

## Cartas dos Leitores

### Votos de sucesso

Recebemos inúmeros e-mails e várias demonstrações pessoais de entusiasmo pelo lançamento da *FnE*. Algumas cartas foram publicadas em *RBEF* v. 22, n. 2, p. 152-155, 2000. Por questão de espaço, não pudemos publicar todas elas, mas deixamos aqui o registro e um muito obrigado a todos.

### Informações

Tomei conhecimento, através da *Revista da Fapesp* n. 61, de uma publicação muito importante para os professores de ensino médio, *Física na Escola*, um suplemento da *RBEF*. Gostaria de ter maiores informações de como solicitar assinatura.

Angela Christina Frei Cunha  
ITA

Recebi o primeiro volume da *Física na Escola*. Gostei dele. Parabéns. Gostaria de saber se ele pode ser comprado em separado da *RBEF*. Qual seria o preço dele em separado?

João Batista Canalle  
UERJ

*Por favor, consultem o expediente da FnE.*

### Sugestões

Parabéns pela iniciativa da revista *Física na Escola*. Apenas no intuito de colaborar e trazer mais para perto da SBF um número maior de colegas professores de física, gostaria de dar uma sugestão adicional. Como a editoria da Revista pretende aceitar colaborações de vários colegas, inclusive relatos de sala de aula, creio que seria interessante que não mais se exigisse que tais contribuições tivessem de ser em LaTeX e enviadas por correio tradicional. Talvez, no sentido de agilizar este processo, pudessem ser aceitas contribuições em Word enviadas, alternativamente, pelo correio normal ou eletrônico. Creio que essa pequena modificação aumentaria o número de potenciais colaboradores.

Alexandre Medeiros  
UFRPE

*Alexandre: Física na Escola aceita artigos digitados em qualquer editor de texto.*

Sugiro artigos sobre a origem da física quântica e o seu estado atual, bem como sobre gravitação, e principalmente sobre o dilema atual acerca da conciliação entre a mecânica quântica e a gravitação (cordas, teoria M etc). As características ine-

rentes nessas duas descrições do nosso mundo devem ser ressaltadas a fim de ampliar os sentidos e a curiosidade do leitor.

Esmerindo Bernardes  
IFSC-USP

*Esmerindo: já tem alguma coisinha pintando neste número.*

### Diversos

Sou formando em licenciatura e fui apresentado à revista *Física na Escola* por um colega que faz mestrado e é sócio da SBF. Fiquei maravilhado com o conteúdo e a abordagem dos textos. Apesar do meu conhecimento de publicações desta categoria se resumir ao *Caderno Catarinense para o Ensino de Física* e à *RBEF* posso afirmar que com um trabalho de divulgação bem feito sua revista pode se tornar a mais aceita das publicações da SBF. Bem, falo isso tirando como parâmetro o interesse dos alunos da UFS (onde eu estudo) que são muito carentes nesta área e anseiam por qualquer coisa do tipo. Seguem algumas sugestões.

Luiz Eduardo A. Macedo  
Aracaju - SE

*Obrigado, Luiz. As sugestões foram anotadas.*

Mesmo estando vinculada à área de pesquisa das radiações ionizantes, venho parabenizar a todos vocês pela iniciativa! Com certeza será de grande importância na área de Ensino Médio de física, estimulando professores e alunos e criando um canal para troca de idéias entre a classe dos professores de segundo grau. Parabéns, mais uma vez

Gabriela Hoff  
São Paulo

Sou chefe da seção de física do Colégio Militar do Rio de Janeiro, e nós, daqui do Rio, gostaríamos muito de compartilhar dos ensinamentos contidos na conceituada *RBEF* e na revista *Física na Escola*, recentemente lançada.

Ten. Charles Cordeiro da Silva  
Rio de Janeiro

Sou professor de física no Ensino Médio e estou implantando demonstrações do laboratório de física em sala de aula e gostaria de, no futuro, enviar material para contribuir com a mesma, visto que estarei enviando um material que foi

testado em sala de aula e portanto aprovado.

Edmilson Tadeu Martins  
Taubaté - SP

### Olimpíadas

Li naquele encarte da *RBEF*, dedicado ao Ensino Médio de física, de número 1, um comentário de que a equipe brasileira não teve um resultado mais expressivo na V Olimpíada Ibero-Americana de Física, realizada na cidade de Jaca, Espanha. A forma como foi dada a notícia, desvalorizando a posição obtida pela equipe brasileira (três Menções Honrosas), me pareceu demonstrar uma total falta de conhecimento, por parte dos redatores, do que seja uma Menção Honrosa em uma olimpíada internacional. É simplesmente a quarta premiação e não pode ser confundida com "diploma de participação" (o que já seria louvável) como, aparentemente, o redator da pequena matéria deixa transparecer. Além do mais, se o redator da matéria tivesse feito uma análise mais minuciosa dos resultados disponíveis no *site* (oficial) que ele mesmo recomenda para quem quiser mais detalhes, teria visto que duas de nossas três "Menções Honrosas" foram as primeiras, muitíssimo próximo do último bronze. Esse feito foi completamente menosprezado no encarte mencionado, apesar da foto em que os três alunos exibiam os seus diplomas. E olha que foram os primeiros prêmios ganhos por alunos brasileiros em uma olimpíada internacional de Física. Os únicos! Antecipadamente agradeço, em nome de nossos talentosos "Menções Honrosas", caso a involuntária injustiça possa ser corrigida e o merecido destaque às premiações obtidas possa ser levado a efeito.

Wilton Pereira da Silva  
DF/CCT/UFPB

*Caro Wilton: é louvável que todos os componentes da equipe brasileira tenham obtido menção honrosa. Nosso comentário, talvez muito enfático, deveu-se ao fato de não termos conseguido medalhas, o que deve ser o objetivo tendo em vista a capacidade de nossos estudantes. Esperamos que em breve tenhamos participações tão expressivas quanto as de Cuba, Argentina e Espanha, por exemplo. Um ponto a considerar, no entanto, nesta trajetória, é que para incentivarmos os jovens devemos, ao lado de propiciar-lhes a preparação necessária, não esquecer de ser exigentes...*

## Carta do Editor

**A**lém de se dedicar com afinco às tarefas escolares de planejar e ministrar aulas, avaliar o trabalho discente e participar de conselhos em uma ou várias escolas, o quê mais pode almejar o professor de ensino médio, como profissional e cidadão? Pode obviamente participar de associações de classe, partidos políticos, organizações não-governamentais, mas pode e deve principalmente cuidar continuamente de sua formação profissional.

Um certo esforço tem sido despendido em tempos recentes, por parte considerável do professorado dedicado às ciências e matemática, na participação de cursos de treinamento e aperfeiçoamento – os Pró-Ciências – promovidos por instituições de ensino superior com apoio de fundações como a CAPES, através das fundações estaduais de amparo à pesquisa e diretorias de ensino ligadas às secretarias de educação. Uma desvantagem destes programas é a sua descontinuidade com oferecimentos esporádicos dependendo do aporte de recursos extras para financiá-los.

No entanto, há notícias alvissareiras para os professores do ensino médio, em especial aqueles ligados às áreas de Ciências e Matemática.

Foi criada pela CAPES a nova área de Ensino de Ciências e Matemática, que abrigará novos programas de pós-graduação na área. Esta é uma nova opção para a formação continuada de professores que prevê a possibilidade de um mestrado voltado ao saber escolar, com preferência na manutenção do docente na sala de aula. Deste modo, os programas deverão oferecer disciplinas em períodos es-

peciais, concentrados em poucos dias da semana e intensivamente, mas não exclusivamente, nos períodos das férias escolares. Segundo Marco Antonio Moreira, coordenador do comitê da nova área, “diferentemente do mestrado acadêmico que focaliza a pesquisa acadêmica e a preparação para o doutorado, o mestrado em ensino deverá caracterizar-se pela terminalidade, preparando o profissional para atuar na sala de aula e no sistema escolar, e por altos padrões de produção técnica e científica, sendo avaliado por critérios condizentes com essa caracterização.” Mais detalhes são encontrados no editorial da edição de março da *RBEF* (v. 23, n. 1, 2001).

A outra boa notícia. Encontra-se em discussão final no Conselho Nacional de Educação o documento que norteará a Formação de Professores para a Educação Básica, que inclui os cursos de licenciatura. Uma das questões polêmicas é a criação dos Institutos Superiores de Educação (ISE), que podem estar ligados às universidades ou estabelecimentos isolados de ensino. Neste caso, a formação dos professores poderia estar dissociada das demais atividades de pesquisa presentes, em sua maioria, nas universidades públicas. No entanto, salvo em honrosas exceções, os cursos de licenciatura não têm merecido a devida atenção nas instituições de pesquisa, com os licenciandos sendo tratados de forma desigual em relação aos bacharelados. De acordo com Maurício Pietrocola, secretário de ensino da SBF, em documento apresentado em uma audiência pública, “a questão sobre a criação de ISE ou Núcleos de Formação de professores

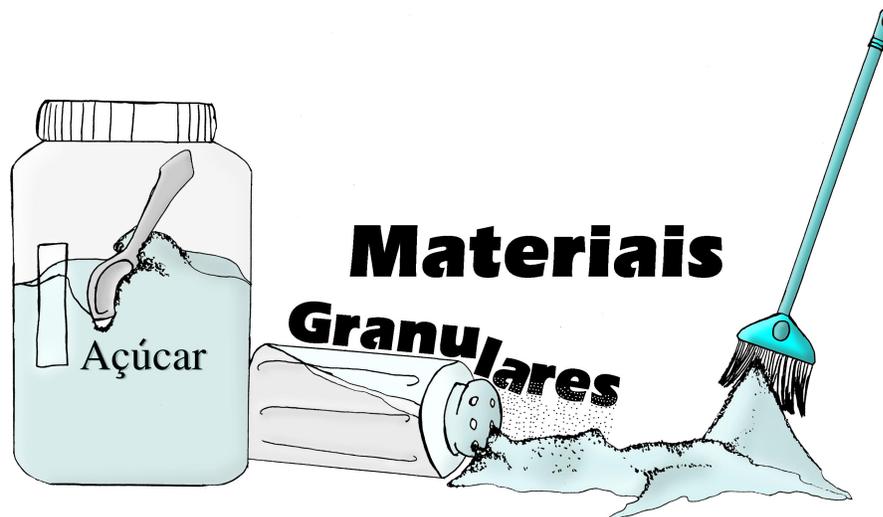
passa a ser secundária, pois o mais importante é a existência de pesquisadores capazes de pensar o ensino como objeto de pesquisa. A parceria destes grupos com outros pesquisadores das áreas específicas, sejam elas de conteúdo ou de educação, tem garantido mudanças concretas e duradouras nos cursos de licenciatura.” Deve-se destacar que já existem universidades federais propondo Núcleos de Formação de Professores de Ciências e Matemática com programas de educação continuada para professores em serviço, que teriam algumas das características dos ISE, ou seja, utilizam pessoal especializado dos Institutos, mas criam uma vida própria para as licenciaturas, conferindo-lhes identidade.

A formação de todos os professores do ensino básico no mesmo espaço, através da convivência e integração, permitirá uma identidade da licenciatura com dignidade para os seus alunos. Se a isto pudermos adicionar um programa de educação continuada, seja através dos atuais Pró-Ciências ou dos novos mestrados em ensino, com os professores em serviço colaborando na formação dos licenciados nos estágios supervisionados ou residências pedagógicas, estaremos dando um passo importante para a melhoria do ensino de Ciências e Matemática no país.

Caro professor, manifeste a sua opinião enviando cartas ao Editor.



Nelson Studart



.....  
**José Pedro Rino**

Professor do Departamento de Física  
da Universidade Federal de São Carlos  
e-mail: djpr@df.ufscar.br  
.....

O ser humano vem utilizando materiais granulares há mais de 5000 anos. Exemplo disso são as pinturas feitas pelos homens da era paleolítica em que utilizavam argila e produtos animais, os cosméticos feitos com tinta, gordura, pérola moída e chumbo manipulados pelos chineses e gregos da antiguidade, os remédios feitos com ervas e raízes pelos astecas, as tintas utilizadas por Miguelangelo etc. Em nosso dia a dia deparamo-nos com várias situações em que os meios granulares manifestam suas propriedades. Assim podemos nos perguntar, por exemplo, por que alguns grãos de açúcar sempre caem da colher, por mais cuidadoso que sejamos? Por que uma pilha de livros/papéis que nos parece tão bem arrumada, despenca esparramando-se toda? Ou ainda, por que aquela receita de biscoitos da “vovó” que só rende umas poucas delícias não pode ter seus ingredientes duplicados,

**Materiais granulares são grandes conglomerados de partículas macroscópicas que se caracterizam por serem não coesivos, com uma fronteira bem definida entre eles, e onde a força de repulsão e a gravidade desempenham papel preponderante**

com risco certo de se perder toda a receita? Nos dias de hoje, manipular e misturar materiais granulares é uma atividade de extrema importância e de conotação econômica. É uma tarefa necessária em muitas áreas tecnológicas tais como na construção de uma casa, na construção de rodovias, na manufatura de remédios (fárma-

cos em geral), cereais, adubos, vidros, cerâmicas, explosivos etc.

Mas afinal o que são materiais granulares?

Materiais granulares são grandes conglomerados de partículas macroscópicas tais como açúcar, farinha, um monte de papéis, areia, pós, e mesmo líquidos. Estes materiais caracterizam-se por serem não coesivos, com uma fronteira bem definida entre eles, em que a força de repulsão e a gravidade desempenham papel preponderante. Os materiais granulares comportam-se de maneira bastante diferente dos sólidos, líquidos e gases podendo, então, ser considerados como um outro estado da matéria, devido a suas propriedades e comporta-

tamento tão particulares. Duas características básicas definem esses materiais: a temperatura não tem influência sobre o sistema e a interação entre os grãos é dissipativa devido ao atrito estático e a colisões inelásticas entre

eles. Por exemplo, uma pilha de areia mantém-se em equilíbrio se suas encostas tiverem um ângulo menor do que um certo valor. Se a pilha for inclinada acima de um ângulo crítico (por exemplo adicionando-se mais areia à pilha), alguns grãos começarão a se mover – a chamada avalanche. No entanto, este movimento, ou fluxo

---

A física do dia-a-dia pode muitas vezes não ser percebida, mas está sempre presente onde menos podemos imaginar.

de areia, é completamente diferente do fluxo de um líquido, pois ele só existe na superfície da pilha de areia, estando todo o resto dela em repouso.

O estudo de materiais granulares não é recente. Há uma vasta literatura na engenharia voltada para o estudo de tais materiais. Coulomb (1773) propôs as idéias de fricção estática; Faraday (1831) descobriu a instabilidade convectiva em pós em vasilhas vibrantes e Reynolds (1885) introduziu a noção de “dilatância”<sup>1</sup> a qual implica que materiais granulares compactados devem necessariamente se expandir para que qualquer cisalhamento possa ocorrer. Esta é justamente a explicação para a avalanche da areia. Há necessidade de, primeiro, ocorrer uma dilatância das camadas próximas da superfície para que esta, sob a ação da gravidade, possa fluir. Com a descoberta da Mecânica Quântica no começo do século, o interesse por muitas das questões clássicas que vinham desafiando e intrigando os cientistas foram deixadas de lado. Somente nas últimas duas décadas os físicos e engenheiros tiveram sua atenção ressuscitada para os materiais granulares e suas propriedades. Apesar de sua enorme importância tecnológica, o manuseio e controle dos materiais granulares não são ainda bem desenvolvidos. Algumas estimativas sugerem que há uma perda de 40% da capacidade de muitas fábricas devido somente a problemas de transporte dos materiais de uma parte a outra das fábricas.

Mesmo em repouso, os materiais granulares apresentam comportamento não usual. Por exemplo, em um cilindro cheio de areia, a pressão em sua base é independente da altura do material aí contido, como normalmente se observa para fluidos normais. A pressão na base do cilindro não cresce indefinidamente se mais material for adicionado no cilindro. Para uma coluna bastante grande a pressão atinge um valor máximo que é independente

**O estudo de materiais granulares não é recente. Reynolds, em 1885, introduziu a noção de “dilatância”, a qual implica que materiais granulares compactados devem necessariamente se expandir para que qualquer cisalhamento possa ocorrer**

## O Efeito da Castanha do Pará – segregação granular

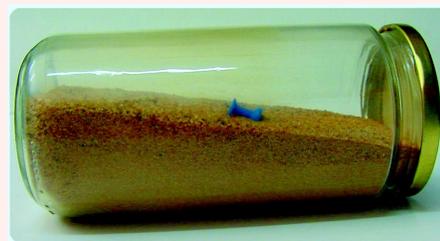
“Por que, em uma mistura de vários tipos de castanha, avelãs, nozes, as Castanhas do Pará sempre ficam na superfície?”

O exemplo típico de segregação granular, o chamado efeito da castanha do Pará, pode ser facilmente observado, com o seguinte experimento. A figura ilustra este efeito. Pegue um vidro de maionese ou azeitonas que seja cilíndrico, de tamanho médio ( $\pm 15$  cm de altura) e encha-o com areia fina de construção (ou sal) mais ou menos até  $2/3$  da altura total do vidro. Coloque também

dois objetos que tenham pesos bastante diferentes, por exemplo, uma pilha AA e um percevejo colorido. Quando o vidro é chacoalhado verticalmente (ver figura a), a pilha rapidamente aparecerá na superfície, enquanto o percevejo desaparece no meio da areia (sal). Agora, se o vidro for chacoalhado horizontalmente (figura b), o percevejo surgirá na superfície e a pilha afundará.



(a)



(b)

da altura do conteúdo do cilindro. Devido às forças de contato entre os grãos e à fricção estática com as paredes do reservatório, o peso extra é suportado pelas paredes do cilindro. O estudo

desse aspecto é de fundamental importância para se determinar e projetar silos para armazenagem de grãos.

A mistura de materiais granulares é outro aspecto de enorme interesse tecnológico. Basta lembrar que remé-

dios, receitas, adubos etc, são, em sua maioria, obtidos a partir da mistura de partículas que podem ter tamanho similares ou não. Neste caso, a mistura dos grãos pode ser feita por vibração ou rotação dos ingredientes. No entanto é muito comum observar padrões de não equilíbrio e segregação dos materiais em que, por mais que se misture sempre há uma separação entre os ingredientes. O experimento mostrado na caixa ao lado exemplifica este fenômeno da segregação, o chamado efeito da castanha do Pará.

O grão grande, no caso, a pilha, rapidamente segrega para a superfície. Observe também que os grãos de areia mais finos juntam-se no centro do vidro. Tal fenômeno tem sérias consequências práticas ao se desejar misturar grãos de diferentes tamanhos – esta rápida segregação pode comprometer a qualidade do produto final. A explicação da segregação da pilha para a superfície tem sido dada por vários modelos, mas a explicação do percevejo afundar, bem como de ocorrer a situação inversa, ao se chacoalhar o vidro horizontalmente, ainda é bastante controversa. Para finalizar, só gostaria de lembrar o que nossas avós já sabiam: para escolher as pipocas maiores e, talvez, mais saborosas e separá-las dos piruás, nada como uma boa chacoalhada na travessa para que a segregação das grandes pipocas rapidamente se verifique.

