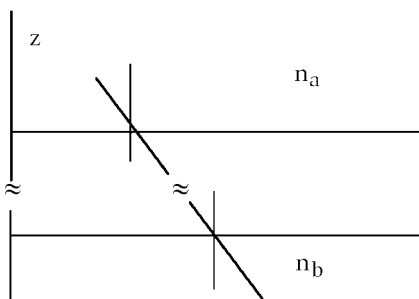
$$L_{\text{Min}} \geq \frac{g \operatorname{tg}(\alpha - \theta)}{\omega^2 \cos(\alpha)}$$

Para que o anel fique a uma distância  $L$  a partir da base da vareta é então:

$$\frac{g \operatorname{tg}(\alpha - \theta)}{\omega^2 \cos(\alpha)} \leq L \leq \frac{g \operatorname{tg}(\alpha + \theta)}{\omega^2 \cos(\alpha)}$$

## Novos problemas

**1** Considere uma placa plana e paralela que tem o índice de refração  $n$  variando com a distância  $z$  medida a partir de superfície inferior (veja figura).



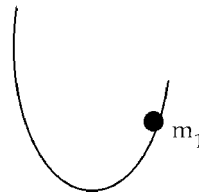
Mostre que  $n_a \sin i = n_b \sin r$ , onde  $n_a$  e  $n_b$  são os índices de refração do meio acima e abaixo da placa.

XV OIF

Sigtuna, Suécia (1984)

**2** Duas partículas interagentes tendo massas  $m_1$  e  $m_2$  formam um sistema fechado. A figura mostra a trajetória da partícula 1 e a posição de ambas no momento em que a velocidade da partícula 1 é  $\vec{V}$  e a velocidade da partícula 2 é  $-3\vec{V}$ . Desenhe a trajetória da partícula 2 para o caso em que  $m_1/m_2 = 3$ .

$m_2$



Quantum

Julho/Agosto 1999

**3** Um capacitor e uma bobina de indutância 1 H estão ligados em série e conectados a uma fonte de corrente alternada de 220 V e 60 Hz. Um voltímetro, com uma resistência interna muito alta é conectado em paralelo ao capacitor. Para qual capacitância o voltímetro indicará 220 V? Qual capacitância nunca deverá ser utilizada neste experimento? Por que?

Quantum

Julho/Agosto 1999

**4** Esta pergunta foi formulada por C. Swartz e publicada no *Am. J. Phys.* v. 64, n. 7, p. 839, 1996: Como um forno de micro-ondas realmente funciona?



# Resenhas

*O Universo Elegante - Supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva*, por Brian Greene; Companhia das Letras, São Paulo, 2001.

Não é comum na literatura de divulgação científica abordagens tão originais no campo da ciência contemporânea como esta de Brian Greene. Na área da física, o que ocorre normalmente é uma atenção especial aos temas relacionados com os impasses da física clássica e o advento da relatividade e da mecânica quântica. Física moderna (entendida apenas como física pós-Segunda Guerra Mundial) é normalmente apresentada como uma extensa lista de realizações da física atômica, molecular e nuclear e, raramente, matéria condensada. Quanto à física contemporânea, o leitor “recebe” usualmente uma coleção de nomes exóticos associados a certos objetos (“partículas fundamentais” e “campos”), apressadamente mal definidos e/ou interpretados.

Um sério candidato a uma bem pequena lista de textos excepcionais nesse campo, entretanto, é *O Universo Elegante*, de Brian Greene, publicado em 2000 nos Estados Unidos, pela Vintage Books, e este ano no Brasil, pela Companhia das Letras. Devemos alertar que Greene exige do leitor conhecimentos de física clássica, mas nada além do básico, principalmente relacionado com ondas mecânicas e óptica física. Com esses elementos e raciocínios simples, mas de grande penetração, Greene expõe a idéia básica da Teoria das Supercordas, uma teoria controversa da física atual porque não pode ser testada, embora existam perspectivas recentes para que isto aconteça. É com esse projeto em mente, isto é, sem

dispersão, mas sim com método e concentração sobre a evolução conceitual da física microscópica, que Greene aborda os desenvolvimentos históricos dos primórdios da física moderna, com ênfase em relatividade geral e suas previsões (Buracos Negros, Big Bang) e sobre o estranho “universo quântico”, até atingir o debate moderno sobre a necessidade de uma nova teoria.