### Notas

1. Dilatação é o aumento das dimensões do corpo causado por uma variação de temperatura. Dilatância é a expansão de uma região dos grãos perto da fronteira dos mesmos, necessária para a ocorrência do deslizamento.



# Física e Teatro

Uma parceria  
que deu certo!



.....  
**Renato Júdice** (judice@fiemg.com.br)  
É mestrando da Faculdade de Educação  
da UFMG em Belo Horizonte – MG.

.....  
**Glênon Dutra** (glenon@bhnet.com.br)  
É pós-graduando do CECIMIG/UFMG  
em Belo Horizonte – MG.

**A**rquimedes, Einstein, Curie, Darwin, Freud, Galileu, Oswaldo Cruz, Robert Fulton... são nomes distantes, no tempo e no espaço, de nossos alunos, certo? Errado! Pelo menos não para os alunos do Colégio Arnaldo, escola da rede particular de ensino de Belo Horizonte. Desde 1998, durante o Prêmio Janssen de Teatro, todos os alunos do 1º ano do ensino médio têm um contato muito forte com esses e outros grandes nomes que marcaram a história da humanidade. Tal prêmio consegue sintetizar a beleza e competitividade de um festival de teatro ao mesmo tempo que é uma das mais importantes atividades pedagógicas da escola.

**Proporciona-se ao aluno o desenvolvimento de seu potencial artístico e permitir-lhe conhecer a vida e a obra de grandes cientistas e descobrir que a ciência é feita por homens de carne e osso, não muito diferentes deles próprios**

Atividades de teatro, de certa maneira, já não são novidade no universo da educação básica, principalmente quando incentivadas por professores da área de humanas. O inovador nesta proposta é a utilização do teatro como estratégia de avaliação e aprendizagem, além de um caráter competitivo, já que os grupos (de alunos) estão concorrendo, paralelamente ao processo pedagógico, em um concurso nos moldes do internacionalmente conhecido “Oscar”. Outro diferencial do projeto está baseado no fato de ter sido idealizado por professores de física, em conjunto com uma professora de história e os professores de

artes cênicas da escola.

Em especial, esta atividade de teatro surgiu da necessidade de se abordar a história dos fatos durante as aulas de física e na importância de explorarmos o aluno em toda a sua essência. Para falar a verdade, qualquer conteúdo, independente da disciplina, deveria ser abordado dentro de um contexto histórico pertinente. Afinal a ciência, assim como a nossa própria história, também é construída por seres humanos. Este trabalho vem

fazendo parte das avaliações pontuadas dos alunos, pois nós professores acreditamos que a prova escrita não deve ser a única maneira de se avaliar a aprendizagem do aluno. Ou melhor, certas habilidades e

competências que desejamos proporcionar aos nossos estudantes são melhor avaliadas com atividades práticas dessa natureza, ao invés de uma prova escrita e individual. E tratando-se de uma peça de teatro, o trabalho se torna muito mais do que uma avaliação, talvez possamos afirmar que ele passa a ser um rico momento de aprendizagem.

Um trabalho nesses moldes se justifica, pois estamos proporcionando ao aluno um desenvolvimento de seu potencial artístico no campo da interpretação e da produção literária para teatro, além de permitir-lhe conhecer a vida e a obra de grandes cientistas e descobrir que a ciência é

---

A ciência nunca andou separada da arte; vários grandes cientistas tiveram algum tipo de engajamento artístico, e vários pensadores engajaram-se na ciência. Este artigo apresenta uma proposta para tornar o ensino da física na escola também uma atividade artística.

feita por homens de carne e osso, não muito diferentes deles próprios.

O projeto é voltado basicamente para os alunos da 1ª série do ensino médio e consiste na montagem, preparação e realização de uma peça teatral, onde todas elas devem ter um caráter biográfico. O trabalho acontece em uma única série para que não se torne repetitivo (caso fosse obrigatório ao longo dos três anos que compõem o ensino médio). No entanto, alguns alunos insistem para ter uma nova chance na 2ª ou 3ª série. Foi escolhida especificamente a 1ª série pois é quando os alunos têm seu primeiro contato “oficial” com as disciplinas física, química e biologia. Então, nada melhor do que promover uma apresentação daqueles “nomes” que aparecem freqüentemente durante o seu curso.

Cada turma é dividida em três grandes grupos e cada um desses grupos tem o direito de escolher sobre qual pessoa vai trabalhar. Como, em média, as turmas da escola, onde vem sendo desenvolvido o trabalho, têm quarenta alunos por sala, limitamos em quatorze o número máximo de integrantes. A partir do segundo ano do início do projeto, estabelecemos também que os grupos deveriam ser mistos, ou seja, ter no máximo 70% de integrantes do mesmo sexo. Isso promove uma maior socialização entre meninos e meninas e, principalmente, acaba com as dificuldades de um aluno ter que interpretar uma personagem de sexo oposto ao seu.

O processo desenvolve-se durante todo o primeiro semestre do ano, sob a coordenação dos professores de artes cênicas e com a orientação dos professores de física, história, química etc. Os grupos já são divididos no início do ano e logo após escolherem o cientista a ser representado inicia-se o processo de pesquisa biográfica. Posteriormente, o texto é escrito e começam os ensaios, culminando com as apresentações na primeira quinzena de junho. E por falar em ensaio, é importante ressaltar que eles sempre acontecem fora do horário de aula, onde cada grupo tem reservado até duas sessões por semana. Tais ensaios

iniciam-se mesmo antes do roteiro da peça ficar pronto, já que os professores do Núcleo Cênico fazem um trabalho inicial de desinibição e de técnicas básicas de teatro.

Dentro do grupo, os alunos são subdivididos em cinco funções: sonoplasta (executa a trilha sonora), iluminador (executa a iluminação), contra-regra (cuida dos objetos de cena e da troca de cenários), dramaturgo (escreve o texto dramático) e atores. O objetivo, a princípio, é que todos os alunos participem das peças como atores, portanto as funções são cumulativas, exceção feita à sonoplastia e à iluminação, que podem ter um ou dois integrantes do grupo atuando.

A avaliação é feita em duas etapas, uma que talvez possa ser denominada de pedagógica e outra artística. A primeira delas é feita, principalmente, pelos professores de artes cênicas que acompanham todo o processo de todos os grupos. Eles avaliam desde a seriedade, a freqüência e a pontualidade nos ensaios até o desempenho individual na função. O texto escrito pelos alunos é primeiramente avaliado pelo professor de português e depois por todos os professores de cada disciplina. Os professores que assistem às apresentações reúnem-se, ao final do processo, com os professores do Núcleo Cênico, onde é discutida a avaliação do conjunto da obra. Nesta primeira etapa de avaliação o conteúdo é o principal critério “em jogo”, por isso fica estabelecida, para todas as peças, a necessidade de ao me-

nos uma cena de contextualização histórica e uma cena abordando, no mínimo, um trabalho do cientista escolhido. Defendemos que não se deve incentivar uma mentalidade utilitarista em nossos alunos, mas feita essa ressalva, esta parte da avaliação pode ser chamada de “avaliação para a nota”.

Já a segunda parte pode ser encarada como uma “avaliação para a premiação”; é a “nossa” versão do Oscar. Nesta etapa, avalia-se o desempenho dos alunos em toda a excelência em termos de arte. Tal tarefa é realizada por uma banca julgadora, composta por artistas mineiros previamente convidados, os quais assistem a todos os trabalhos. O resultado emitido por essa banca definirá os alunos vencedores das categorias que concorrerem à premiação. Essa cerimônia de premiação acontece em uma noite, no auditório do colégio. Como pretendíamos dar um “ar de Oscar” para essa parte do evento, é pedido aos alunos e professores que venham vestidos a caráter, ou seja, vestido longo para as mulheres e terno e gravata para os homens. As categorias existentes e os respectivos prêmios estão na Tabela 1<sup>1</sup>.

Talvez seja importante destacar que, entre os presentes na cerimônia, uma boa parte é formada de pais dos alunos envolvidos, que também são convidados e vibram com o projeto. Não é fácil descrever a importância dessa festa para os alunos do colégio; a aluna Anna Maria (do 1º ano B de 2000) afirmou que “Não dá ‘pra’

Tabela 1: Categorias premiadas e prêmios concedidos aos alunos.

Categorias	Premiação
Melhor texto	Troféu personalizado (para cada categoria)
Melhor cena	
Melhor produção	
Destaque feminino	
Destaque masculino	
Melhor atriz	Troféu personalizado e bolsa de estudo para o curso de teatro
Melhor ator	Troféu personalizado e bolsa de estudo para o curso de teatro
Melhor espetáculo	Troféu personalizado, uma bolsa de estudo para o curso de teatro e um churrasco na fazenda do colégio

explicar, tem que viver 'pra' saber como é". Até o professor do Núcleo Cênico, Odilon Esteves, ficou sensibilizado ao comentar sobre a festa de 2000; segundo ele "se sobra emoção, faltam-me palavras para descrever o III Prêmio Janssen de Teatro, pois extraordinário é adjetivo pequeno diante de tudo o que vivemos com os alunos".

E por falar em premiação, na Foto 1<sup>2</sup>, vemos o elenco da peça de *Robert Fulton*, inventor do barco a vapor e representado pela primeira vez no festival. O grupo está vibrando com a premiação de Melhor Espetáculo no III Prêmio Janssen!

Dois destaques: na Foto 2, Marcelo Araugio, representando Einstein, foi o escolhido como melhor ator em 1998, no I Prêmio Janssen. Já na Foto 3, vemos também uma das premiadas, Priscila Zanatto. Ela ganhou na categoria de melhor atriz, interpretando a mãe de Galileu no festival de 2000.

A descontração e união entre os participantes também vem sendo uma característica marcante em todos os anos em que o projeto aconteceu. Na Foto 4, vemos o elenco que representou a vida de Albert Einstein no II Prêmio Janssen (1999). Em meio a sentimentos de alegria e, talvez, "dever cumprido", eles se confraternizavam no camarim, logo após a apresentação da peça.

Um motivo que nos leva a acreditar em tal projeto, dando-nos força inclusive para divulgá-lo e continuá-lo nos próximos anos, é o elevado grau de satisfação dos alunos e seus familiares. Um maior desenvolvimento, nos alunos, de certas habilidades relacionadas com a fala em

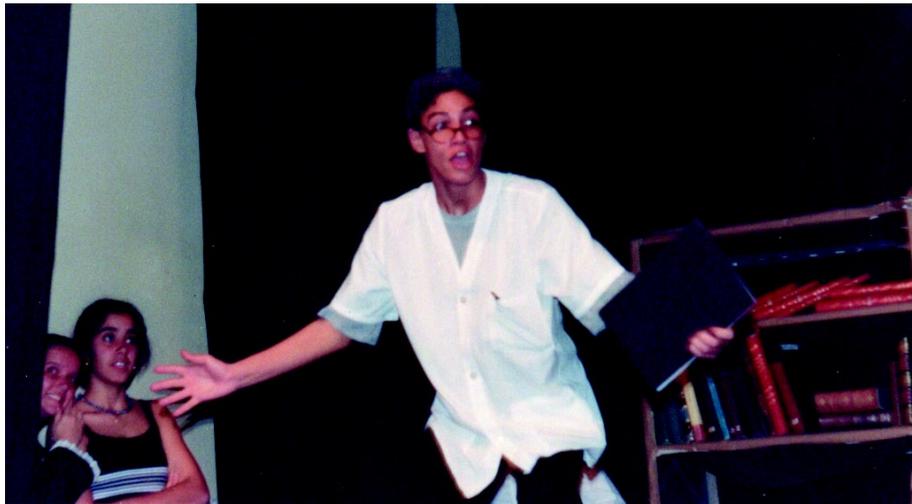


Foto 2. Marcelo Araugio, melhor ator.

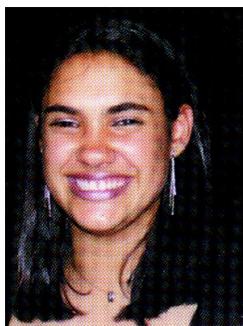


Foto 3. Priscila Zanatto, melhor atriz.

público (apresentação de trabalhos, leitura em voz alta etc.) também pode estar relacionado com o trabalho de teatro no 1º ano do ensino médio. Enfim, motivos para acreditar nesta caminhada é o que não faltam. Mas entendemos que a melhor lição que este trabalho sugere é o incentivo à inovação nas práticas educativas.

Talvez esteja passando da hora de nós, professores, pararmos de dissociar aula teórica de aula prática, encarando as duas como um processo dialético e indissociável. E é nesse contexto que o concurso interdisciplinar de teatro está inserido, funcionando como instrumento de avaliação e às vezes até como momento de aprendizagem.

### Notas

1. Vale a pena ressaltar que utilizamos, em nossas categorias, o termo "destaque" ao invés de "revelação", pois como não existem atores profissionais atuando, todos estão na verdade se revelando.

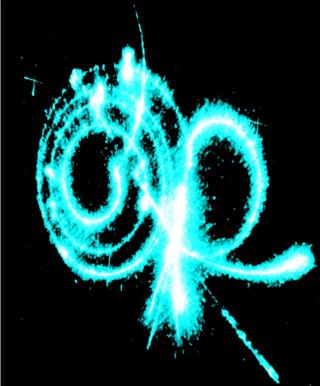
2. Fotos de Renato Júdice e João Paulo Loredo.



Foto 1. Elenco da peça *Robert Fulton*.



Foto 4. Elenco que representou a vida de Einstein no II Prêmio Janssen (1999).



# Olimpíadas de FÍSICA

.....  
**José David M. Vianna**

Pesquisador Sênior, Núcleo de Física Atômica, Molecular e Fluidos, professor na Universidade Federal da Bahia 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**

---

Saiba um pouco sobre as olimpíadas internacionais de física. O passaporte para elas começa com a Olimpíada Brasileira de Física.

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

Este é um projeto permanente da Sociedade Brasileira de Física (SBF), promovido nacionalmente pelo terceiro ano consecutivo. A Olimpíada Brasileira é organizada em nível nacional por uma comissão (COBF) com a coordenação nos estados a cargo de professores de universidades federais ou estaduais. A participação na OBF tem crescido expressivamente, passando de 18 Estados na sua primeira edição em 1999, para 23 unidades da Federação em 2001.

Os vencedores da OBF, assim como seus professores e escolas, são premiados em seus estados pela SBF, através das coordenações estaduais com diplomas e medalhas. Os alunos selecionados poderão participar das Olimpíadas Internacionais de Física.

## **As Olimpíadas de Física no Mundo**

O Brasil, através da OBF, participa de duas olimpíadas internacionais: A Olimpíada Internacional de Física (International Physics Olympiad – IPhO) e a Olimpíada Iberoamericana de Física (OIBF).

## **A IPhO**

A Olimpíada Internacional de Física realizar-se-á este ano pela 32ª vez em Antalya - Turquia, no período de 28/6 a 6/7. Ela é realizada desde 1967, quando ocorreu em Varsóvia (Polônia), por iniciativa de três professores: Czeslaw Scislowski (Polônia), Rostislav Kostial (Tchecoslováquia) e Rudolf Kunfalvi (Hungria).

Desde então, com poucas exceções, a IPhO vem ocorrendo anualmente em diferentes países. Para fins de comparação, é interessante lembrar que a Olimpíada Internacional de Matemática vem sendo realizada de forma contínua desde 1959. Há no entanto uma diferença essencial entre as Olimpíadas Internacionais de Matemática e de Física; nesta, além de problemas teóricos, os participantes resolvem também uma prova experimental. Esta é uma das razões que fazem a organização da IPhO, sob alguns aspectos, mais trabalhosa e requerendo mais recursos. Olhando a história da IPhO é interessante notar ainda que até 1981 ela foi realizada apenas em países socialistas.

## **Organização da IPhO**

Os Estatutos e os Programas da IPhO têm mudado muito pouco desde a sua criação. Em sua versão atual, a IPhO tem uma comissão permanente composta por dois membros: o Presidente e o Secretário. Cada delegação é chefiada por duas pessoas com as quais o país organizador forma o chamado International Board, que é o órgão de maior autoridade na IPhO. Em 1996, decidiu-se criar um Advisory Committee que atualmente é formado por catorze (14) pessoas.

## **As provas e classificação na IPhO**

As provas são realizadas em dois dias: um destinado à prova teórica e o outro à experimental. Cada prova tem duração de cinco horas; a prova teórica apresenta três problemas e a experimental um ou dois. As equipes de cada país podem ser formadas com

até cinco estudantes. Alguns fatos sobre as provas merecem ser mencionados:

(1) os problemas são entregues aos estudantes no seu idioma e devem ser resolvidos neste idioma;

(2) de acordo com os estatutos atuais, os vencedores são classificados em categorias de acordo com o seguinte: o valor médio dos pontos obtidos pelos três melhores participantes é tomado como 100%. A classificação é feita então por comparação com este valor: aqueles que conseguem mais que 90% deste valor recebem os primeiros prêmios; de 78% a 89%, o 2º prêmio; de 77% a 65%, o 3º prêmio e aqueles cuja pontuação atinge mais que 50% e menos que 65%, recebem menções honrosas.

É interessante notar que não existe uma classificação oficial por equipe; a classificação é individual, o que não impede que surjam classificações extra-oficiais considerando o número total de pontos obtido pela equipe.

### Participação no mundo

A participação na IPhO vem crescendo ano a ano; em 2000 participaram mais de sessenta países e a idéia dos organizadores é que este número não deve ultrapassar noventa devido às implicações orçamentárias. Por exemplo, a confecção de mais de 400 equipamentos para a prova experimental exige recursos do país organizador e alguns países, para diminuir este custo, têm realizado esta prova em dois turnos diferentes.

### A Participação Brasileira

A partir da OBF, o Brasil participou da IPhO pela primeira vez em 2000, na Inglaterra (Leicester). O Brasil foi representado por uma equipe que teve como líderes os professores José Evangelista Moreira (UFC) e Ozimar da Silva Pereira (de São Paulo), e formada pelos estudantes Maurício Masayuki Honda (SP), Roberto de Melo Dias (Pe), Guilherme Veríssimo B. Guimarães Lima (Ce), Victor Júlio Ferreira (MG) e Danilo Jimenez Rezende (SP). Nesta primeira participação, a equipe brasileira não conse-

guiu um bom desempenho; a melhoria virá com uma preparação mais intensa e o empenho das escolas em propiciar o acompanhamento dos estudos dos alunos selecionados.

### A OIBF

A Olimpíada Iberoamericana de Física é também uma competição internacional entre jovens estudantes do Ensino Médio. Os participantes devem ser oriundos de países ibero-americanos ou seja, países cujo idioma seja o espanhol ou o português. Entre seus objetivos encontra-se o intercâmbio de experiências na área de ensino e o aprofundamento da amizade entre os países participantes. A OIBF tem o apoio da Federación Latinoamericana de Sociedades de Física (FELASOFI).