Com seus dotes de expositor e seus conhecimentos (Greene tem atuação reconhecida internacionalmente nesse setor da física), o autor nos oferece um relato transparente e atrativo sobre os avanços dessa proposta para uma teoria fundamental, e sobre sua pertinência face aos dilemas atuais da física. E é nesse último tópico que o texto torna-se muito relevante, pois esclarece para o leitor as questões que motivam esses trabalhos, tais como, por exemplo, a incompatibilidade entre a mecânica quântica e relatividade a geral, isto é, porque não existe uma teoria quântica do campo gravitacional.

Nessa altura do texto, o leitor estará motivado para apreciar os pontos essenciais da teoria de supercordas e da sua história, além das insuficiências do atual Modelo Padrão, a teoria que “dá conta” dos fenômenos observados em física das altas energias, mas que contém uma profusão de parâmetros inexplicáveis. O texto de Greene envolve o leitor com seus capítulos dedicados às especulações sobre a teoria de supercordas e suas consequências. A abordagem sobre as dimensões espaciais extras é compreensível e gratificante. Green oferece ao leitor a possibilidade de entender o papel dessas dimensões espaciais extras,

as quais, embora colapsadas e aparentemente inúteis, permitem uma interpretação geométrica dos parâmetros inexplicáveis do Modelo Padrão atual. Será difícil para o leitor não “assumir posição” no debate atual que reina sobre a teoria de supercorda. E isto, acreditamos, é a demonstração cabal do sucesso do empreendimento de Greene.

Fernando de Souza Barros - UFRJ

---

*Ciência Para Todos / Science for All Americans - Project 2061* - American Association for the Advancement of Science, New York: Oxford University Press, 1990. Tradução portuguesa em F. James Rutherford e Andrew Ahlgren - *Ciência Para Todos*, Lisboa: Editora Gradiva, 1995, 265 p.

*Ciência Para Todos* é um projeto de reformulação curricular norte-americano, não-governamental, que faz parte de um projeto mais abrangente, denominado *Projeto 2061 - Educação para um futuro em mudança*, motivado por duas preocupações públicas crescentes: o declínio econômico e a qualidade da educação nos EUA. Nesse país o ensino de ciência não é obrigatório no curso médio, de onde surge a necessidade de projetos que motivem o aluno a estudar ciência, uma vez que a coesão entre a educação, a sociedade e a economia é fundamental nos EUA.

Cinco equipes científicas nomeadas pela AAAS (American Association for the Advancement Science) foram encarregadas de indicar recomendações em cinco domínios: ciências biológicas e da saúde; ciências naturais e engenharias físicas e da informação; ciências sociais e comportamentais; tecnologia; matemática. Essas equipes reuniram-se durante um período de dois anos para decidir sobre o conteúdo que os estudantes deveriam conhecer nas áreas de ciência, matemática e tecnologia. Essas decisões foram submetidas, em forma de relatórios, ao Conselho Nacional para a Educação em Ciência e Tecnologia, também nomeado pela AAAS, que por sua vez foi encarregado da

preparação de um único relatório, baseado nos relatórios das equipes, sem tentar copiá-los ou resumí-los. O relatório unificado foi intitulado *Ciência Para Todos* e representa o pensamento informativo da comunidade científica americana.

Desse relatório, que corresponde à primeira fase do *Projeto 2061*, originou-se o livro *Ciência Para Todos*. Esse livro trata da importância da instrução científica para a formação de todos os estudantes, independentemente da situação social e de suas aspirações profissionais e recomenda temas que podem servir de base duradoura para a construção do conhecimento ao longo da vida, obedecendo aos critérios de: utilidade, responsabilidade social, valor intrínseco do conhecimento, valor filosófico e enriquecimento da infância. O livro também enfatiza a necessidade de ensinar menos para ensinar melhor, transmitindo aos estudantes o que deveriam recordar e compreender da ciência, matemática e tecnologia. Um dos problemas apontados na implantação é a falta de preparo dos professores de ciência e de matemática dos ensinos fundamental e ensino nesses campos.

O livro está organizado em quinze capítulos, nos quais são apresentadas as recomendações do Conselho Nacional para a Educação em Ciência e Tecnologia, selecionados pela importância científica e humana. Os doze primeiros capítulos versam sobre o que há para aprender e os três últimos sobre os temas reforma e ensino. Os três primeiros capítulos tratam da natureza da ciência, da matemática e da tecnologia. O primeiro, "A Natureza da Ciência", destaca a importância da observação e da investigação de fenômenos na evolução da ciência; a visão científica do mundo; o método científico; as descobertas científicas; as provas científicas; a ciência como empreendimento humano e como atividade social, refletindo pontos de vista sociais, históricos, culturais e a sua organização. Tratando ciência como o conjunto de todas as disciplinas científicas diferentes, o livro mostra que não há fronteiras entre elas e finaliza o capítulo com um tópico de interesse da humanidade - a ética profissional e pessoal

dos cientistas.

O capítulo "A Natureza da Matemática" discute a matemática como disciplina teórica, com suas abstrações sem correspondência com o mundo real, e como ciência aplicada, cuja intenção é prática, com aplicações úteis em outras áreas do pensamento humano, além de discorrer sobre a sua universalidade. No subcapítulo "Processos Matemáticos", são apresentados de maneira clara três fases para a utilização da matemática tanto para expressar idéias como para resolver problemas: a representação de determinados aspectos dos objetos de forma abstrata (símbolos); a manipulação das abstrações por meio de regras de lógica para encontrar novas relações entre elas; e a verificação das novas relações de forma útil.

No capítulo "A Natureza da Tecnologia", é dada bastante ênfase à interdependência entre a ciência e a tecnologia e à aliança com a engenharia. A discussão aborda os princípios da tecnologia (as restrições de um projeto tecnológico, o treinamento pessoal, testes, controle, as conseqüências secundárias, análise dos riscos etc.) e a relação entre a tecnologia e a sociedade (o interesse da sociedade, a influência da tecnologia na história da sociedade em sua evolução, o secretismo e a concorrência), com exemplos reais e atuais.

Os capítulos 4 a 9 tratam dos conhecimentos básicos acerca do mundo sob a perspectiva da ciência, da matemática e da tecnologia; temas para serem discutidos e compreendidos pelos estudantes. Destacamos: "O Ambiente Físico" (conhecimento acerca do universo); "O Ambiente Vivo" (compreensão das coisas vivas); "O Organismo Humano" (curiosidades sobre nós mesmos); "A Sociedade Humana" (conhecimento do comportamento humano); "O Mundo do Design" (modelação, controle e transformação da terra através do uso da tecnologia); "O Mundo Matemático" (formação e aplicação de idéias abstratas associadas logicamente).

Merece destaque o capítulo "O Ambiente Físico", que trata do interesse humano em conhecer melhor o universo, como funciona, do que é

constituído, e sua origem, entre outros. Divide-se nos seguintes subcapítulos: "O Universo" - Sobre o que conhecemos do universo (planetas, satélites, estrelas e etc); "A Terra" - a atmosfera, vida, clima, minerais, água e a radiação solar; "Forças que Moldam a Terra" - o movimento das placas tectônicas, responsáveis pela formação de montanhas, terremotos, vales, ilhas etc; "Estrutura da Matéria" - tipos de materiais básicos existentes na terra, a combinação desses materiais, o átomo e a variedade de estado; "Transformação de Energia" - formas de energia, perda na forma de calor e as transformações; "O Movimento das Coisas" - o referencial inercial, as 2ª e 3ª leis de Newton, vibração, ondas e radiação eletromagnética e "A Força da Natureza" - a força gravitacional, eletromagnética e nuclear.