### As Américas na OIBF

Neste ano de 2001 a OIBF ocorrerá pela sexta vez e terá lugar na Bolívia. Anteriormente ela foi realizada sucessivamente na Colômbia, México, Venezuela, Costa Rica e Espanha. Em 1977, no México, apenas oito países estiveram presentes: Argentina, Bolívia, Colômbia, Costa Rica, Cuba, México e Venezuela. Na Venezuela e em Costa Rica este número passou para doze (12), com a presença de Guatemala, Paraguai, Nicarágua e Portugal.

### O Brasil na OIBF

A primeira participação do Brasil na OIBF ocorreu em 2000, na Espanha, com uma equipe formada por três estudantes: Alexandre Henrique dos Santos (SP), Diogo Diniz Pereira da Silva (Pb) e Francisco Vieira Neto (Go) e liderada pelo professor Fernando Moraes (UFPe). Nossos estudantes conseguiram menção honrosa. Deve-se observar que, embora a forma de premiação da OIBF seja semelhante à da IPhO, a participação do estudante na OIBF deve satisfazer condições mais restritivas que as exigidas na Olimpíada Internacional. Com efeito, o estudante não pode ter completado dezoito (18) anos até 31 de dezembro do ano anterior à

competição, não pode ter participado de olimpíadas internacionais e não pode ter participado da OIBF mais que uma vez. A equipe deve ser acompanhada por um líder e um co-líder, que devem necessariamente ser físicos ou professores de física. As equipes para a Olimpíada Iberoamericana podem ser formadas por no máximo quatro (04) estudantes e as provas são como as da IPhO: uma teórica e uma experimental.

### Como Participar das Olimpíadas Internacionais de Física

A seleção para as Olimpíadas Internacionais é feita pela Olimpíada Brasileira de Física em duas etapas. Na primeira são escolhidos os quarenta melhores classificados da 3ª fase da OBF e que estejam cursando a 1ª série do Ensino Médio. A Comissão da Olimpíada (COBF) então designa um professor que coordenará a preparação, cujo início ocorre no segundo semestre do ano seguinte à realização da Olimpíada Brasileira. Durante esta etapa do processo de preparação os estudantes têm a oportunidade de participar de atividades diferenciadas (aulas experimentais, resolução de problemas, palestras, visitas a laboratórios de pesquisa nas universidades de seus estados). Na segunda etapa a seleção é feita através de exames baseados nos programas das Olimpíadas Internacionais. Também participam desta etapa de avaliação os alunos da 2ª série que tenham sido classificados entre os dez primeiros da 3ª fase da OBF no ano anterior ao da realização da IPhO.

Formadas as equipes, a SBF responsabiliza-se pelo pagamento das taxas e das viagens. Estes recursos são oriundos do CNPq (Conselho Nacional de Pesquisas) cujo apoio à OBF teve início no segundo semestre de 2000. Para este ano de 2001, o processo de preparação da equipe brasileira foi coordenado pelo prof. José Evangelista Moreira (UFC) e as provas seletivas já foram aplicadas: uma em fevereiro e a outra em março. Os três primeiros

classificados nesta seleção participarão da IPhO e os três seguintes da OIBF. Concluindo, não podemos deixar de mencionar que a IPhO é reconhecida pela UNESCO e pela EPS (European Physics Society). Em particular, no período 1984-1991 a UNESCO apoiou financeiramente a publicação dos “proceedings” das Olimpíadas. Um fato a se notar é que em geral os Ministérios de Educação apoiam as Olimpíadas Nacionais nos vários países. Na Espanha, por exemplo, foi assinado em 1990 um convênio entre o Ministério e a Real Sociedad Espanhola de Física (RSEF) onde em um dos artigos lê-se:

“... el Ministerio de Educación y Ciencia participará en la financiación de los gastos generados por la celebración de las Olimpíadas de Matemáticas, Física y

Química de España, así como por la eventual organización en España de alguna de dichas Olimpíadas de carácter supranacional ”

### O Brasil nas Olimpíadas Internacionais do Novo Milênio

Neste ano de 2001 a OBF participará de duas Olimpíadas Internacionais: a 32ª IPhO que ocorrerá na Turquia e a 6ª Olimpíada Iberoamericana que acontecerá na Bolívia. As equipes brasileiras para estas Olimpíadas foram selecionadas entre os estudantes que se classificaram na Olimpíada Brasileira de Física 1999.

### A OBF2001

A Olimpíada Brasileira de Física deste ano constará de três etapas: a primeira acontecerá no dia 11/8, nas

escolas; na segunda, dia 22/9, as provas serão realizadas nas sedes ou sub-sedes estaduais; já a terceira fase ocorrerá no dia 27/10 nas coordenações estaduais. A inscrição para a 1ª fase poderá ser feita até o dia 7/8 com os professores da escola credenciados junto à OBF. Estes professores poderão ser credenciados pela escola até 20/6 e serão os responsáveis pelo andamento da Olimpíada na sua escola, mantendo também contato com a coordenação estadual. Os 40 alunos da 1ª série com melhor desempenho serão preparados para as Olimpíadas Internacionais de 2003, a partir do 2º semestre de 2002.

Informações adicionais podem ser obtidas nos endereços: [sueli@sbf.if.usp.br](mailto:sueli@sbf.if.usp.br), [www.sbf1.if.usp.br/olimpiadas](http://www.sbf1.if.usp.br/olimpiadas) e [obfísica@sbf.if.usp.br](mailto:obfísica@sbf.if.usp.br)

## O Colapso da Lata

### Material

- lata de alumínio (refrigerante, cerveja);
- bico de bunsen ou outra fonte de calor;
- pinça grande ou luva térmica;
- vasilha com água.

### Procedimento

Coloque um pouco de água (menos de um dedo) dentro da lata. Aqueça-a até ferver. Quando estiver fervendo, com o auxílio de uma pinça, uma luva ou mesmo um pano, vire rapidamente a lata de cabeça para baixo sobre a vasilha com água.

### Observe que...

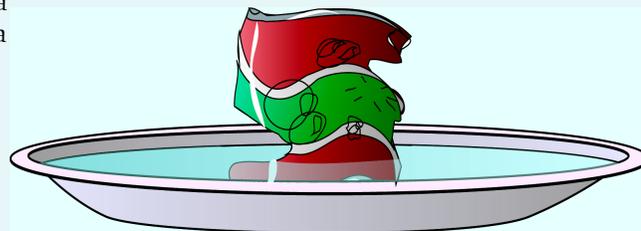
A lata colapsa instantaneamente.

### Explicação

Ao aquecermos água, forma-se vapor dentro da lata expulsando boa parte do ar que ela continha. Ao virarmos a lata sobre a água fria, o resfriamento da lata faz com que o vapor se condense sobre a sua superfície interna gerando uma baixa pressão dentro da lata. Como isso ocorre rapidamente, a água da vasilha não é capaz de entrar na lata (inércia), que colapsa sob a pressão atmosférica externa.

### Tópicos de Discussão

- Condensação
- Pressão atmosférica
- Inércia





## Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola

**A**física é, sem dúvida, um dos mais claros e bem sucedidos exemplos de construção do conhecimento humano, mesmo quando não se está falando apenas de conhecimento científico. Conseqüentemente, para formar um cidadão pleno, consciente e participativo na sociedade, é necessário proporcionar-lhe acesso a esse conhecimento, não apenas no sentido prático do aprendizado escolar, mas também no sentido da física como visão de mundo, como cultura<sup>1</sup>. Sua aprendizagem deve ser facilitada, e isso é feito primordialmente na escola, em particular no nível médio. No entanto, é possível verificar que este papel não está sendo cumprido.

Desde as últimas décadas, a deterioração da qualidade do ensino de física nas escolas, sobretudo da rede pública, é uma situação alarmante. Não é difícil constatar a baixa qualificação acadêmica dos professores, a desmotivação dos estudantes, a abordagem excessivamente formulística da física, enfim, uma visão do tipo “colcha de retalhos” dessa ciência, com demasiada ênfase no ensino da cinemática, a ausência da física moderna e contemporânea nos currículos escolares, apenas para citar alguns problemas nesta área específica. Transformar esta realidade não é trivial, pois ela está contextualizada em um cenário mais amplo de pouca vontade política de melhorar a educação em nosso país.

Pesquisando na área de ensino de física, temos tentado encarar certos desafios através da incorporação de resultados dessa pesquisa à formação do professor. Em particular, estamos investigando a respeito da inserção de tópicos de **física moderna e contemporânea (FMC)** em escolas de nível médio e na formação de professores. Parece que essa linha pode contribuir

para minimizar alguns problemas acima apontados. O entusiasmo dos estudantes em aprender, na própria escola, assuntos que lêem em revistas de divulgação, em jornais ou na internet, justifica definitivamente a necessidade da atualização curricular. Além disso, FMC pode ser instigante para os jovens, pois não significa somente estudar o trabalho de cientistas que viveram centenas de anos atrás, mas também assistir cientistas falando na televisão sobre seus experimentos e expectativas para o futuro. Estudar problemas conceituais existentes na FMC envolve os estudantes nos desafios filosóficos de alguns aspectos da física. O fato de que nem tudo, no mundo científico, é sabido ou entendido, modifica a idéia que os alunos em geral têm de física - um assunto que é uma “massa” de conhecimentos e fatos, um livro fechado. Ou são mostrados aos jovens os desafios a serem enfrentados pela física no futuro ou eles não serão encorajados a reconhecer essa ciência como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles<sup>2</sup>.

No sentido de proporcionar uma visão de mundo mais atualizada a nossos estudantes, estamos investindo em mudanças na licenciatura em física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul já há algum tempo. O objetivo é formar professores críticos em relação ao currículo de física e com ferramentas que possibilitem o enfrentamento da questão da atualização curricular. Essa experiência de ensino envolveu, até o presente momento, estagiários da disciplina Prática de Ensino de Física e escolas da rede pública e privada de Porto Alegre, levando a quase seiscentos estudantes de ensino médio temas atuais de física. Um passo importante para a implementação dessas mudanças consistiu

.....  
**Fernanda Ostermann**

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

e-mail: fernanda@if.ufrgs.br

.....  
**Cláudio J. de H. Cavalcanti**

Centro Universitário La Salle, Canoas, RS

e-mail: cjhc@if.ufrgs.br

---

Já é hora de temas mais atuais passarem a fazer parte dos currículos de física e ciências em geral. O artigo, descreve um pôster para auxiliá-lo no ensino de um dos mais instigantes temas da física contemporânea: as partículas elementares. O pôster encontra-se na última capa da revista.

na preparação de textos e materiais didáticos sobre tópicos de FMC. Dentre esses materiais, elaborou-se um pôster colorido sobre **partículas elementares e interações fundamentais** (Figura 1). Ele foi criado a partir da necessidade de suprir uma grande escassez, em nosso meio, de materiais didáticos sobre temas de FMC escritos em língua portuguesa<sup>3</sup>. A seguir, descreveremos com detalhes o conteúdo e a estrutura desse pôster.

### Informações Contidas no Pôster

Na Figura 1 vemos o pôster completo, cujos setores são organizados como mostra a Figura 2. Cada setor está reproduzido e comentado ao longo do texto.

O esquema central do setor 1 (Figura 3) mostra quais são as partículas fundamentais existentes no universo. Primeiramente foram agrupadas as partículas que não possuem estrutura

interna (são os “blocos”, até o momento considerados indivisíveis, que constituem toda a matéria do universo): quarks, léptons e partículas mediadoras. Na natureza, os quarks se agrupam somente de duas maneiras diferentes. Esses dois tipos de agrupamento formam os sistemas chamados de hádrons, que se dividem em bárions (constituídos por três quarks) e os mésons (constituídos por um par quark-antiquark). Este esquema encaminha para as quatro tabelas existentes no setor. Na parte superior esquerda, vê-se a tabela dos seis quarks e dos seis léptons e nela estão algumas de suas propriedades (massa de repouso e carga elétrica). Essas partículas possuem spin semi-inteiro e são divididas em três gerações, sendo classificadas como férmions. As duas primeiras linhas correspondem à primeira geração, a terceira e a quarta linhas à segunda geração e as duas últimas linhas formam a terceira

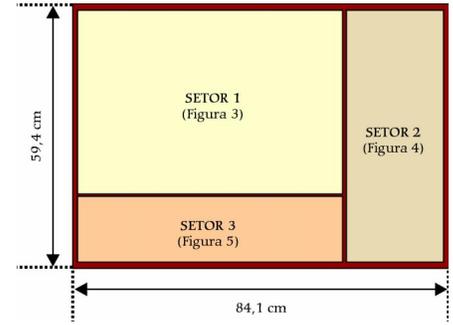


Figura 2. A estrutura do pôster segundo os seus setores.

ra geração. A primeira geração constitui a matéria estável do universo. Por exemplo, observando os elementos químicos em uma tabela periódica, constata-se que eles são compostos de quarks u e d (presentes nos prótons e nêutrons) e de elétrons.

Na física contemporânea o conceito de força dá lugar à idéia de interação via troca de partículas, chamadas partículas mediadoras. Na parte supe-

**QUARKS**

Quark	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Carga elétrica (e)	Spin
u	~5	2/3	1/2
d	~10	-1/3	1/2
c	1500	2/3	1/2
s	~150	-1/3	1/2
t	~174000	2/3	1/2
b	~4700	-1/3	1/2

**LÉPTONS**

Lépton	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Carga elétrica (e)	Spin
e	0,511	-1	1/2
μ	~107	-1	1/2
τ	< 70	-1	1/2
ν <sub>e</sub>	~0	0	1/2
ν <sub>μ</sub>	~0	0	1/2
ν <sub>τ</sub>	~0	0	1/2

**PARTEÍCULAS MEDIADORAS**

Interação	Partícula	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Carga elétrica (e)	Spin
Interação Eletromagnética	γ	0	0	1
	Z <sup>0</sup>	~91187	0	0
Interação Fraca	W <sup>+</sup>	~80220	+1	0
	W <sup>-</sup>	~80220	-1	0
Interação Gravitacional	g	0	0	2
	g	0	0	2

**HÁDRONS**

Hádron	Composição	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Carga elétrica (e)	Spin
n	udd	940	0	1/2
p	uud	940	+1	1/2
π <sup>+</sup>	uā	140	+1	0
π <sup>-</sup>	ūd	140	-1	0
K <sup>+</sup>	uś	494	+1	0
K <sup>-</sup>	ūs	494	-1	0
ρ <sup>+</sup>	uū	770	+1	1
ρ <sup>-</sup>	ūd	770	-1	1

**MESONS**

Meson	Composição	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Carga elétrica (e)	Spin
π <sup>+</sup>	uā	140	+1	0
π <sup>-</sup>	ūd	140	-1	0
K <sup>+</sup>	uś	494	+1	0
K <sup>-</sup>	ūs	494	-1	0
ρ <sup>+</sup>	uū	770	+1	1
ρ <sup>-</sup>	ūd	770	-1	1

**INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS**

Interação	Partícula	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Carga elétrica (e)	Spin
Interação Eletromagnética	γ	0	0	1
	Z <sup>0</sup>	~91187	0	0
Interação Fraca	W <sup>+</sup>	~80220	+1	0
	W <sup>-</sup>	~80220	-1	0
Interação Gravitacional	g	0	0	2
	g	0	0	2

**HÁDRONS**

Hádron	Composição	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Carga elétrica (e)	Spin
n	udd	940	0	1/2
p	uud	940	+1	1/2
π <sup>+</sup>	uā	140	+1	0
π <sup>-</sup>	ūd	140	-1	0
K <sup>+</sup>	uś	494	+1	0
K <sup>-</sup>	ūs	494	-1	0
ρ <sup>+</sup>	uū	770	+1	1
ρ <sup>-</sup>	ūd	770	-1	1

**PROPRIEDADES**

Propriedade	Gravitacional	Fraca	Eletromagnética	Forte
Alus em	massa	sabor	carga elétrica	carga de cor
Partícula mediadora	graviton	W <sup>+</sup> W <sup>-</sup> Z <sup>0</sup>	γ	gluon
Alus em	infinito	< 10 <sup>-18</sup>	infinito	~10 <sup>-15</sup>
Alus em	~10 <sup>-40</sup>	~10 <sup>-12</sup>	~10 <sup>-2</sup>	1, 2, 4, 0,8

**ESCALA DE TEMPO**

Tempo	Evento	Interação
10 <sup>26</sup>	Universo	Gravitacional
10 <sup>22</sup>	Aglomerado de galáxias	Gravitacional
10 <sup>19</sup>	Galáxia típica	Gravitacional
10 <sup>12</sup>	Sistema planetário	Gravitacional
1	Ser humano	Eletromagnética
10 <sup>-8</sup>	Molécula	Eletromagnética
10 <sup>-10</sup>	Átomo	Eletromagnética
10 <sup>-14</sup>	Núcleo	Forte
10 <sup>-13</sup>	Próton	Forte
10 <sup>-18</sup>	Quarks Léptons	Forte

**A Interação Forte**

Cada quark carrega um dos três tipos de carga de cor. Os mésons têm de carga forte. Esta carga não está relacionada ao sentido cotidiano da palavra cor. Assim como na interação eletromagnética as partículas carregar eletricamente interagem via troca de fótons, na interação forte as partículas com carga de cor trocam glúons. Letões, bósons, os bósons W<sup>+</sup>, W<sup>-</sup> e Z<sup>0</sup> não possuem carga de cor e portanto, não interagem via força forte. Não é possível notar quarks a olho nu, visto confinados nos sistemas moléculas em carga de cor (sistemas atômicos, que são os hádrons). Cada contêiner de carga de cor precisa de glúons entre objetos com carga de cor.

**Interação forte residual:** A interação forte que ocorre entre os prótons e nêutrons é devida à interação forte residual entre os núcleos contêineres de quarks. Tanto os prótons quanto os nêutrons apresentam neutralidade em carga de cor, o que faz coincidir com os quarks. A interação forte residual é análoga à interação eletromagnética residual que liga os átomos eletricamente neutros para formar os moléculas.

Dois quarks a separados por uma distância da ordem de 10<sup>-15</sup> metros.

Dois quarks a separados por uma distância da ordem de 10<sup>-10</sup> metros.

Figura 1. Visão geral do pôster. Veja detalhes na última capa.



Figura 3. Conteúdo do setor 1 do pôster.

rior direita está a tabela das partículas mediadoras das interações fundamentais (eletrofraca, forte e gravitacional). Uma boa analogia para compreender esse mecanismo seria considerar dois jogadores de vôlei, onde a bola é a partícula mediadora da interação repulsiva entre eles<sup>4</sup>. Quando o primeiro jogador impulsiona a bola, ele sofre um recuo, por conservação de momentum linear. O segundo, ao receber e devolver a bola, também sofrerá um recuo, resultando em uma repulsão efetiva entre os dois devido à troca da bola.