No capítulo 10, "Perspectivas Históricas", são apontadas duas razões para incluir informações históricas nas recomendações. A primeira razão decorre do argumento de que as generalizações acerca do funcionamento do empreendimento científico ficam vazias sem exemplos concretos; e a segunda advem do fato de alguns episódios da história da ciência terem uma grande importância na herança cultural. Esses episódios tratados como subcapítulos, descrevem descobertas e alterações que exemplificam a evolução e o impacto do conhecimento científico. Dentre eles, destacamos "Deslocando a Terra do Centro do Universo", onde Galileu defende o sistema heliocêntrico e tem papel fundamental no desenvolvimento da astronomia e da física; "Unindo os Céus e a Terra", com a criação do universo moderno e simples no livro intitulado *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* de Isaac Newton, que trata da descoberta da força da gravidade, da explicação mecânica da natureza e da síntese Newtoniana, onde as mesmas leis se aplicam na terra e nos céus; "Unindo a Matéria e a Energia, o tempo e o espaço": a teoria da relatividade especial, fundamental na descoberta da fissão nuclear, fusão nuclear e a teoria da relatividade geral; "Entendendo o Tempo": a descoberta do tempo geológico acerca da inacredí-

tável idade da terra; “Pondo a Superfície da Terra em Movimento”, o movimento lento das placas na crosta terrestre (placas tectônicas), nas quais montam os continentes e as bacias oceânicas; “Compreendendo o Fogo”: a lei da conservação da matéria de Antoine Lavoisier; “Dividindo o Átomo”: a radioatividade, fissão nuclear e as aplicações; “Diversidade da Vida”: O mecanismo da evolução das espécies de Darwin; as características hereditárias; DNA; “Descobrimos os Micróbios”: a natureza das doenças; “Aproveitando a Energia”: a revolução industrial, máquina a vapor.

Todas essas descobertas revelam a interdependência inevitável da ciência e da tecnologia, além de servirem como exemplo de temas históricos e terem significado cultural.

O capítulo 11, “Temas Comuns”, sugere temas que estão além das fronteiras disciplinares, que se tornam importante para discussão e exigem melhor formação dos professores sobre *sistemas, modelos, conservação, padrões de mudança, evolução e escala*. O capítulo 12, “Hábitos Mentais”, discute o conjunto de valores sociais gerais do empreendimento científico, atitudes positivas e técnicas de raciocínio (capacidades de cálculo, manipulação, observação, comunicação e resposta crítica). Nesse capítulo, a matemática, a ciência e a tecnologia são concebidas como hábito mental, relacionado com a formação de perspec-

tivas das pessoas acerca do conhecimento, da aprendizagem e de outros aspectos da vida.

Os três últimos capítulos são destinados à aprendizagem e ao ensino efetivos e a reformas na educação. O capítulo “Aprendizagem e Ensino Efetivos” enfatiza a forma como a ciência, a matemática e a tecnologia devem ser ensinadas, a natureza da aprendizagem, técnicas de ensino, a qualidade da compreensão, aceitação de novas idéias, feedback, a confiança, o desempenho e o encorajamento do estudante.

O capítulo “Reforma na Educação” reflete a preocupação do projeto *Ciência Para Todos* com uma reforma duradoura da educação científica motivada por duas preocupações públicas crescentes: o declínio econômico e a qualidade da educação nos EUA. O texto mostra que a relação de dependência entre a educação, a sociedade e a economia de um país é fundamental. O capítulo enfatiza a necessidade de educar melhor todos os alunos do ensino primário e secundário, em matemática, ciência e tecnologia; a necessidade do envolvimento e preparação dos professores, dos políticos, da administração, da economia, da mudança do currículo existente, da organização das escolas, das condições de trabalho e da compreensão do público em geral para o sucesso da reforma.

No final do livro, o capítulo “Os Passos Seguintes”, indica como a

publicação pode contribuir para a educação em ciências, matemática e tecnologia, bem como servir como base para recomendações de mudança do sistema educativo, fornecendo uma oportunidade para pessoas interessadas e comprometidas com a reforma educativa. O capítulo também apresenta um esquema dos passos a serem tomados pelo *Projeto 2061* para viabilizar a reforma, além de algumas maneiras como o público pode utilizar o *Ciência Para Todos*.

Dos temas recomendados nesse livro para o ensino médio e fundamental, alguns são apresentados de forma mais simples e clara que no Brasil (“O Movimento das Coisas” e “As Forças da Natureza”); alguns são estudados no Brasil de forma superficial (“Perspectivas Históricas”, “Temas Comuns e Hábitos Mentais”); e outros estão completamente ausentes dos cursos fundamental e médio no nosso país (“A Natureza da Ciência”, “A Natureza da Matemática” e “A Natureza da Tecnologia”). Uma das mensagens mais importantes desse trabalho é deixar clara a necessidade das escolas não ensinarem matérias cada vez mais extensas, e sim aquilo que é essencial para a instrução científica e muito mais eficaz para o ensino, ou seja, ensinar menos para ensinar melhor.

Fábio Luís Alves Pena - IF/UFBA

## Brasil Conquista Medalhas na Olimpíada Iberoamericana de Física

A equipe brasileira, selecionada e preparada pela Olimpíada Brasileira de Física para nos representar na VI Olimpíada Iberoamericana de Física, que aconteceu entre 20 e 26 de outubro na Colômbia, conquistou quatro medalhas (duas de ouro, uma de prata e uma de bronze). O evento contou com a participação de 16 países e nossa equipe, acompanhada pelo prof. Carlito Lariucci, da UFG, foi formada pelos estudantes:

Leonardo P. Leite (PA) - medalha de ouro

Livia Maria F. de Lima (CE) - medalha de prata

Martha Priscilla Torres (CE) - medalha de ouro

Paulo R. de Almeida Neto (PA) - medalha de bronze

Parabéns aos estudantes e a todos os envolvidos nesse projeto!



# Valeu, Brasil!



## Condensação de Bose-Einstein: Fundação Nobel premia a comprovação experimental de novo estado da matéria

O Prêmio Nobel de Física - 2001 foi outorgado a Eric A. Cornell, do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST), Colorado, EUA, Wolfgang Ketterle, do Instituto Massachusetts de Tecnologia, Cambridge, EUA e Carl E. Wieman, da Universidade do Colorado, EUA pela "realização da condensação de Bose-Einstein (CBE) em gases diluídos de átomos alcalinos, e por estudos prévios fundamentais das propriedades destes condensados". Nas condições usuais de temperatura e pressão, os gases costumam ser descritos como uma coleção de partículas chocando-se entre si e com as paredes do recipiente que o encerra. No entanto, a baixas temperaturas, quando a velocidade dos átomos é fortemente reduzida, suas propriedades devem ser descritas de acordo com as leis da Me-

cânica Quântica. Neste domínio, deve-se atribuir ao átomo um número quântico de spin (de forma alegórica associado à rotação em torno de seu eixo) que deve ser inteiro - os bósons - ou semi-inteiro - os férmions. Os bósons possuem um forte componente "social": a baixas temperaturas procuram se juntar para ocupar um único e o mais baixo estado de energia, - ocorre então a condensação. Esta previsão foi feita teoricamente no começo dos anos 20, por Einstein, a partir de uma idéia do físico indiano S.N. Bose, daí o termo cunhado. Para atingir a CBE métodos altamente sofisticados, como o aprisionamento dos átomos em armadilhas e o esfriamento por lasers, foram desenvolvidos. O estudo da BEC tem permitido controlar a matéria no nível atômico. As

aplicações práticas imediatas estão relacionadas com as medidas de precisão, mas no futuro pode ser usado em técnicas litográficas para circuitos da microeletrônica (usando lasers de átomos) e um controle preciso dos átomos na nanotecnologia. No Brasil, grupos teóricos do Instituto de Física da USP e Instituto de Física Teórica da UNESP têm publicado trabalhos na área e o grupo do prof. Vanderlei Bagnato, do Instituto de Física de São Carlos (USP), está bastante adiantado na busca de produzir a CEB em gases mistos de sódio e rubídio.