Essa tabela também fornece a massa de repouso e a carga elétrica de cada uma das partículas mediadoras. Por possuírem spin inteiro, são classificadas de bósons. No espaço reservado ao gráviton existe um símbolo (um olho com um "X" superposto) denotando que ele ainda não foi observado experimentalmente.

A esfera que aparece abaixo destas duas tabelas (quarks & léptons e partículas mediadoras) é usada para representar partículas sem estrutura interna.

Na parte inferior esquerda aparece uma tabela com alguns exemplos de bárions, que são hádrons formados por três quarks. Para cada bárion é apresentado o seu correspondente antibárion (formado por três antiquarks). Toda partícula possui a sua correspon-

dente antipartícula, simbolizada por uma barra acima do símbolo da partícula. Partícula e antipartícula têm massa e spin idênticos, mas cargas opostas. Por exemplo, a antipartícula do elétron é o pósitron, que possui mesma massa de repouso, mesmo spin e carga elétrica de mesmo valor, porém com sinal positivo.

Esta tabela fornece, além das massas de repouso e das cargas elétricas, o spin e a composição de quarks para cada bárion e antibárion. Observe que a massa do próton, por exemplo, é maior que a soma das massas de seus quarks constituintes. Isto se deve à equivalência massa-energia. Parte da massa do próton deve-se à energia de confinamento dos quarks. O símbolo abaixo desta tabela ilustra que os bárions são compostos por três quarks. Estes estão unidos através da troca de glúons, simbolizados por uma espécie de "cola".

Na parte inferior direita aparece outra tabela com alguns exemplos de mésons, que são hádrons formados por um par quark-antiquark. Para cada méson é também apresentado o seu correspondente antiméson, com as massas de repouso e as cargas elétricas, o spin e a composição de quarks para cada um deles. O símbolo abaixo desta tabela é usado para mostrar que os mésons são compostos por um par

quark-antiquark. Além disso, aparecem, neste setor, várias explicações: o sistema de unidades utilizado, a relação massa-energia de Einstein, a conversão de MeV/c<sup>2</sup> em kg, uma analogia clássica do spin, a unificação das interações eletromagnética e fraca e o que são bósons e férmions.

O setor 2 (Figura 4) trata das quatro interações fundamentais da natureza:

- interação gravitacional;
- interação eletromagnética;
- interação forte;
- interação fraca.

Este setor tem na sua parte superior uma tabela que resume todas as interações fundamentais e suas propriedades principais.

### Interação Gravitacional

Quaisquer corpos que possuem massa atraem-se mutuamente. Esta

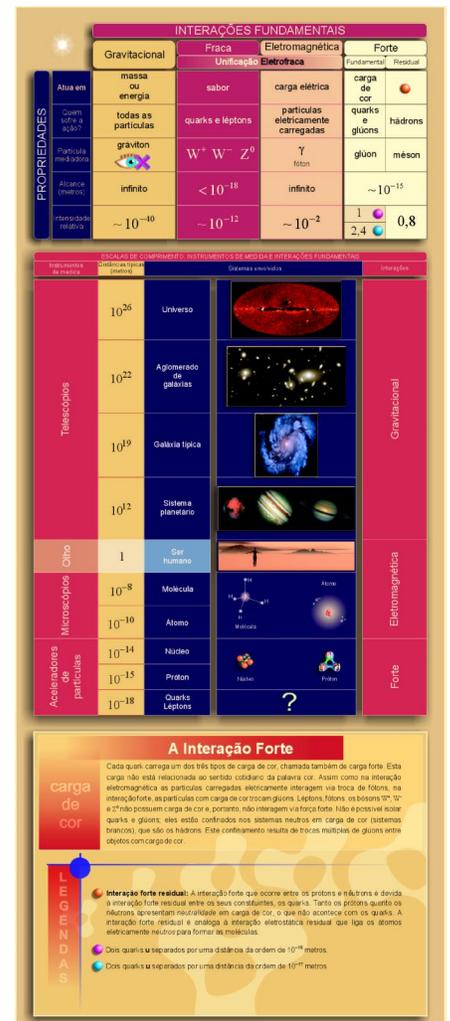


Figura 4. Conteúdo do setor 2 do pôster.

é a chamada interação gravitacional, que diminui de intensidade quanto maior for a distância entre os corpos. É ela que rege o movimento dos corpos celestes no universo. Já no campo da física de altas energias esta interação não será importante quando a energia cinética da partícula for muito maior que sua energia potencial gravitacional, o que normalmente acontece.

**A interação gravitacional é uma interação atrativa de longo alcance (estende-se até o infinito). Sua partícula mediadora é o gráviton (ainda não detectado experimentalmente)**

Mas é claro que todos os objetos com massa experimentam a interação gravitacional, mesmo quando esta é muito fraca. A partícula mediadora da interação gravitacional é chamada de gráviton, que nunca foi detectada experimentalmente. A interação gravitacional é uma interação atrativa de longo alcance (matematicamente, infinito). Na tabela superior do setor 2, vê-se suas propriedades principais. Esta interação afeta massa ou energia, todas as partículas experimentam esta interação, sua partícula mediadora é o gráviton (na tabela está indicado por um símbolo o fato desta partícula ainda não ter sido detectada experimentalmente) e seu alcance é infinito. Na última linha desta tabela é dada a intensidade relativa, tomando-se como unidade a interação forte fundamental, no caso em que dois quarks u estão separados por uma distância da ordem de  $10^{-18}$  metros. A interação forte fundamental é  $10^{40}$  vezes mais forte do que a interação gravitacional, aparecendo o fator  $10^{-40}$  para a sua intensidade relativa.

### Interação Eletromagnética

Na interação eletromagnética está envolvida a carga elétrica que os corpos possuem. Partículas carregadas, tais como o elétron e o próton, experimentam uma interação eletromagnética atrativa, pois possuem cargas de sinais contrários.

**A interação eletromagnética pode ser atrativa ou repulsiva, de longo alcance. Sua partícula mediadora é o fóton**

Partículas com cargas de sinais iguais se repelem. Já as partículas neutras (como o nêutron e o neutrino), não

interagem eletromagneticamente. É por meio da interação eletromagnética que os elétrons e o núcleo estão unidos formando os átomos. Como no caso da interação gravitacional, a interação eletromagnética é de longo alcance. Sua intensidade depende da carga das partículas e torna-se cada vez mais fraca à medida que a distância entre as partículas aumenta. A

partícula mediadora desta interação é o fóton. A primeira evidência experimental de sua "existência" foi em 1905, quando Einstein explicou o efeito fotoelétrico, atribuindo à luz propriedades corpusculares, através da hipótese de que sua energia é armazenada em pequenos pacotes (ou *quanta*) de energia: os fótons. Todas as propriedades acima descritas estão sintetizadas na tabela superior do setor 2. A sua intensidade em relação à interação

**A interação forte fundamental é uma interação atrativa, de curto alcance, que atua na carga de cor dos quarks. Sua partícula mediadora é o glúon**

forte fundamental aparece na última linha e é dada pelo fator  $10^{-2}$ . Isso indica que a interação eletromagnética é tipicamente 100 vezes menos intensa do que a interação forte fundamental, no caso tomado como padrão.

### Interação Forte

Na tabela superior do setor 2 vê-se que a interação forte se subdivide em duas: a interação forte fundamental e a interação forte residual. A interação forte fundamental ocorre entre os quarks, que compõem, por exemplo, os prótons e nêutrons do núcleo. Esta interação atua em carga de cor, uma propriedade que somente os quarks apresentam. Cada quark

carrega um dos três tipos de carga de cor (vermelho, verde e azul), chamada também de carga forte. Esta carga não está relacionada ao

sentido cotidiano da palavra cor. Essa nomenclatura foi utilizada apenas para designar uma propriedade quan-

tica dos quarks.

Assim como na interação eletromagnética, partículas carregadas eletricamente interagem via troca de fótons; na interação forte fundamental, partículas com carga de cor interagem via troca de glúons. Léptons, fótons e bósons  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$  não possuem carga de cor, não interagindo portanto via interação forte. Não é possível isolar quarks e glúons; eles estão confinados nos sistemas neutros em carga de cor (sistemas brancos), que são os hádrons. Este confinamento resulta de trocas múltiplas de glúons entre objetos com carga de cor. Na parte referente à interação forte fundamental da tabela superior do setor 2, vê-se que a intensidade relativa dessa interação tem dois casos: o caso em que dois quarks u estão separados por uma distância de  $10^{-18}$  metros (ca-

so padrão, em relação ao qual são calculadas todas as intensidades) e o caso em que dois quarks u estão separados por uma distância de  $10^{-17}$

metros, ou seja, dez vezes mais afastados. No segundo caso, a interação é 2,4 vezes mais intensa do que no primeiro, como mostra a tabela superior do setor 2.

A interação forte residual atua sobre todos os hádrons e se dá via troca de mésons. No caso mais conhecido, é uma interação atrativa que age entre os núcleons (o nome coletivo para prótons e nêutrons). É atrativa para todas as combinações de prótons e nêutrons, ou seja, um núcleon atrai outro núcleon. Ela se deve à interação forte residual entre os constituintes dos núcleons, os quarks. Tanto os prótons quanto os nêutrons apresentam neutralidade em carga de cor, o que não acontece com os quarks. A interação forte residual é análoga à interação eletrostática residual, que liga os átomos eletricamente neutros para formar as moléculas.

Quando confinados no núcleo, prótons e nêutrons estão em média muito próximos entre si. Portanto, a interação eletromagnética repulsiva entre os prótons é muito intensa e ten-

de a romper o núcleo (fissão). A interação forte residual garante a estabilidade do núcleo (por ser mais intensa do que a interação eletromagnética repulsiva nessas distâncias), impedindo o seu rompimento. Esta interação é de curto alcance, pois está restrita a dimensões de  $10^{-15}$  metros, como mostra a tabela.

**A interação forte residual é uma interação atrativa, de curto alcance, e atua sobre todos os hádrons. Sua partícula mediadora é o méson**

### Interação Fraca

A interação fraca é assim chamada porque é fraca em intensidade se comparada à interação forte, tendo uma intensidade relativa da ordem de  $10^{-12}$ . Esta é a interação responsável pelo decaimento  $\beta$ . Os neutrinos são afetados apenas pela interação fraca, já que, se possuem massa, ela é muito pequena (logo praticamente não interagem gravitacionalmente). Além disso, não possuem carga elétrica (o que exclui a interação eletromagnética). Sempre que um neutrino estiver envolvido em uma reação, é sinal de que esta é governada pela interação fraca. As partículas mediadoras desta interação são:  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$ . Estes mediadores são muito massivos e, ao contrário das outras partículas mediadoras (gráviton, fóton e glúon), que possuem massa de repouso nula, estes têm massa quase cem vezes maior que a massa do próton,

**A interação fraca é de curto alcance, e atua sobre os quarks e léptons. Suas partículas mediadoras são o  $W^+$ , o  $W^-$  e a  $Z^0$**

o que implica que a interação fraca tem um raio de ação limitado, da ordem de  $10^{-18}$  metros.

A tabela superior do setor 2 mostra que quarks e léptons são os que sofrem este tipo de interação, que têm a propriedade de mudar o sabor (tipo de lépton ou quark) das partículas, sendo responsável por qualquer processo de transmutação de uma partícula em outra. A partir daí, pode-se entender a sua importância na evolução da matéria e do universo como um todo, pois é através dessa transmutação que se pode explicar a diversidade de elementos químicos que são observados. O quadro inferior do setor 2 fornece algumas explicações da

tabela superior.

A tabela central do setor 2 tem o título *Escalas de comprimento, instrumentos de medida e interações fundamentais* e contém informações sobre as distâncias típicas de cada interação, seus respectivos ins-

trumentos de medida e os sistemas envolvidos nessas escalas de comprimento. O domínio mais vasto é o da interação gravitacional, que engloba desde os limites conhecidos do universo (que envolve distâncias da ordem de  $10^{26}$  metros), aglomerados de galáxias (distâncias da ordem de  $10^{22}$  metros) e galáxias típicas (distâncias da ordem de  $10^{19}$  metros) até sistemas planetários (distâncias típicas de  $10^{12}$  metros). Essa interação é a principal responsável pela estabilidade desse tipo de sistema. Isso porém não quer dizer que as restantes não estejam presentes nele. Os telescópios (óticos ou radiotelescópios) são os instrumentos de medida mais usados na observação dos sistemas envolvidos na interação gravitacional. A interação gravitacional também engloba o dia-a-dia dos seres vivos, porém não é a preponderante nesse tipo de sistema. Neste caso, entramos no domínio da interação eletromagnética, responsável pela estabilidade das moléculas e átomos e por

qualquer “contato” dos seres vivos entre si e com a matéria, visível ou não. O instrumento de medida principal, nesse sistema, é o olho e as distâncias típicas envolvidas são da ordem de 1 metro. Nessa tabela, é exatamente nesse ponto que começa o domínio da

interação eletromagnética, passando pela molécula (distâncias da ordem de  $10^{-8}$  metros) e indo até o átomo (distâncias da ordem de  $10^{-10}$  metros), onde os elétrons se unem ao núcleo graças a essa interação. Neste caso, o instrumento de medida mais adequado é o microscópio (ótico e eletrônico). No domínio subatômico, a força eletromagnética (embora intensa) deixa de ser a responsável pela estabilidade dos sistemas. No caso dos prótons e nêutrons, que compõem os núcleos, ela é sobrepujada pela interação forte (residual), que mantém o núcleo coeso, apesar da forte repulsão eletromagnética entre os prótons. O domínio da interação forte começa na formação dos núcleos (distâncias típicas da ordem de  $10^{-15}$  metros) e vai até os quarks, confinados dentro dos hádrons (distâncias típicas de  $10^{-18}$  metros). Sistemas que possuem um “tamanho” da ordem de  $10^{-18}$  metros são os quarks e os léptons. No entanto, apenas os quarks experimentam essa interação. Os instrumentos de medida (indireta) relativos a essa interação mais comumente utilizados são os aceleradores de partículas.

No setor 3 (Figura 5), aparecem três quadros que ilustram (da esquerda para a direita) a estrutura atômica segundo o modelo atualmente aceito, o decaimento beta do nêutron e a aniquilação de um par quark-antiquark. Vê-se, no quadro do modelo atômico atual (onde está representado um átomo de hélio), que o próton e o nêutron, que compõem o núcleo, são bárions, ou seja, cada um deles é composto por três quarks. O próton tem dois quarks u e um quark d. Já o nêutron, dois quarks d e um u. Os elétrons, conforme mostra a figura, não têm estrutura interna. As dimensões no átomo são as seguintes: os elétrons

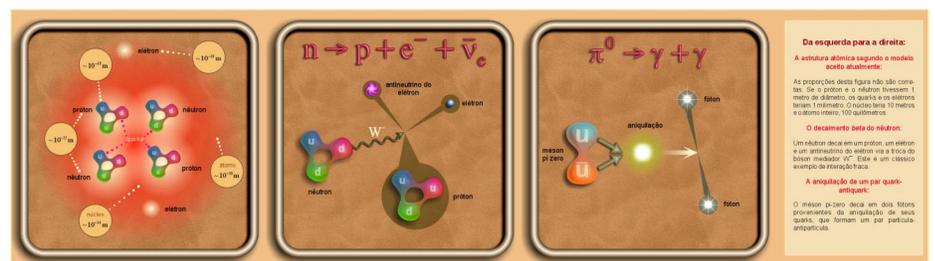


Figura 5. O setor 3 do pôster.

e os quarks (as partículas sem estrutura interna) têm um “tamanho” de  $10^{-18}$  metros; o próton e o nêutron,  $10^{-15}$  metros; o núcleo,  $10^{-14}$  metros e o átomo,  $10^{-10}$  metros. As proporções desta figura não são corretas. Se o próton e o nêutron tivessem 1 metro de diâmetro, os quarks e os elétrons teriam 1 milímetro. O núcleo teria 10 metros e o átomo inteiro, 100 quilômetros.

No quadro do centro (decaimento beta do nêutron), vê-se que um nêutron decai em um próton, um elétron e um antineutrino do elétron via a troca do bóson mediador  $W^-$ . Este é um clássico exemplo de interação fraca.

No quadro bem à direita, está representada a aniquilação de um par quark-antiquark. O méson pi-zero

decai em dois fótons provenientes da aniquilação de seus quarks, que formam um par partícula-antipartícula. O texto que aparece nesse setor está,

**A concepção da física como uma ciência estruturada pode ser discutida com os alunos a partir da percepção de que todos os “infinitos” tipos de força abordados no ensino médio recaem basicamente em quatro interações fundamentais**

em grande parte, reproduzido acima. Trata-se da explicação das três figuras apresentadas nesta parte do pôster.

### Conclusões

O objetivo deste trabalho foi divulgar um material

didático, em forma de pôster, que possa contribuir para a atualização do currículo de física em escolas brasileiras, através da inserção de um tópico contemporâneo: partículas elementares e interações fundamentais. Trata-se de uma área do ensino médio de física que ainda apresenta pouca tradição didática em nosso país. A contribuição do trabalho aqui

relatado foi a de criar um recurso didático (em português), à luz de materiais desenvolvidos no exterior. A idéia é que este tema possa ser gradativamente introduzido nas escolas, através, por exemplo, de uma visão mais atual da estrutura da matéria, na qual o modelo de átomo não se reduza ao que é normalmente ensinado nas aulas de química. A concepção da física como uma ciência altamente estruturada pode ser discutida com os alunos a partir da percepção de que todos os “infinitos” tipos de força abordados no ensino médio recaem basicamente em quatro interações fundamentais. Como exemplo, pode-se classificar a força de atrito, a força normal, o empuxo ou a tensão em uma corda como manifestações da interação eletromagnética.

Espera-se que o pôster apresentado, uma vez integrado à formação inicial e continuada de professores, possa facilitar a inserção desta área fascinante da física nos currículos escolares.

### Referências Bibliográficas

1. Menezes, L.C. Uma física para o novo ensino médio. *Física na escola*, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 6-8, out. 2000.
2. Ostermann, F. *Tópicos de física contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de física*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Física - UFRGS, 2000. Tese.
3. Ostermann, F.; Cavalcanti, C.J.H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 16, n. 3,

p. 267-286, dez. 1999.

4. Particle Data Group. *A aventura das partículas*. <http://www.aventuradasparticulas.ift.unesp.br>. 17 abr. 2001.

### Leia Mais

Ostermann, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 415-436, set. 1999.

Ostermann, F.; Moreira, M.A. Física Contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*,

Barcelona, v. 18, n. 3, p. 391-404, nov. 2000.

Wilson, B. Particle physics at A-level - a teacher's viewpoint. *Physics Education*, Bristol, v. 27, n. 2, p. 64-65, Mar. 1992.

### Na Internet

Fermi National Accelerator Laboratory. <http://www.fnal.gov/> 17 abr. 2001.