### Referências

<http://www.nobel.se/>;  
[http://cua.mit.edu/ketterle\\_group/](http://cua.mit.edu/ketterle_group/);  
Bagnato, V.S. *Rev. Bras. Ens. Fis.* v. 19, n. 1, p. 11, 1997.



Desvendando a Física!

1) É uma noite bastante fria e você precisa usar duas malhas para se aquecer. Uma delas é feita de um tecido novo que é um bom isolante térmico e a outra, mais velha, é feita de material que é um pobre isolante térmico. Você estará mais bem aquecido se:

a) vestir primeiro a malha velha e a nova por cima para manter o frio longe de você.

b) vestir primeiro a malha nova para manter o calor e depois a velha.

c) não faz a menor diferença, o importante é curtir a noite.

2) O cavalo e a charrete. Este é talvez o mais velho "quebra-cabeça" da física clássica.

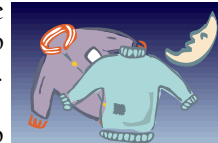
Aponte a alternativa correta:

a) Se a ação é igual à reação, um cavalo não pode puxar uma charrete pois ambos exercem forças iguais e contrárias.

b) O cavalo puxa antes que a charrete tenha tempo de reagir e, assim movem-se para a frente.

c) O cavalo só consegue puxar a charrete se tiver um peso maior que o da charrete.

d) A força que o cavalo exerce sobre a charrete é a mesma que a charrete exerce sobre o cavalo, mas o cavalo está ligado ao solo por seus cascos planos enquanto a charrete é livre para mover-se sobre rodas.



### Soluções do número passado

#### Força 'Inteligente'? - p. 18 - Resposta (a)

Trata-se de uma manifestação do estiramento das ligações químicas (a interação eletromagnética é a responsável!) que ocorre também nas forças de atrito. A diferença é que, no caso da tensão, as ligações são entre os átomos que estão na corda, enquanto que no atrito os átomos estão separados nas duas superfícies em contato. Ronald Newburg, *Phys. Teach.*, **39**, 133, 2001.

#### Obstáculos em um trilho - p. 32 - Respostas:

(b) Embora as duas bolas tenham a mesma velocidade nas partes retas do trilho, suas velocidades diferem nas partes curvas. A velocidade da bola em todo o trecho curvo de B é maior que a velocidade inicial. Em todo o trecho curvo de A é menor. Portanto, a bola no trilho B chega primeiro.

(f) Energia é conservada. A perda em energia cinética no topo da curva em A é igual ao ganho em energia cinética no fundo da depressão de B... se houver energia disponível para tanto. Numericamente: A energia cinética inicial  $[(1/2) m (2)^2]$  é menor que na depressão B  $[(1/2) m (3^2 - 2^2)]$ . Com 2 m/s, a bola nunca alcançará o topo de A. [Veja o site <http://www.phschool.com/sf/cpsurf/> associado ao livro *Conceptual Physics* de Paul Hewitt, (Addison-Wesley, Reading, 1998)]



Figura 13. Espectro contínuo (vários comprimentos de onda) e espectro discreto do laser (apenas um comprimento de onda).

de tera watt ( $10^{12}$  W). Essas grandes intensidades ocorrem em lasers pulsados, onde a energia acumulada em longo tempo é emitida toda em um intervalo de tempo muito pequeno, da ordem de  $10^{-12}$  s.

- em terceiro lugar temos o caráter direcional do feixe laser. Fótons emi-

tidos inclinados com relação ao eixo central não contribuirão para o feixe de laser final. O feixe resultante, que é constituído de ondas caminhando na mesma direção, é bastante estreito; ou seja, todo feixe propaga-se na mesma direção, havendo um mínimo de dispersão. Essa característica é extremamente importante para uma série de aplicações em comunicação, na indústria, na eletrônica etc.

**Luz laser é:**

- monocromática
- de alta intensidade
- direcional
- coerente

- a quarta característica importante da luz laser é sua coerência. Para explicar o que significa a luz ser coerente devemos lembrar da natureza ondulatória da luz. Radiação é espacialmente coerente se as ondas sucessivas da radiação estão em fase e temporalmente coerente se os trens de onda têm todos a mesma direção e o mesmo comprimento de onda. Para exem-

plificar nossa idéia de coerência, vamos tomar um exemplo simples. Vamos considerar as águas calmas de um lago. Ao jogarmos uma pedra, haverá produção de ondas de uma forma periódica e ordenada. Com isso, vemos em todos pontos desse lago ondas coerentes.

Agora, vamos jogar de maneira desordenada várias pedras no interior do lago. Nessa situação, as ondas da superfície estarão totalmente desordenadas,

provenientes de pontos diferentes. Essas não são ondas coerentes, mas incoerentes.

Concluindo, são essas as propriedades da luz laser que fazem dela um dos instrumentos de maior aplicabilidade. Por isso, há mesmo quem diga que o laser é a solução à procura de problemas. Em um próximo artigo, falaremos das inúmeras aplicações do laser.



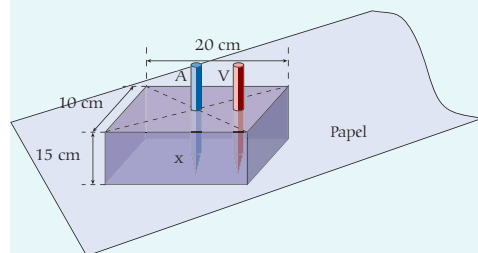
## Movimento do Centro de Massa\*

### Objetivo

Visualização do movimento do centro de massa de um corpo.

### Montagem

Em um bloco de madeira de (20 x 10 x 15 cm), praticam-se dois orifícios que atravessam o bloco ao longo de sua altura (15 cm), como se ilustra:



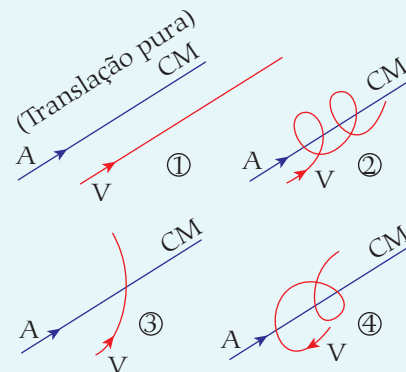
### Preparo do bloco

Esses orifícios apresentam diâmetros que permitem a introdução de canetas esferográficas comuns (bem macias), uma azul (A) e outra vermelha (V). Um dos orifícios passa pelo centro de massa do bloco e o outro, próximo à borda mais afastada do centro. O bloco, com as canetas inseridas nos orifícios, é colocado sobre uma grande folha de papel. A seguir, vamos à pancada.

### Procedimento

Com um martelo, golpeie o bloco próximo da região X, indicada na face lateral. Com as experimentações você regulará a adequada intensidade da martelada e o local pretendido X.

Como resultado, a caneta azul registra o movimento do centro de



Trajatórias registradas no papel

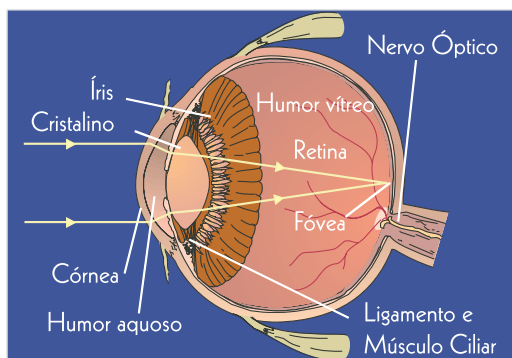
massa do bloco (uma linha reta azul) e a caneta vermelha traçará uma linha (em geral, uma curva) vermelha em torno da linha azul, como ilustramos acima (resultado de alguns ensaios):