Contemporary Physics Education Project. <http://www.cpepweb.org/> 17 abr. 2001.

4. Particle Data Group. *A aventura das partículas*. <http://www.aventuradasparticulas.ift.unesp.br>. 17 abr. 2001.



**Desvendando a Física!**

### Força ‘Inteligente’?

Considere uma massa  $M$  presa na extremidade de uma corda que gira com velocidade  $v$  em um círculo de raio  $R$ . A corda faz um ângulo  $\theta$  com a vertical. Como todo estudante sabe, a tensão  $T$  na corda é dada por

$$T = Mg/\cos\theta$$

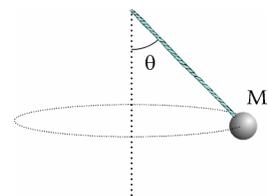
e o ângulo  $\theta$  é dado por

$$\theta = \text{tg}^{-1}(v^2/Rg),$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade. Quando a velocidade cresce, o ângulo também aumenta. Como a corda ‘sabe’ que deve variar a tensão?

- a) Devido ao estiramento das ligações químicas?
- b) Pela ação da força gravitacional?

As forças de atrito estático entre duas superfícies também são ‘inteligentes’. Podem variar de zero até um valor máximo. Você conhece outras forças ‘inteligentes’? Cartas ao Editor.





### Como as nuvens se formam?

A origem de uma nuvem está no calor que é irradiado pelo Sol atingindo a superfície de nosso planeta. Este calor evapora a água que sobe por ser menos denso que o ar ao nível do mar. Ao encontrar regiões mais frias da atmosfera o vapor se condensa formando minúsculas gotinhas de águas que compõem então as nuvens.

que para o vapor tornar-se uma gotinha d'água ele precisa encontrar na atmosfera partículas sólidas sobre as quais se condensar. Essas partículas estão sempre em suspensão no ar, mesmo nas regiões onde o ar é muito puro.

### Todas as nuvens produzem relâmpagos?

Não. Somente as nuvens de tempestades, conhecidas como cumulonimbus, possuem os ingredientes necessários para produzir relâmpagos: ventos intensos, grande extensão vertical e partículas de gelo e água em diversos tamanhos.

.....  
**Marcelo M.F. Saba**

Pesquisador do Grupo de Eletricidade Atmosférica

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

C.P. 515 - 12201-970

S. José dos Campos, SP, Brasil

e-mail: saba@dge.inpe.br  
.....



## A Física das Tempestades e dos Raios

Questões e  
dúvidas  
freqüentes

### Basta então calor e umidade?

Não. Na atmosfera a temperatura do ar diminui com a altura. Dependendo de quão rápida é esta diminuição, o crescimento de uma nuvem pode ser acelerado ou inibido. Alguns outros fatores podem também dar uma "mãozinha" para que a nuvem cresça: as montanhas, onde ventos batem forçando o ar quente subir, e as frentes frias, camadas de ar frio que funcionam como uma cunha empurrando o ar quente para cima. Sabemos ainda

### Que aspecto têm as nuvens de tempestade?

Estas nuvens são enormes. Elas têm sua base em 2 ou 3 km e o topo em até 20 km de altitude! Podem ter 10 ou mesmo 20 km de diâmetro. Normalmente têm a sua base escura, pois a luz solar é absorvida e espalhada pelas partículas de água e gelo de que são formadas. O seu topo muitas vezes atinge a base da estratosfera (camada da atmosfera logo acima da troposfera, onde vivemos). Ao atingir a base da estratosfera, a nuvem não consegue mais subir, pois a tempe-

---

Neste artigo explicam-se diversos aspectos sobre a física envolvida na formação de nuvens de tempestades e relâmpagos, fenômenos que por milhares de anos assustaram a humanidade e com os quais devemos ter alguns cuidados.

ratura nessa camada tende a aumentar devido à absorção do ultravioleta pela camada de ozônio. Assim ela se espalha horizontalmente na direção dos ventos nessa altitude, fazendo que a nuvem tenha o aspecto de uma bigorna. As nuvens de tempestade geralmente estão associadas a: chuvas torrenciais e enchentes, granizo ou “chuva de pedra”, ventos intensos ou “rajadas de vento”, e eventualmente os temíveis tornados. A quantidade de energia envolvida em apenas uma tempestade modesta é assustadora. Ela é várias vezes superior à energia liberada pela primeira bomba atômica detonada em um deserto dos Estados Unidos em 1945. A diferença é que a bomba atômica libera toda sua energia em uma fração de segundo, enquanto uma tempestade o faz durante um período de muitos minutos ou várias horas.

### Qual o efeito das tempestades sobre o clima?

As tempestades são como grandes trocadores de calor. Ou seja, o ar que próximo ao chão encontrava-se, em dias de verão, a quase 40 °C, pode ser transportado até o topo da tempestade onde pode chegar com a temperatura de -70 °C. Existem estimativas de que o nosso planeta sem essas nuvens trocadoras de calor teria uma temperatura média 10 °C maior.

### Por que as nuvens se eletrificam?

Ainda não há uma teoria definitiva que explique a eletrificação da nuvem. Há, no entanto, um consenso entre os pesquisadores de que a eletrificação surge da colisão entre partículas de gelo, água e granizo no interior da nuvem. Uma das teorias mais aceitas nos diz que o granizo, sendo mais pesado, ao colidir com cristais de gelo, mais leves, fica carregado negativamente, enquanto os cristais de gelo ficam carregados positivamente. Isso explicaria o fato de a maioria das nuvens de tempestade ter um centro de cargas negativas embaixo e um centro de cargas positivas na sua parte superior. Algumas nuvens apresentam também um pequeno centro de cargas positivas próximo à sua base.



### Por que existem relâmpagos?

Quando a concentração de cargas no centro positivo e negativo da nuvem cresce muito, o ar que os circunda já não consegue isolá-los eletricamente. Acontecem então descargas elétricas entre regiões de concentração de cargas opostas que aniquilam ou pelo menos diminuem essas concentrações. A maioria das descargas (80%) ocorre dentro das nuvens, mas como as cargas elétricas na nuvem induzem cargas opostas no solo, as descargas podem também se dirigir a ele.

### Quando e quem descobriu que os raios eram enormes descargas (faíscas) elétricas?

Em 1752, Benjamin Franklin propôs uma experiência para verificar se as nuvens possuíam eletricidade. Sugeriu que uma pessoa subisse no alto de uma montanha em um dia de tempestade e verificasse se de uma haste metálica isolada do chão pulariam faíscas em direção aos dedos da sua mão. Era uma experiência arriscadíssima que ele mesmo não a realizou, talvez por não haverem montanhas suficientemente altas na Filadélfia, onde morava. Quem a realizou pela primeira vez foi Thomas François Dalibard, na França, em maio de 1752. Um mês depois, sem saber do sucesso da experiência na França, Franklin conseguiu uma maneira de a realizar na Filadélfia. Em um dia de tempestade empinou uma pipa e observou faíscas pularem de uma chave amarrada próximo da extremidade da linha à sua mão. Tanto uma

como outra experiência não devem ser repetidas por ninguém. Várias pessoas morreram tentando repeti-las!

### Como funciona o pára-raios?

Um pára-raios nem atrai nem repele os raios. Ele também não descarrega a nuvem como pensava Benjamin Franklin. Ele simplesmente oferece ao raio um caminho fácil até o solo que é ao mesmo tempo seguro para nós e para o que pretendemos proteger.

### Quais os tipos de relâmpagos?

Aqueles que tocam o solo (80%) podem ser divididos em descendentes (nuvem-solo) e ascendentes (solo-nuvem). Os que não tocam o solo podem ser basicamente de três tipos: dentro da nuvem, da nuvem para o ar e de uma nuvem para outra. O tipo mais freqüente dos raios é o descendente. O raio ascendente é raro e só acontece a partir de estruturas altas no chão (arranha-céus) ou no topo de montanhas (torres, antenas). Os raios ascendentes têm sua ramificação voltada para cima.

### O que é um raio bola?

O raio bola é o mais misterioso dos raios e, portanto o que mais intriga os cientistas. Ele já foi observado por milhares de pessoas e, no entanto não há até hoje medidas suficientes que possam comprovar qualquer uma das várias teorias elaboradas para explicá-lo. Normalmente o seu tamanho varia entre o de uma bola de ping-pong e o de uma grande bola de praia, e sua duração é em média 15 segundos; possui um colorido na maioria das vezes amarelado e luminosidade menor do que uma lâmpada de 100 W. Flutua pelo ar não muito longe do chão, e não segue necessariamente a direção do vento. Costuma desaparecer silenciosamente ou acompanhado de uma explosão.

### Existem raios positivos e negativos?

Sim. Os raios têm a sua polaridade atribuída conforme o tipo de carga que neutralizam na nuvem. Portanto, se um raio neutralizar cargas negativas na nuvem ele é um raio negativo. Na prática não pode-

mos dizer com certeza se um raio é positivo ou negativo a não ser com o auxílio de instrumentos adequados.

### Quais as fases de um raio?

Um raio começa com pequenas descargas dentro da nuvem. Estas descargas liberam os elétrons que começarão seu caminho de descida em direção ao solo. Esse caminho de descida é tortuoso e truncado em passos de 50 metros, como que buscando o caminho mais fácil. Esta busca de uma conexão com a terra é muito rápida (330.000 km/h) e pouco luminosa para ser visto a olho nu. Quando essa descarga, conhecida como 'líder escalonado', encontra-se a algumas dezenas de metros do solo, parte em direção a ela uma outra descarga com cargas opostas, chamada de 'descarga conectante'. Forma-se então o que é conhecido como o canal do raio, um caminho ionizado e altamente condutor. Por ele passa um gigantesco fluxo de cargas elétricas denominado 'descarga de retorno'. É neste momento que o raio acontece com a máxima potência, liberando grande quantidade de luz.

### O raio pisca?

Se houver cargas disponíveis na nuvem, uma outra descarga intensa (chamada 'subseqüente') pode acontecer logo após a primeira. Aproximadamente metade dos raios possui descargas subseqüentes. Eles são chamados de raios múltiplos. Em média o número de descargas subseqüentes em raios múltiplos é três, mas já foram observadas mais de 50 descargas subseqüentes em um mesmo raio. O tempo entre uma descarga e outra é às vezes suficientemente longo possibilitando ao olho humano ver não uma, mas várias descargas acontecendo no mesmo local; é quando vemos o raio piscar.

### Sobe ou desce?

As duas coisas. Se pensarmos em termos das cargas elétricas que fluem no raio, concluiremos, como foi explicado anteriormente, que as cargas descem um bom trecho do caminho antes de se encontrarem com uma descarga que parte do solo subindo

em direção a ela para formar o caminho do raio.

### Por que os raios se ramificam?

A primeira descarga do raio geralmente apresenta-se muito ramificada pois no seu caminho até o solo as cargas elétricas buscam o caminho mais fácil (em termos de menor resistência do ar) e não o mais curto (que seria uma linha reta). O caminho mais fácil, geralmente em zigue-zague, é determinado por diferentes características elétricas da atmosfera, que não é homogênea.

### Qual a duração de um raio?

Um raio composto de várias descargas pode durar até 2 segundos. No entanto, cada descarga que compõe o raio dura apenas frações de milésimos de segundo.

### Qual a sua voltagem e corrente?

A voltagem de um raio encontra-se entre 100 milhões a 1 bilhão de Volts. A corrente é da ordem de 30 mil Ampères, ou seja, a corrente utilizada por 30 mil lâmpadas de 100 W juntas. Em alguns raios a corrente pode chegar a 300 mil Ampères!

### Qual a energia envolvida em um raio?

Grande parte da energia de um raio é transformada em calor, luz, som e ondas de rádio. Apenas uma fração dela é convertida em energia elétrica. Sabemos que a duração de um raio é extremamente curta, assim, apesar dos grandes valores de corrente e voltagem envolvidos a energia elétrica média que um raio gasta é de 300 kWh, ou seja, aproximadamente igual à de uma lâmpada de 100 W acesa durante apenas quatro meses.

### É possível utilizar a energia de um raio?

Para que pudéssemos utilizar essa energia, necessitaríamos não só capturá-la mas também armazená-la, o que é ainda impossível. Para capturar raios seria necessária uma quantidade muito grande de hastes metálicas para aumentar a chance de que fossem atingidas. No entanto, encontram-se em andamento pesquisas que

tentam drenar as cargas elétricas das nuvens de tempestade com o auxílio de potentíssimos raios laser. A idéia é tentar, com o auxílio do laser, guiar o raio até um local onde fosse possível armazenar a sua energia.

### Qual a sua espessura e comprimento?

O raio pode ter até 100 km de comprimento. Raios com esse comprimento geralmente envolvem mais de uma nuvem de tempestade. Apesar de seu grande comprimento, a espessura do canal de um raio é de apenas alguns centímetros.

### Qual a temperatura de um relâmpago?

A temperatura é superior a cinco vezes a temperatura da superfície solar, ou seja, a 30.000 graus Celsius. Quando um raio atinge e penetra solos arenosos a sua alta temperatura derrete a areia, transformando-a em uma espécie de tubo de vidro chamado fulgurito.

### O que é o trovão?

Muita gente acha que o trovão é o barulho causado pelo choque entre nuvens. Esta idéia é errada e muito antiga. Lucrécio (98-55 a.C.) acreditava que tanto o raio como o trovão eram produzidos por colisões entre nuvens. Na verdade é o rápido aquecimento do ar pela corrente elétrica do raio que produz o trovão. Assim como uma corrente elétrica aquece a resistência de nossos aquecedores, a corrente do raio, ao passar pelo ar (que é um péssimo condutor), aquece-o e ele se expande com violência, produzindo um som intenso e grave. Nos primeiros metros a expansão ocorre com velocidade supersônica. Um trovão intenso pode chegar a 120 decibéis, ou seja, uma intensidade comparável à que ouve uma pessoa nas primeiras fileiras de um show de rock.

### Como saber se o raio "caiu" perto?

A luz produzida pelo raio chega quase que instantaneamente na vista de quem o observa. Já o som (trovão) demora um bom tempo, pois a sua velocidade é aproximadamente um milhão de vezes menor. Para saber a

que distância aconteceu o raio, comece a contar os segundos ao ver o seu clarão e pare de contar ao ouvir o seu trovão. Divida o número obtido por três e você terá a distância aproximada do raio até você em quilômetros. Essa conta se explica se tivermos em conta que a velocidade do som é de aproximadamente 330 m/s, ou seja, um terço de quilômetro por segundo.

### Se o raio dura apenas frações de segundo, porque o trovão é tão longo?

O som do trovão inicia-se com a expansão do ar produzida pelo trecho do raio que estiver mais próximo do observador e termina com o som gerado pelo trecho mais distante (sem considerar as reflexões que possa ter). Como vimos, o canal do raio pode ter dezenas de quilômetros. Assim, o som gerado por uma extremidade que esteja muito distante pode chegar dezenas de segundos depois de ouvirmos o som gerado por um trecho do canal que estiver mais próximo.

### A que distância pode-se ouvir o trovão?

Um trovão dificilmente pode ser ouvido se o raio acontecer a uma distância maior do que 25 quilômetros. Isso deve-se à tendência que o som tem de curvar-se em direção a camadas de ar com menor temperatura (refração). Como a temperatura da atmosfera geralmente diminui com a altura, o som do trovão curva-se para



Foto do primeiro raio artificial induzido no Brasil.

cima passando por cima do observador.

### Além da luz, o raio produz alguma outra radiação?

Além de produzir luz, o raio produz ondas eletromagnéticas em várias outras frequências, inclusive raios-X. É comum ouvirmos ruídos e chiados ao sintonizarmos uma rádio AM em dia de tempestade. Isso ocorre porque o raio também produz ondas nesta faixa de frequência. Graças a essa característica, antenas sincronizadas

podem localizar o local de sua ocorrência com precisão simplesmente recebendo a onda eletromagnética produzida pelos raios.

### O que são os raios induzidos?

Uma grande dificuldade no estudo dos raios é não poder reproduzi-los em laboratório. Como a natureza não avisa onde e quando o raio vai ocorrer, uma maneira alternativa de estudá-lo consiste em provocar o raio para que aconteça próximo aos instrumentos de medida e no momento em que estiverem preparados. Para que isso aconteça, foguetes especialmente preparados são lançados em direção à base de uma nuvem de tempestade. Eles têm aproximadamente 1 metro de comprimento e levam consigo uma bobina de fio de cobre que se desenrola ao longo da subida. O fio de cobre atua como um gigante pára-raios cuja presença induz a ocorrência do raio. A corrente elétrica do raio passa pelo fio e por instrumentos de medida na base de lançamentos. Outras medidas podem ser feitas também ao redor da base. Raios induzidos foram feitos pela primeira vez no Brasil na sede do INPE em Cachoeira Paulista, em novembro de 2000.

### Notas

Mais informações sobre o assunto podem ser encontradas na internet: [www.lightning.dge.inpe.br](http://www.lightning.dge.inpe.br) e com o autor, Marcelo Saba, pelo e-mail: [saba@dge.inpe.br](mailto:saba@dge.inpe.br)

Osmar Pinto Jr. e Iara de A. Pinto. *Relâmpagos*. Ed. Brasiliense, 1996.



### Material

- caixa de sapato;
- papel vegetal;
- papel alumínio.

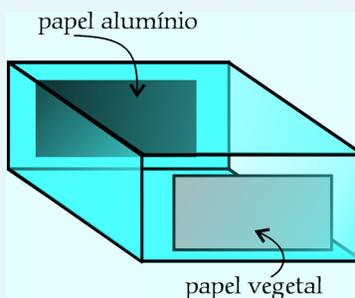
### Procedimento

Corte um retângulo grande em um dos lados menores de uma caixa de sapato e cubra-o com papel vegetal. No lado oposto abra um quadrado de 1,5 cm de lado e cubra-o com papel alumínio (ver figura).

Faça um furo pequeno no papel

### Imagens Múltiplas

alumínio. Feche a caixa e aponte-a para alguma coisa bem iluminada (ou mesmo o filamento de uma lâmpada



transparente) e veja a imagem formada no papel vegetal. Faça outro furo no papel alumínio.

### Observe que...

Para cada furo feito no papel alumínio, aparece uma nova imagem sobre o papel vegetal.

### Tópicos de Discussão

- Propagação retilínea da luz
- Formação de imagens na câmara escura
- Princípios da fotografia



# Caetano, o Quantum de Planck e a Expansão do Universo

Caetano Veloso, na música *Livros* do seu CD *Livro* (agraciado no ano passado com o *Grammy*, a mais importante premiação musical dos Estados Unidos, na categoria *World Music*), se expressa nestes belos versos:

Tropeçavas nos astros desastrada  
Quase não tínhamos livros em casa  
E a cidade não tinha livraria  
Mas os livros que em nossa vida entraram  
São como a **radiação do corpo negro**  
Apontando pra a **expansão do Universo**  
Porque a frase, o conceito, o enredo, o verso  
(E, sem dúvida, sobretudo o verso)  
É o que pode lançar mundos no mundo.

.....

**Nelson Studart**

Professor na Universidade Federal de São Carlos e editor da *Física na Escola*.  
e-mail: studart@df.ufscar.br

.....

Caetano está bem assessorado sobre o conteúdo de seus versos: além de músico, seu filho Moreno é estudante de física na UFRJ. Mas o que significa a radiação do corpo negro e como ela se relaciona com a expansão do Universo?

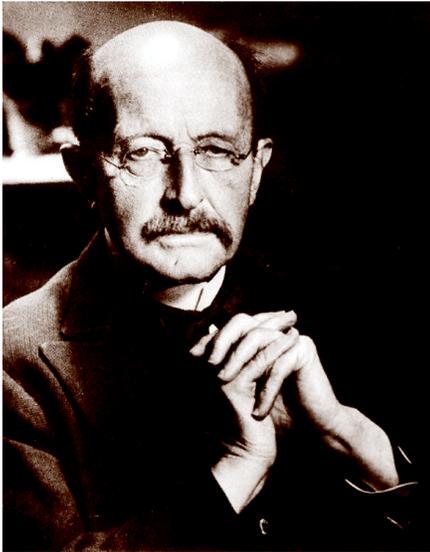
Um corpo aquecido emite radiação eletromagnética em um largo espectro contínuo<sup>1</sup> de comprimentos de onda, principalmente na região do infravermelho (o que pode nos dar a sensação de calor), mas com intensidade variável que atinge um máximo em um determinado comprimento de onda. É bem conhecido, por exemplo, que um metal a 600 °C, (por exemplo, em um forno elétrico) apresenta uma fraca coloração avermelhada enquanto o mesmo material (por exemplo, em uma siderúrgica) apresenta uma cor azulada a temperaturas bem mais altas. O Sol, cuja temperatura na superfície é de cerca de 6.000 °C, é o exemplo mais familiar de emissão de radiação térmica, cujo espectro abrange toda a região visível incluindo a de comprimentos de onda maiores (infravermelho) e menores (ultravioleta).

Um dos grandes problemas ao final do século XIX consistia em determinar teoricamente a intensidade da energia de radiação emitida por um corpo negro. Max Planck (1858-1957) resolveu este problema e através dele provocou uma revolução na ciência e a busca de uma base conceitual para toda a física. Ele apresentou a sua teoria na sessão da Sociedade Alemã de Física, em 14 de dezembro de 1900, data que hoje é reconhecida como a fundação da física moderna. De modo a reproduzir os resultados experimentais, Planck teve que inventar um novo conceito: a quantização da energia. A energia de um sistema, considerada até então uma grandeza física contínua no mundo microscópico da matéria, deveria na verdade ser discreta. Esta noção de descontinuidade da energia deu origem ao nascimento da teoria quântica, que tem sido fundamental para a compreensão da matéria e da radiação.

Em dezembro de 2000, o mundo inteiro festejou o nascimento da teoria quântica que foi completada com os trabalhos de Albert Einstein (1879-1955) - que criou o quantum de luz para a radiação análogo ao quantum de energia de Planck para a matéria - e na década de 20, com os de Werner Heisenberg

---

Tal qual a arte em geral, nossa música popular está repleta de citações sobre os mais diversos campos do conhecimento científico. Veja como relacionar dois importantes fenômenos na visão de Caetano Veloso.



Max Planck, o fundador da mecânica quântica

(1901–1976), Wolfgang Pauli (1900–1958) Erwin Schrödinger (1887–1961), Paul Adrien Maurice Dirac (1902–1984) e Max Born (1882–1970).

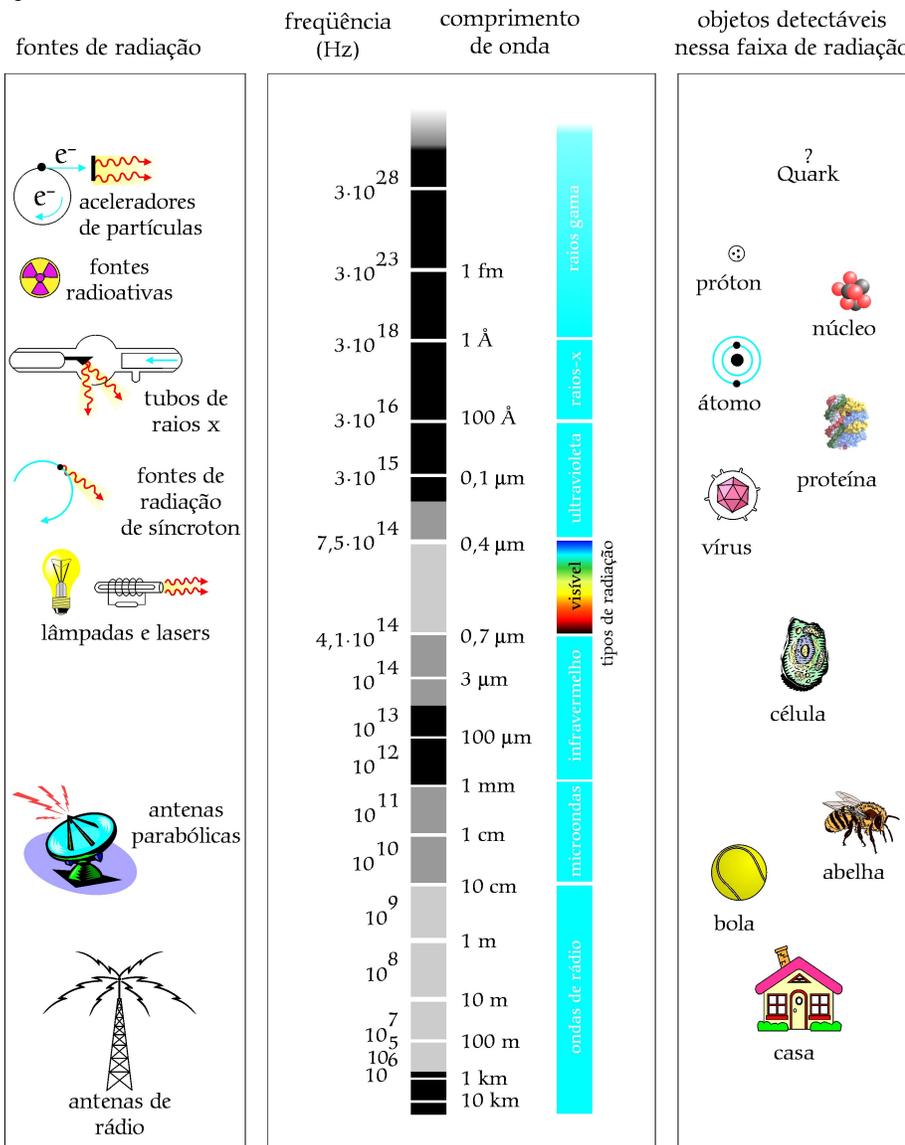
### A Expansão do Universo

Uma das verificações experimentais mais marcantes e precisas da lei da radiação de Planck é a distribuição da energia térmica de fundo. O Universo está repleto de uma radiação cósmica de fundo a uma temperatura de 2,73 K, que é a mais importante evidência da teoria do *big bang* (segundo a qual o Universo foi criado por uma grande explosão) apoiada na expansão e resfriamento do Universo com o tempo. Esta radiação é o mais

antigo fóssil referente a um período em que a matéria (prótons e elétrons) estava em equilíbrio térmico com a radiação eletromagnética de todos os comprimentos de onda. Quando o Universo se esfriou a  $T = 3000\text{ K}$  (a matéria já era constituída de hidrogênio atômico), a interação com a radiação se dava apenas nos comprimentos de onda das respectivas linhas espectrais<sup>2</sup> do hidrogênio. Nesta época, a maior parte da radiação se separou da matéria, esfriando-se, a entropia constante, até a atual temperatura de 2,73 K.

A primeira evidência da radiação fóssil foi encontrada por Arno Penzias (1933–) e Robert Wilson (1936–) em 1964. A distribuição espectral da radiação de fundo, as *microondas cósmicas*, foi obtida a partir dos anos 90 pela missão *Cosmic Background Explorer* (COBE. Os desvios da lei de Planck são mínimos (algumas partes por milhão) e são devidos a flutuações primordiais que levaram ao aparecimento das galáxias.

Texto baseado no artigo “A Invenção do Conceito de Quantum de Energia segundo Planck” *Revista Brasileira de Ensino de Física* v. 22, n. 4, p. 523, 2000, por Nelson Studart. A versão eletrônica deste artigo, com mais informações e a estrofe da música de Caetano podem ser encontradas no endereço [www.labvirt.if.usp.br](http://www.labvirt.if.usp.br)



Os diversos comprimentos de onda do espectro magnético, suas fontes geradoras e objetos que podem ser observados através dessas radiações.

**Leia Mais**  
 Nussenzveig, M. *Ciência Hoje* v. 28, n. 167, p. 71, dezembro de 2000.

**Notas**

- O espectro eletromagnético é simplesmente um nome dado pelos cientistas para um conjunto de tipos de radiação. Radiação é a energia que viaja e se espalha pelo espaço. A luz visível é apenas uma pequena faixa deste espectro, de 700 a 400 nanômetros ( $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ). As ondas de rádio e as microondas em um forno doméstico são outros tipos de radiação, assim como os raios-X e os raios gama.
- Diferentemente do espectro da radiação térmica, o espectro da luz emitida pelos átomos (como pelo vapor de um gás excitado por uma descarga elétrica) apresenta-se na forma de riscas brilhantes e bem definidas em vários comprimentos de onda.



## Navegando na WEB

Neste número divulgaremos alguns endereços ligados à astronomia. Os aficionados por este tema não poderão deixar de visitar o *site* da **NASA**, em particular sua galeria de fotos. Outros endereços também são listados.

<http://www.nasa.gov>

O site da NASA (*National Aeronautics & Space Administration*) aborda vários interesses relacionados com o espaço sideral: tecnologia aeroespacial, exploração e desenvolvimento humano do espaço, ciência da Terra e ciência espacial. Há também um *link* dedicado às crianças. Sua galeria de fotos (<http://www.nasa.gov/gallery/index.html>) é soberba (na verdade há também uma galeria de vídeos e sons).

<http://www.ronaldomourao.com>

Nesta página o conhecido pesquisador e divulgador da astronomia Prof. Ronaldo Rogério de Freitas Mourão disponibiliza seus artigos, livros e entrevistas sobre astronomia & astronáutica. Há também conexões sobre os projetos envolvidos, Leonídeos, homenagens e o anuário de astronomia de 2001.

<http://www.iagusp.usp.br>

Esta é página do Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia da USP. Os principais pontos abordados são: o histórico do IAG, as ati-

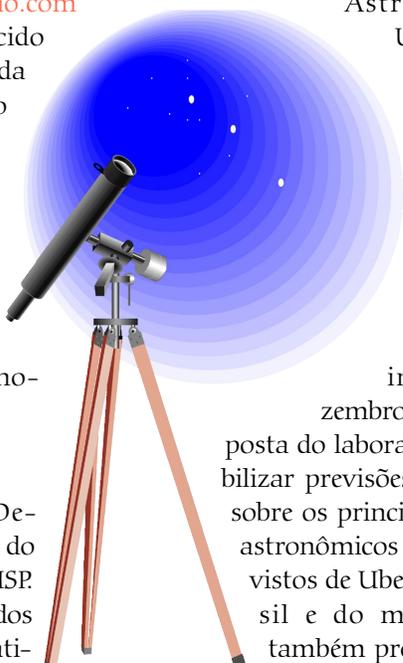
vidades de pesquisa, o pessoal do Departamento de Astronomia, a astronomia no Brasil e no mundo, a Sociedade Astronômica Brasileira e o observatório Abrahão de Moraes. O IAG é também um espelho do IUE Newly Extracted Spectra (INES).

<http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/observat.htm>

Este endereço é voltado para os estudantes e professores da rede de ensino em geral. Contém alguns tópicos interessantes sobre os erros da astronomia no Brasil, boletins e eventos astronômicos, cursos e palestras. Há também links para outras fontes de astronomia.

<http://www.df.ufu.br/~silvestr>

Este é o site do Observatório Astronômico de Uberlândia, voltado para a divulgação da astronomia junto às escolas da região. O observatório é uma iniciativa particular que se iniciou em dezembro de 1996. A proposta do laboratório é disponibilizar previsões e informações sobre os principais fenômenos astronômicos que podem ser vistos de Uberlândia, do Brasil e do mundo. Propõe também projetos educacio-



nais, campanhas de preservação do meio ambiente, relatórios de observações, astrofotografias e artigos científicos.

<http://hubble.stsci.edu>

Este site, como o próprio nome diz, apresenta parte da astronomia vista pelo telescópio Hubble. As características especiais deste site são páginas voltadas para o telescópio propriamente dito, os planetas, as estrelas, as galáxias, o universo e além do universo. Vários filmes também estão disponíveis.

<http://chandra.harvard.edu>

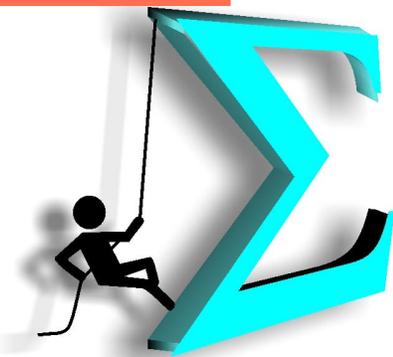
O observatório Chandra é um observatório de raios X, também operado pela NASA, lançado em 1999. Este observatório foi desenhado para observar as emissões de raios X oriundas das regiões de altas energias do universo, tais como aquelas remanescentes de explosões estelares. Contém imagens espetaculares obtidas com raios X.

<http://www.noao.edu>

NOAO, *National Optical Astronomy Observatories*, é outro site interessante que também vale a pena dedicar algum tempo navegando por ele. Você pode fazer um passeio pelo laboratório de Tucson, encontrar as pesquisas desenvolvidas no momento, bem como os programas voltados para a educação, materiais para a sala de aula etc.

<http://setiathome.ssl.berkeley.edu>

SETI, *Search for Extraterrestrial Intelligence*, busca por inteligência extraterrestre. **Você pode colaborar com o projeto SETI** pegando um descanso de tela que analisa dados de radiotelescópio enquanto você não usa seu computador! (obviamente é necessária uma conexão contínua com a internet). A página pode ser aberta em português, o que pode ser um grande atrativo. O projeto, os planos, novidades e como se pode ajudar estão aí disponibilizados.



# Problemas Olímpicos

## Soluções do Número Anterior

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

**1** **Determinação do calor específico do petróleo.** O calor específico do petróleo pode ser determinado misturando-se quantidades conhecidas de petróleo e água a uma temperatura também conhecida em um calorímetro. A temperatura da mistura pode ser facilmente medida. Conhecendo-se os calores específicos e as massas do calorímetro e da água, pode-se calcular o calor específico do petróleo.

Solução alternativa: Aquece-se água no calorímetro com a ajuda do aquecedor elétrico e anota-se a temperatura durante alguns intervalos de tempo. Repete-se o experimento usando o petróleo com as mesmas quantidades como feito para a água. Faz-se um gráfico da temperatura como função do tempo, tanto para a água como para o petróleo.

Sejam:

$m_a$ : a massa de água

$c_a$ : calor específico da água

$m_c$ : a massa do calorímetro

$c_c$ : o calor específico do calorímetro

$m_p$ : a massa de petróleo usado no experimento

$c_p$ : o calor específico do petróleo

$t$ : o tempo de aquecimento

$T$ : a temperatura no tempo  $t$

$T_0$ : a temperatura dos líquidos em  $t = 0$

$H$ : calor absorvido pelo calorímetro por segundo

$$(m_a c_a + m_c c_c)(T - T_0) = Ht.$$

$$T = \frac{Ht}{m_a c_a + m_c c_c} - T_0.$$

Sejam  $a$  e  $b$  as inclinações das retas dos gráficos para a água e para o pe-

tróleo, respectivamente, ou seja:

$$a = \frac{H}{m_a c_a + m_c c_c}$$

$$b = \frac{H}{m_p c_p + m_c c_c}.$$

Lembrando que  $m_p$ , massa do petróleo líquido é igual à massa de água,  $m_p = m_a$ , então

$$\frac{a}{b} = \frac{m_a c_p + m_c c_c}{m_a c_a + m_c c_c}.$$

Ou seja, sabendo-se o calor específico da água e do calorímetro ( $c_a$  e  $c_c$ ) o calor específico do petróleo pode ser calculado.

**2** **O andarilho no deserto.** Como a temperatura do solo pode ser aumentada rapidamente pelo Sol, o ar perto do chão será mais quente do que o ar na altura dos olhos. Como resultado, o índice de refração do ar próximo ao solo será menor do que o índice de refração do ar para pontos afastados do chão. Quando o andarilho olha para baixo (seus olhos estão a mais de um metro de altura em relação ao solo) ele vê "água" à sua frente para pequenos ângulos de depressão  $i$ . Ocorrerá reflexão total quando  $r = 90^\circ$  e então

$$n_A \sin(i) = n_B \sin(90^\circ)$$

sendo  $n_A$  o índice de refração a altura dos olhos. Quando o andarilho se move na direção da "água" o fenômeno persiste, pois a posição da "água" também se afasta do andarilho. Se a temperatura não se alterar, o fenômeno só é observado para um certo ângulo.

Sejam  $n_{A1}$  o índice de refração do ar a a temperatura  $T_1 = 30^\circ\text{C}$ ,  $n_{A2}$  o

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

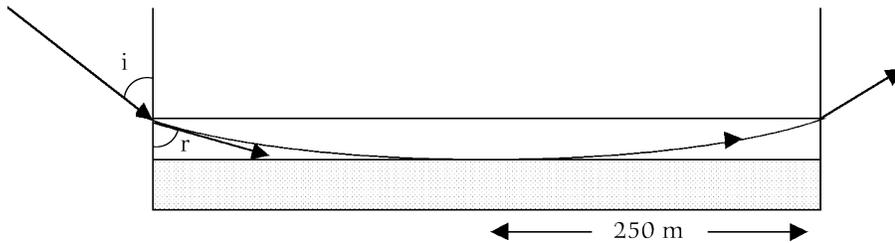


Figura 1.

índice de refração para a temperatura  $T_2 = 15^\circ\text{C}$  e  $n_T$ , o índice de refração de uma camada de ar em contato com o solo e  $T$  a temperatura desta camada. Desta forma,

$$n_A \sin(i) = n_b \sin(90^\circ)$$

A Figura 1 ilustra o fato experimental. A partir dela, temos:

$$\text{tg}(i) = \frac{250}{1,6} \Rightarrow i = 89^\circ 38'$$

$$n_{A1} \sin(89^\circ 39') = n_T \Rightarrow n_T = 0,99998 n_{A1}$$

Do problema, temos que

$$n_T - 1 = \rho_T$$

$$\frac{n_{A1} - 1}{n_{A2} - 1} = \frac{\rho_{A1}}{\rho_{A2}}$$

Aplicando a equação de estado de gás ideal a pressão normal e volume constante, sendo que somente a densidade e a temperatura são variáveis,

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

em que  $m$  é a massa do volume de ar em consideração e  $M$  a massa molar (a temperatura deve ser dada em Kelvins; temos  $T_1 = 303\text{ K}$ ,  $T_2 = 288\text{ K}$  e  $T = (273 + D)\text{ K}$ ).