Prof. Luiz Ferraz Netto  
leo@barretos.com.br

\*Esta experiência consta do site [http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/05\\_36.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/05_36.asp), gerenciado pelo Prof. Luiz Ferraz Netto.

córnea. Observe a íris, diafragma composto de músculos que mudam o diâmetro da pupila, controlando a quantidade de luz que entra no olho. O diâmetro da pupila no ser humano varia de 1,5 mm a 8 mm. Essa variação não é instantânea. Isso pode ser percebido facilmente se, de frente para um espelho apagarmos e acendermos a luz ambiente. A íris do boi é sempre marrom. Ou seja, não existem bois de olhos verdes ou azuis. Além disso, a sua pupila é oval, e não circular como a nossa.

3. Retire o cristalino. Veja através dele objetos distantes. Eles aparecerão de cabeça para baixo. O cristalino é

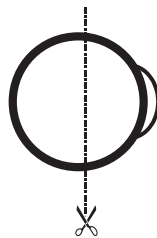


Esquema dos principais componentes do olho humano.

uma lente convergente. Observe traçinhos pretos ao redor dele. São os ligamentos que presos aos músculos ciliares, variam o tamanho da lente. Coloque o cristalino sobre um papel com algo escrito. Veja como ele funciona como uma lente de aumento.

4. Observe o humor vítreo. Ele é uma espécie de massa gelatinosa que preenche a parte interna do olho, definindo a sua forma. Ele também é responsável por manter a retina fixada no fundo do olho. Isto é muito importante pois, se a retina se dobra, o sinal que chegará no cérebro será confuso.

5. Corte o globo ocular pela metade. Observe, no fundo do olho, uma película vastamente irrigada por vasos sanguíneos. É a retina. Ela é como o filme fotográfico do olho. Está presa em um ponto chamado ponto cego, pois nele não há receptores sensíveis à luz. Nesse ponto, passa o feixe de nervos que formam o nervo óptico, que leva as informações ao cérebro.



6. Observe o *tapete* atrás da retina. O tapete é uma camada azul-esverdeada brilhante e colorida que reflete de volta para a retina a luz que já passou por ela. Ele permite ao boi enxergar melhor no escuro. O farol de um carro faz brilhar os olhos do gato pois ele também tem essa camada refletora no fundo do olho. O ser humano não possui o tapete: o fundo do nosso olho é preto e absorve a luz que passa pela retina.

### Sites com mais informações e experiências sobre a visão

#### Experiências

<http://www.fisica.ufc.br/oti3.htm>  
<http://www.exploratorium.edu/snacks/iconperception.html>

#### Animação (applet) mostrando como a imagem se forma sobre a retina

[http://users.erols.com/renau/eye\\_applet.html](http://users.erols.com/renau/eye_applet.html)

#### Mais informações

<http://www.fisica.ufc.br/tintim4.htm>  
<http://library.thinkquest.org/C001464/cgi-bin/view.cgi>



## A Água não Derrama...

### Material

- copo com água
- balão de aniversário (inflado até uns 10 cm de diâmetro)

### Procedimento

Molhe a borda do copo com o dedo umedecido e mantenha encostado nela o balão. Vire o copo com a boca para baixo e solte suavemente o balão.

### Observe que

Nem o balão cai, nem a água

derrama!

### Explicação

A pressão da água e do ar (de cima para baixo) contidos no copo é igual à pressão atmosférica (de baixo para cima) sobre o balão, de modo que o equilíbrio é mantido, e a água não derrama!

### Tópicos de discussão

- pressão atmosférica
- pressão hidrostática de líquidos

Francisco Catelli e Simone Pezzini  
 fcatelli@ucs.tche.br  
 Universidade de Caxias do Sul - RS