Assim,

$$P = \frac{\rho}{M} RT \Rightarrow \frac{PM}{R} = \rho T = \text{constante}$$

$$\rho_{A2} T_2 = \rho_{A1} T_1 = \rho_T T \Rightarrow \frac{\rho_{A1}}{\rho_{A2}} = \frac{288}{303}$$

$$\frac{\rho_T}{\rho_{A2}} = \frac{288}{273 + D}$$

Substituindo em (1), obtemos

$$\frac{n_{A1} - 1}{0,000276} = \frac{288}{303} \Rightarrow n_{A1} = 1,000262$$

Desta forma,

$$\frac{n_T - 1}{n_{A2} - 1} = \frac{\rho_T}{\rho_{A2}}$$

Usando o resultado da Eq. (1) obtemos  $n_T = 1,000242$ . Substituindo este valor na equação acima resultará em

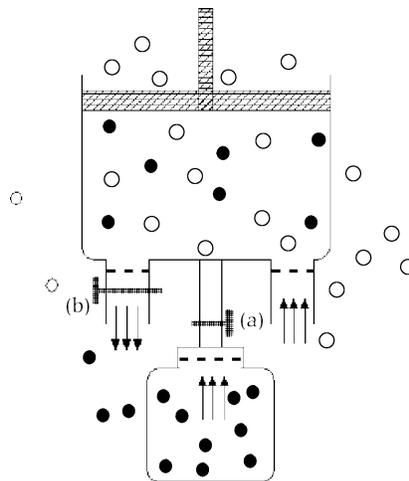
$$C = 55,4^\circ\text{C}$$

A precisão da temperatura calculada acima depende enormemente da acurácia dos valores medidos da temperatura e índice de refração do ar.

**3 A máquina capaz de produzir trabalho.** Uma possível construção de uma máquina deve basear-se em dois princípios:

i) em uma mistura de dois gases não reativos ocupando um mesmo recipiente, a pressão total da mistura é igual a soma da pressão parcial de cada gás. Por pressão parcial entende-se a pressão que cada gás teria se ele ocupasse sozinho o mesmo volume na mesma temperatura.

ii) Se uma membrana permeável a certo tipo de gás for colocada no recipiente dividindo-o em duas partes, a pressão parcial deste gás será a mesma nos dois lados da membrana.



○ Molécula de ar  
● Molécula de gás mais pesado

No diagrama, o cilindro superior possui duas aberturas que são fechadas com membranas permeáveis. Na abertura da esquerda coloca-se uma membrana permeável somente ao gás mais pesado que o ar e que pode ser

controlado com uma válvula (a). A abertura do lado direito é fechada com uma membrana permeável ao ar, mas sem nenhuma válvula de controle. No meio deste cilindro há um tubo com válvula (b) conectando-o ao tanque cheio com o gás mais pesado que o ar havendo também uma membrana permeável a este gás.

Operação da máquina térmica

i) Com a válvula (a) fechada e a válvula (b) aberta, o gás inerte do tanque irá fluir para o cilindro até que as pressões parciais dentro do cilindro atinjam 1 atm. Durante este processo a pressão total dentro do cilindro irá crescendo gradualmente até atingir o valor de 2 atm. Observa-se então que o gás mais pesado realiza trabalho enquanto o ar não o faz, uma vez que as pressões dos dois lados da membrana permeável ao ar são as mesmas.

ii) Fecha-se a válvula (a) para parar o movimento do pistão.

iii) Enquanto a válvula (a) está fechada, abre-se a válvula (b) para permitir que o gás mais pesado saia para a atmosfera. O pistão gradualmente retorna à posição inicial. Quando o pistão parar, haverá somente ar dentro do cilindro superior.

iv) O ciclo da máquina térmica foi completado. A operação para o próximo ciclo é realizada, voltando-se a operação (i).

Se o cilindro e o pistão são feitos de um material condutor perfeito, o processo será isotérmico.

O trabalho produzido pela máquina será igual ao trabalho realizado pelo gás mais pesado, isto é:

$$\int P dV = \int \frac{RT}{V} dV = \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

**4 Observações feitas por um sistema de radiotelescópios da Inglaterra.** Aparentemente, o

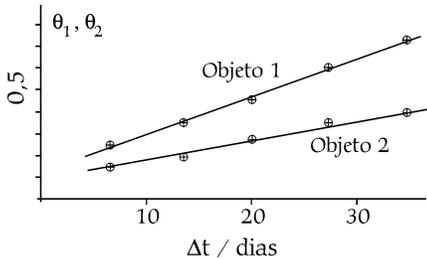
material ejetado do centro da fonte de rádio GRS 1915+105 se afasta com velocidade superior à velocidade da luz. Na verdade, trata-se de uma ilusão causada por um efeito de perspectiva, como veremos:

a) A tabela abaixo foi obtida medindo as distâncias na figura 3.1. Os ângulos estão em segundos de arco. Com esses valores, traçamos o gráfico pedido (veja mais abaixo) e

achamos as velocidades angulares dos dois objetos ejetados.

Dia	$\Delta t$ (dias)	$\theta_1$ (")	$\theta_2$ (")
27/3	—	—	—
03/4	7	0,24	0,15
09/4	13	0,36	0,20
16/4	20	0,47	0,26
23/4	27	0,60	0,32
30/4	34	0,72	0,38

Nossa estimativa é que o erro nessas medidas seja da ordem de  $\pm 0,015$  s.a. nos valores de  $\theta$ .



A partir desse gráfico, podemos obter os valores de  $w_1$  e  $w_2$ :

$$w_1 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ rad/s}$$

e

$$w_2 = 0,5 \times 10^{-12} \text{ rad/s.}$$

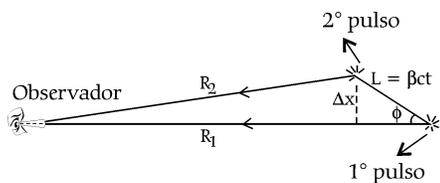
Usando  $R = 12,5 \text{ kpc}$ , onde  $1 \text{ kpc} = 3,09 \times 10^{19} \text{ m}$ , obtemos as velocidades pedidas:

$$v_1 = w_1 R = 3,80 \times 10^8 \text{ m/s}$$

e

$$v_2 = w_2 R = 1,9 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

b) Solução do paradoxo ( $v > c$ ).



A velocidade transversal aparente  $v'$ , para o observador da Terra, é a distância transversal percorrida dividida pelo tempo de chegada dos sinais que partem em instantes diferentes da fonte de rádio. Se o primeiro pulso sai no instante  $t = 0$  e percorre a distância  $R_1$ , chegará ao observador no instante  $T_1$ . O segundo pulso sai no instante  $t$  e chega no instante  $T_2$ , após percorrer a distância  $R_2$ .

Queremos achar  $v'$  em termos de  $\beta = v/c$ ,  $R$  e  $\phi$ . Pela figura, temos:  $R_1 \cong R_2 + b c t \cos \phi$ . A aproximação se justifica, pois o ângulo é muito pequeno.

Como os pulsos viajam com a velocidade da luz ( $c$ ), temos:

$$T_1 = \frac{R_2 + \beta c t \cos \phi}{c} = \frac{R_2}{c} + \beta t \cos \phi$$

e

$$T_2 = t + \frac{R_2}{c}.$$

Logo,

$$\Delta T = T_2 - T_1 = t (1 - \beta \cos \phi).$$

A distância transversal percorrida pelo objeto, aparentemente, é  $\Delta x = \beta c t \sin \phi$ .

Logo, a velocidade transversal aparente será:

$$v' = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\beta c \sin \phi}{1 - \beta \cos \phi},$$

que é a expressão pedida.

A velocidade angular é, simplesmente,

$$w = \frac{v'}{R} = \frac{c \beta \sin \phi}{R(1 - \beta \cos \phi)}.$$

Podemos usar o fato de  $\phi$  ser pequeno para obter uma expressão aproximada para  $v'$ .

Temos

$$\sin \phi \cong \text{tg} \phi \cong \phi$$

e

$$\cos \phi \cong (1 - \text{sen}^2 \phi)^{1/2} \cong 1 - \frac{1}{2} \text{sen}^2 \phi \cong 1 - \frac{\phi^2}{2}.$$

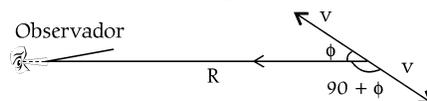
Logo,

$$v' = \frac{\beta c \phi}{1 - \beta + \frac{\beta \phi^2}{2}}.$$

Se admitimos que  $v \cong c$ , temos  $\beta \cong 1$  e  $v' = 2c/\phi$ .

Veja que, quando  $\phi = 2 \text{ rad}$ ,  $v' = c$ . Portanto, para todo ângulo menor que  $2 \text{ rad}$ , a velocidade aparente do objeto é maior que a velocidade da luz.

c) Observe a figura abaixo.



Os objetos se movem em sentidos opostos, sendo  $\phi$  o ângulo do objeto 1, na figura acima. Queremos uma expressão para esse ângulo  $\phi$  e para a razão  $\beta$  em termos das velocidades angulares  $w_1$  e  $w_2$  dos objetos e da distância média  $R$ .

Usando os ângulos vistos na figura, obtemos:

$$w_1 = \frac{\beta c \sin \phi}{R(1 - \beta \cos \phi)}$$

e

$$w_2 = \frac{\beta c \sin \phi}{R(1 + \beta \cos \phi)}.$$

Usando essas expressões e um pouco de álgebra, chegamos a uma expressão para o ângulo:

$$\phi = \text{arctg} \left( \frac{2Rw_1 w_2}{c(w_1 - w_2)} \right).$$

Do mesmo modo, obtemos a relação:

$$\beta = \frac{w_1 - w_2}{\cos \phi (w_1 + w_2)}.$$

Agora, basta usar os valores de  $w_1$  e  $w_2$  obtidos no item (a), além do valor dado de  $R$  e temos:

$$\phi = \text{arctg} (2,56) = 1,2 \text{ rad} = 69^\circ$$

e

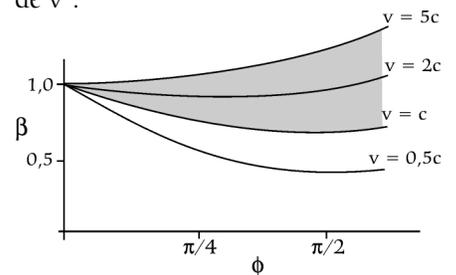
$$\beta = 0,89.$$

d) Condição para que  $v' > c$ .

Como  $v' = \beta c \sin \phi / (1 - \beta \cos \phi)$ , vemos que  $v' > c$  quando  $\beta \sin \phi / (1 - \beta \cos \phi) > 1$ .

Isso equivale a  $\beta > 1/(\sin \phi + \cos \phi)$ .

Podemos, então, traçar várias curvas de  $\beta = \beta(\phi)$  para vários valores de  $v'$ .



A figura acima mostra a região em que  $v' > c$ , como pedido.

e) Para achar  $v'_{\text{max}}$  derivamos  $v'$  em relação a  $\phi$  e igualamos a zero. Obtemos:

$$\frac{d}{d\phi} \left( \frac{v'}{c} \right) = \frac{\beta(\cos \phi - \beta)}{(1 - \beta \cos \phi)^2}.$$

Logo,  $\cos \phi_{\text{max}} = \beta$ .

Portanto,

$$v'_{\text{max}} = \frac{\beta c \sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \beta^2} = \frac{\beta c}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Assim, quando  $\beta \rightarrow 1$ ,  $v'_{\text{max}} \rightarrow \infty$ .

f) Usamos as expressões para o deslocamento Doppler, dadas no texto do problema:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_0} = \frac{1 - \beta \cos \phi}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \text{e} \quad \frac{\lambda_2}{\lambda_0} = \frac{1 + \beta \cos \phi}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Somando uma com a outra, podemos retirar o valor de  $\beta$  pedido:

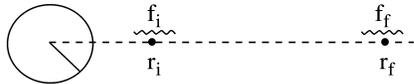
$$\beta = \sqrt{1 - \frac{4\lambda_0^2}{(\lambda_1 + \lambda_2)^2}}.$$

Portanto, o coeficiente vale 4.

## 5 Deslocamento gravitacional para o vermelho e medida de massa estelar.

a) A primeira coisa a fazer é calcular a chamada “massa efetiva” do fóton. Esse cálculo utiliza duas das mais importantes equações da física: a famosa equação de Einstein,  $E = mc^2$ , e a relação de Planck entre a energia do fóton e sua frequência,  $E = hf$ . Combinando as duas, obtemos a massa do fóton como:  $m = hf/c^2$ .

Um fóton emitido da superfície de uma estrela perde energia para vencer a atração gravitacional. Quando a energia  $E$  diminui, a frequência  $f$  deve diminuir, pois a velocidade da luz,  $c$ , é constante.



Consideremos um fóton em duas posições diferentes, deixando uma estrela de massa  $M$  e raio  $R$ .

Na posição que dista  $r_i$  do centro da estrela, a frequência do fóton é  $f_i$ . Na posição mais distante,  $r_f$ , a frequência é  $f_f$ .

Como sabemos, a energia potencial gravitacional de um corpo de massa  $m$ , distando  $r$  de outro de massa  $M$ , é dada por  $E = -GMm/r$ , onde o sinal negativo indica atração entre os corpos.

A energia potencial do fóton nas posições  $r_i$  e  $r_f$  será, portanto:

$$E_i = -GMm/r_i \quad \text{e} \quad E_f = -GMm/r_f$$

A energia total do fóton deve ser constante. Logo:

$$hf_i - GMm/r_i = hf_f - GMm/r_f$$

donde:

$$h(f_i - f_f) = h\Delta f = GMm \left[ \frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_f} \right]$$

Usando  $m = hf/c^2$  nessa equação, obtemos:

$$h\Delta f = GM \frac{hf}{c^2} \left[ \frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_f} \right]$$

Logo:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{GM}{c^2} \left[ \frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_f} \right]$$

Se o fóton sair da superfície da estrela e escapar completamente da atração gravitacional, teremos

$$r_i = R \quad \text{e} \quad r_f = \infty,$$

donde

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{GM}{c^2 R}$$

O sinal negativo indica que a frequência diminui quando o fóton se afasta da estrela. Isto é, o comprimento de onda do fóton aumenta. Essa é a razão de se dizer que houve “deslocamento para o vermelho” devido à atração gravitacional.

b) A relação achada no item anterior fornece a razão  $M/R$  da estrela, medindo-se  $f$  e  $\Delta f$ . O enunciado desse item sugere um modo de se obter os valores de  $M$  e  $R$ , separadamente.

Fótons são emitidos por íons de hélio na superfície da estrela e devem ser absorvidos por outros íons de hélio em uma nave que está a uma distância  $d$  da superfície da estrela. Para que isso aconteça, é necessário que a energia do fóton, ao chegar à nave, seja exatamente igual à energia com que foi emitida na estrela. Mas, de acordo com o que vimos no item anterior, há um decréscimo na frequência do fóton ao ir da estrela até a nave. Logo, sua energia não será suficiente para excitar o íon de hélio na nave.

A diferença relativa de frequência do fóton entre a superfície da estrela e a nave é

$$\frac{\Delta f}{f} = -\frac{GM}{c^2} \left[ \frac{1}{R} - \frac{1}{R+d} \right]$$

Para compensar essa perda de energia, usa-se o efeito Doppler. Move-se o íon de hélio da nave com velocidade  $v$  na direção do fóton que chega. Bastará imprimir uma velocidade que seja suficiente para compensar a perda de energia por efeito gravitacional.

Se a frequência do fóton, ao chegar à nave, for  $f_o$ , a frequência observada por um íon que se move com velocidade  $v$  na direção desse fóton será:

$$f = \frac{f_o}{1 - \frac{v}{c}} \quad (\text{Doppler})$$

Chamando  $v/c$  de  $\beta$ , teremos:

$$f = \frac{f_o}{1 - \beta} \quad \therefore f - f\beta = f_o \quad \therefore f - f_o = \Delta f = f\beta$$

ou

$$\frac{\Delta f}{f} = \beta$$

Para que haja absorção (ou ressonância, como se diz) entre o fóton e o íon, basta que as duas variações relativas de frequência, uma devida à gravitação e a outra devida ao efeito Doppler, se compensem mutuamente. Em outras palavras, basta que a soma delas seja zero.

$$-\left[ \frac{1}{R} - \frac{1}{R+d} \right] + \beta = 0$$

Daí, vem:

$$\beta = \frac{GM}{c^2} \left[ \frac{1}{R} - \frac{1}{R+d} \right] = \frac{GM}{c^2} \left[ \frac{1}{R} - \frac{1}{R+d} \right] = \frac{GM}{c^2} \left[ \frac{d}{R(R+d)} \right]$$

O texto do problema nos dá uma tabela com os valores obtidos experimentalmente da velocidade necessária para haver absorção em diferentes distâncias  $d$  até a superfície da estrela. Desses números, queremos obter  $M$  e  $R$ , separadamente.

Cabe usar, nesse ponto, um truque esperto, convertendo a curva da equação acima em uma reta. Isso se consegue invertendo a equação toda. Ficamos com:

$$\frac{1}{\beta} = \frac{c^2}{GM} \left[ \frac{R(R+d)}{d} \right] = \frac{c^2 R^2}{GM} \left[ \frac{1}{d} + \frac{1}{R} \right]$$

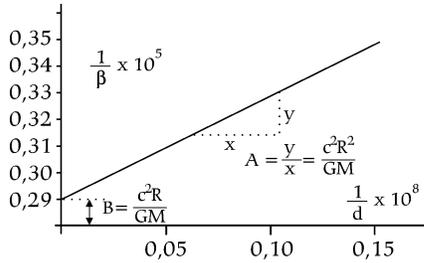
Chamando  $x = 1/d$ ,  $y = 1/\Delta$ ,  $A = c^2 R^2 / GM$  e  $B = A/R$  a equação fica sendo, simplesmente,  $y = Ax + B$ , isto é,

a equação de uma reta.

Antes de traçarmos essa reta fazemos uma mudança de escala conforme mostrado na tabela abaixo:

$1/\beta$ ( $10^{-8} \text{ m}^{-1}$ )	0,0260	0,0500	0,075	0,111	0,500
$1/d$ ( $10^5 \text{ m}^{-1}$ )	0,2980	0,305	0,313	0,325	0,338

Com os números dessa tabela traçamos um gráfico semelhante ao visto na figura abaixo.



Dele, tiramos a interseção

$$B = 0,29 \times 10^5$$

e a inclinação

$$A = B / R = 3,2 \times 10^{12}.$$

Daí, obtemos

$$R = B / A = 1,10 \times 10^8 \text{ metros.}$$

Substituindo esse valor de R em A, obtemos a massa M da estrela:

$$M = c^2 R^2 / A G = 5,11 \times 10^{30} \text{ kg.}$$

c) Pedese que mostremos que o efeito de recuo nos átomos de hélio, ao emitir ou absorver fótons, é desprezível. Realmente, ao emitir um fóton, o átomo "rouba" um pouco da energia emitida para recuar, como um rifle ao atirar uma bala. Se o átomo, antes da emissão, tem massa de repouso  $m_0$ , depois dela terá massa  $m_0' < m_0$ . A energia total antes da emissão será apenas a energia de repouso do átomo  $m_0 c^2$ . A energia total depois da emissão será:

$$E = \sqrt{p^2 c^2 + (m_0')^2 c^4} + hf.$$

A diferença de energia que vai para o fóton é:

$$\Delta E = (m_0 - m_0') c^2.$$

A conservação de energia dá:

$$m_0 c^2 = \sqrt{p^2 c^2 + (m_0')^2 c^4} + hf.$$

A conservação do momentum dá:  $p = hf/c$ , onde p é o momentum do átomo no recuo.

Depois de uma pequena álgebra usando essas expressões acima, achamos:

$$hf = \Delta E \left[ 1 - \frac{\Delta E}{2m_0 c^2} \right].$$

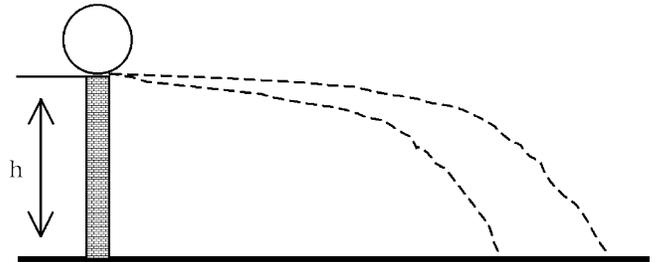
Lembre que  $m_0 c^2$  é a energia de repouso do átomo e  $\Delta E$  é a energia do fóton.

Pelos dados, vemos que a energia de repouso do átomo de hélio é da ordem de 4000 Mev, enquanto a energia do fóton emitido é, no máximo, 24,5 eV.

Logo, o deslocamento da frequência f devido ao recuo é muito pequeno comparado com  $\Delta f$  devido à gravidade.

## Novos Problemas

**1** Uma bola de massa  $M = 0,2 \text{ kg}$  repousa sobre um poste vertical de altura  $h = 5 \text{ m}$ . Um projétil de massa  $m = 0,01 \text{ kg}$  desloca-se com uma velocidade de  $500 \text{ m/s}$  na direção horizontal antes de passar pelo centro da bola. A bola atinge o solo a uma distância de  $20 \text{ m}$  a partir da base do poste.

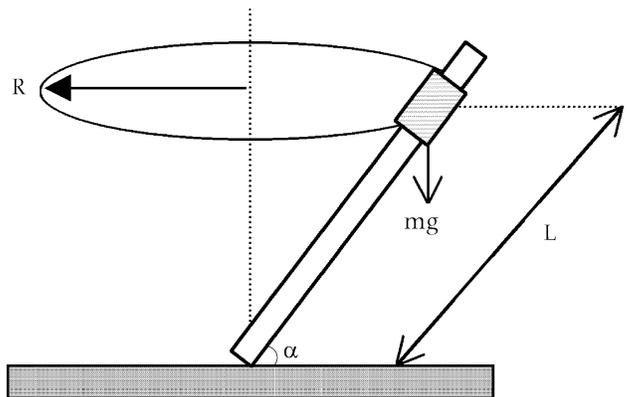


- Determine a que distância o projétil atingirá o solo.
- Quanta energia cinética do projétil é transformada em calor?

I OIF

Varsóvia, Polônia (1967)

**2** Uma vareta de madeira fazendo um ângulo  $\alpha$  com o eixo dos x gira com velocidade angular  $\omega$ . Colocado na vareta há um anel de massa m que pode deslizar para cima ou para baixo na vareta. O coeficiente de atrito entre o anel e a vareta é igual a  $\text{tg}(\theta)$ .



Ache a condição para que o anel esteja a uma distância L medida a partir da base da vareta quando a vareta roda com a velocidade angular  $\omega$ .

VIII OIF

Gustrow,

Republica Democrática Alemã



# Notas da HISTÓRIA DA FÍSICA no Brasil

## A Terra Gira!

### 1851: A primeira experiência com o pêndulo de Foucault no Brasil

Cento e cinquenta anos atrás, em fevereiro de 1851, Foucault realizou pela primeira vez seu famoso experimento que comprovava o movimento de rotação da Terra por meio do movimento de precessão do plano de oscilação de um pêndulo. A partir da divulgação deste resultado, que se espalhou rapidamente pelo mundo, cientistas de vários lugares passaram a reproduzir a mesma experiência. Curiosamente, um dos primeiros a realizá-la, no mês de setembro e outubro do mesmo ano, foi **Cândido Batista de Oliveira**, no Rio de Janeiro. O resultado de suas observações foi publicado nos *Comptes Rendus da Academia de Ciências de Paris* [v. 33, p. 582, 1851], e também nas revistas *Cosmos* e *Poggendorff Annalen*, em 1852. A experiência no Rio é mais delicada do que a de Paris, devido à sua menor latitude. O tempo para um giro completo do plano do pêndulo, no Rio, se eleva a quase 62 horas, contra as 36 horas (aproximadamente) em Paris. Considerações simplificadas mostram que o período de rotação desse plano vale  $24 \text{ horas} / \sin(\varphi)$ , onde  $\varphi$  é a latitude do local.

Em seu artigo, Cândido Batista descreveu o pêndulo que usou nos experimentos: uma bala de artilharia, com massa de 10,5 kg, que tinha em sua parte inferior um apêndice terminando em ponta, que permitia deixar um traço sobre uma camada de areia fina. Observou que o pêndulo, em pequenas oscilações, descrevia uma elipse muito alongada, com o pequeno eixo sendo suficiente apenas para fazer perceber a direção do movimento do pêndulo. O

pêndulo foi posto em movimento, na direção do meridiano; outras experiências similares foram feitas na direção do paralelo e em várias outras direções intermediárias. No seu artigo, Cândido Batista anunciava a observação de planos invariantes de movimento; tal resultado originou-se quase certamente de algum erro sistemático em seu aparato observacional. Ao se dar conta das falhas originais, Cândido Batista publicou uma nota de retificação na *Cosmos*, em 1852, em que afirmava que a observação dos planos invariantes era certamente errônea.

Cândido Batista continuou interessado no pêndulo e em suas possibilidades experimentais. Em 1854, apresentou uma comunicação à Royal Society, que foi apresentada por Charles Babbage. Nela, propunha uma maneira de se avaliar o achatamento da Terra por experimentos com o pêndulo. A avaliação de Babbage sobre a proposta foi bastante cautelosa. Não sabemos se tais idéias foram posteriormente analisadas ou colocadas em prática. Esse trabalho de Batista de Oliveira foi publicado, na íntegra e em português, na *Revista Brasileira*, em 1857/58.

Nosso personagem foi uma figura importante da vida intelectual e política do Brasil, no século XIX. Nasceu em Porto Alegre, em 1801. Formou-se em matemática e filosofia em

Coimbra e estudou na França, onde teria se tornado amigo de Arago. Retornando ao Brasil, tornou-se professor de matemática na Academia Militar. Em 1827, propôs a criação do Observatório Imperial e, em 1830, como deputado, fez um projeto de lei (recusado) no qual propunha a adoção do sistema métrico decimal. Até a sua morte, em 1865, tornou-se o principal defensor da implantação deste sistema no Brasil (que viria a ser adotado oficialmente em 1862). Chegou a exercer cargos públicos importantes: ministro da Fazenda e da Marinha; diretor do Jardim Botânico; senador, presidente do Banco do Brasil e conselheiro do Estado. Tinha a amizade e a confiança de D. Pedro II. Deixou livros sobre economia e a escravidão, além de compêndios de aritmética. Publicou vários artigos científicos, especialmente sobre matemática e astronomia.



**Cândido Batista de Oliveira, no Rio de Janeiro, uma das primeiras pessoas a reproduzir o experimento de Foucault, em 1851.**

Tomou parte de expedição para observar o eclipse solar de 7 de setembro de 1858, no Paraná. Criou e foi redator da *Revista Brasileira*, voltada para as ciências, letras e artes, publicada entre 1857 e 1861. Participou também da criação da *Palestra Científica do Rio de Janeiro*, sociedade fundada em 1856, com a finalidade de se “ocupar do estudo das ciências físicas e matemáticas, principalmente com aplicação ao Brasil”.

Ildeu de Castro Moreira  
IF/UFRJ

## Pioneiro da Física do Estado Sólido Comemora 95 Anos

**E**m novembro do ano passado o Prof. Bernhard Gross comemorou, com amigos e colaboradores de São Carlos, 95 anos de uma existência repleta de êxitos pessoais e científicos. Gross nasceu em Stuttgart, Alemanha, em 1905. Veio para o Brasil em 1932, naturalizando-se já em 1935. Embora sua pesquisa para obtenção do diploma de engenheiro físico tenha versado sobre a influência da temperatura e pressão na condutividade do água sob radiação, seu primeiro trabalho importante foi na área de raios cósmicos (partículas elementares energéticas que chegam à Terra em todas as direções), onde introduziu a chamada Transformação de Gross, relacionando o fluxo vertical com o fluxo hemisférico. No Brasil, realizou pesquisas experimentais e teóricas na área dos dielétricos, estudando o efeito de memória, pelo qual o dielétrico reage a cada variação do campo elétrico. Estudou também a radioatividade do ar gerada por explosões atômicas, construiu e patenteou o dosímetro Compton para detecção de raios gama, baseado no efeito de indução no interior de um condensador devido à ionização direcional de átomos. Foi um dos pioneiros em experiências de carregamento de dielétricos por elétrons energéticos, para obter sólidos permanentemente carregados – *os eletretos*. No Rio de Janeiro trabalhou na extinta Universidade do



Os 95 anos do prof. Gross. Em pé, da esquerda para direita: professores Sérgio Mascarenhas, Milton Soares de Campos, Guilherme Fontes L. Ferreira, José Alberto Giacometti e Roberto Mendonça Faria. Sentados, da esquerda para a direita: sra. Gertrudes Gross e prof. Bernhard Gross.

Distrito Federal, no Instituto Nacional de Tecnologia, onde realizou a maior parte de suas pesquisas. Em São Carlos, onde reside, fundou o Grupo de Eletretos, no Instituto de Física da USP, na qualidade de professor visitante, tendo orientado inúmeras teses e dissertações. Foi Diretor de Departamento na Comissão Nacional de Energia Nuclear e representante brasileiro na Agência Internacional de Energia Atômica, em Viena.

G.F.L. Ferreira  
IFSC/USP

### Leia Mais

B. Gross, "Lembranças de um Físico no Rio de Janeiro", *Revista Brasileira de Ensino de Física* v. 22, n. 2, p. 266-271, 2000; Special Issue: Tribute to B. Gross, *Brazilian Journal of Physics* v. 29, n. 2, June, 1999.



### Desvendando a Física!

### Obstáculos em um trilho

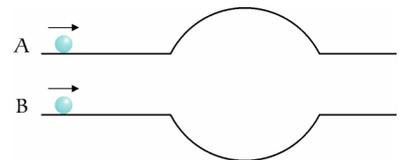
Considere dois trilhos sem atrito e com o mesmo comprimento. A saliência no trilho A possui a mesma curvatura que a depressão no trilho B. Se duas bolas iguais partirem simultaneamente, com a mesma velocidade inicial, a bola que percorre a trajetória primeiro é:

- a) A bola A
- b) A bola B
- c) Ambas levam o mesmo tempo

Se a velocidade inicial for de 2 m/s e a velocidade da bola no fundo da depressão B é de 3 m/s, então a velocidade da bola no topo da curva no trilho A é:

- d) 1 m/s
- e)  $> 1$  m/s
- f)  $< 1$  m/s

Resposta no próximo número.



# Resenhas



por Luisa Massarani\*

**C**openhague, outubro de 1941. O alemão Werner Heisenberg bate à porta da casa do dinamarquês Niels Bohr, seu grande amigo, mestre e companheiro de pesquisas. Na década de 10 e 20, esses dois cientistas contribuíram para revolucionar a física com seus trabalhos em mecânica quântica: Bohr com seu modelo atômico, sua discussão filosófica sobre a física quântica e o princí-

pio da complementaridade; Heisenberg com a formulação matemática da nova teoria quântica e

com o princípio da incerteza. Este poderia ser, com certeza, mais um jantar agradável, regado com uma boa discussão científica entre dois velhos amigos. Mas eram tempos de guerra e os dois físicos estavam em lados inimigos.

O que levou Heisenberg a atravessar a Alemanha para rever Bohr?

Teria ele ido avisá-lo de que os alemães estavam tentando construir a bomba atômica? Teria Heisenberg tentado convencer Bohr a trabalhar

para os alemães? Queria Heisenberg informações sobre o programa norte-americano para a construção da bomba? O que esses dois físicos conversa-

ram naquela ocasião? São questões que não conhecemos a resposta. O próprio Heisenberg não foi muito elucidativo ao tentar explicar, posteriormente, as razões que o levaram a Co-

penhagen naquela noite. O que se sabe é que o encontro terminou de forma abrupta e a amizade de ambos ficou irremediavelmente estremecida.

**O que levou Heisenberg a atravessar a Alemanha para rever Bohr? Teria ele ido avisá-lo de que os alemães estavam tentando construir a bomba atômica? Teria Heisenberg tentado convencer Bohr a trabalhar para os alemães? Queria Heisenberg informações sobre o programa norte-americano para a construção da bomba?**

## Assine Física na Escola

Pagamento de anuidade através do cartão de crédito - VISA

Quero receber a *Física na Escola*. Autorizo o débito de minha anuidade da SBF, através de meu cartão de crédito VISA para pagamento de assinatura anual (valor de R\$ 10,00 no caso de professor do ensino médio e R\$ 14,00 nos outros casos. O assinante da *Revista Brasileira de Física* recebe a *FnE* gratuitamente)

Valor da assinatura R\$ \_\_\_\_\_ N.º do Cartão: \_\_\_\_\_ Validade (mês/ano): \_\_\_\_ / \_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ Cidade: \_\_\_\_\_

CEP: \_\_\_\_\_ UF: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

DDD: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

Escola (nome/endereço): \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura \_\_\_\_\_

Endereço: Sociedade Brasileira de Física - C.P. 66328 - 05315-970, São Paulo - SP. Obs.: Aguarde consigo o recibo referente ao pagamento efetuado.

Usando esse misterioso evento como ponto de partida, o jornalista inglês Michael Frayn escreveu a peça "Copenhagen", em cartaz há dois anos em Londres e desde abril de 2000 em Nova Iorque. Ela recebeu, em 1998, o prêmio de melhor peça do ano na Inglaterra (*Evening Standards Awards* 1998). A peça estreou nos palcos brasileiros sob a batuta de Carlos Palma, que se destacou como ator na excelente peça "Einstein", que continua em cartaz, e com sucesso, no Brasil. Vê-se que peças dedicadas a temas relacionados à ciência e a suas implicações sociais e éticas têm despertado interesse grande.

O texto de Frayn, publicado pela editora inglesa Methuen Drama em 1998, é de uma beleza ímpar. Ele usa apenas três personagens (Heisenberg, Borh e sua mulher Margrethe) e uma linguagem bastante cativante, introduzindo aspectos históricos de forma pouco usual.

A peça, sob a direção de Michael

Blakemore, apresenta-se em um palco nu, com apenas três cadeiras em cena e poucos recursos simples de luz e som. Por vezes, trata-se de um monólogo a três. Mas dificilmente o leitor ou o espectador enfrenta o tédio. O texto segue o ritmo sufocante e fascinante das lembranças humanas, em que até mesmo esses fictícios Bohr e Heseinberg se contradizem ao reviver aquela noite de

**O texto segue o ritmo imprevisto e fascinante do mundo quântico, no qual só conhecemos dois momentos (o encontro de Bohr e Heseinberg e a separação abrupta); entre esses dois momentos há várias possibilidades, das quais três são apresentadas em palco**

1941. Mas, talvez, seja mais pertinente dizer: o texto segue o ritmo imprevisto e fascinante do mundo quântico, no qual só conhecemos dois momentos (o encontro de Bohr e Heseinberg e a separação abrupta); entre esses dois momentos há várias possibilidades, das quais três são apresentadas em palco. Longe de mostrar os cientistas sob a caricatura clichê (gênios, homens descabelados e alienados da realidade), Frayn nos apresenta os dois físicos como humanos que enfrentam suas dúvidas e seus problemas pessoais,

que discutem a relação da ciência com a sociedade, que analisam as questões éticas relacionadas às aplicações da ciência, particularmente na guerra.

Possivelmente, os leitores e os espectadores sem formação anterior não entenderão o que é o princípio da incerteza, complementaridade ou fissão nuclear. Mas é uma peça que desperta, de maneira inteligente, a curiosidade da audiência em relação à ciência. Na sala de aula, pode ser usada como um ponto de partida para discussão, seja por meio da leitura do texto, da representação na forma de teatro por parte dos alunos ou assistindo à peça. Fica aí a minha sugestão para os professores. E para os professores que aceitarem a dica, escrevam-nos para contar como foi a experiência com os alunos.

\*Jornalista especializada em ciência, doutoranda do Depto. de Bioquímica Médica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. E-mail: massarani@ufrj.br

O site da editora inglesa Methuen Drama é [www.methuen.com.uk](http://www.methuen.com.uk). O custo do livro em inglês é de 6,99 libras ou 10,95 dólares. 132 páginas.

## Assine Física na Escola

Pagamento de anuidade através de cheque nominal à SBF

Quero receber a *Física na Escola*. Autorizo o débito de minha anuidade da SBF, através de meu cartão de crédito VISA para pagamento de assinatura anual (valor de R\$ 10,00 no caso de professor do ensino médio e R\$ 14,00 nos outros casos. O assinante da *Revista Brasileira de Física* recebe a *FnE* gratuitamente)

Valor da assinatura R\$ \_\_\_\_\_ Cheque N.º : \_\_\_\_\_ Banco \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ Cidade: \_\_\_\_\_

CEP: \_\_\_\_\_ UF: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

DDD: \_\_\_\_\_ Telefone: \_\_\_\_\_ Fax: \_\_\_\_\_

Escola (nome/endereço): \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura

Endereço: Sociedade Brasileira de Física - C.P. 66328 - 05315-970, São Paulo - SP. Obs.: Aguarde consigo o recibo referente ao pagamento efetuado.