

Carta do Editor

Em janeiro de 2005, com o XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, serão iniciadas as atividades do Ano Mundial da Física, decretado para celebrar o centenário da publicação dos primeiros trabalhos fundamentais de Albert Einstein, divulgar a Física junto ao grande público e atrair jovens talentosos para a carreira científica. Vários conferencistas brasileiros e estrangeiros convidados se juntarão ao grande número esperado de professores e estudantes de Física neste que é considerado um dos mais significativos eventos promovidos pela SBF¹. Convidamos todos os leitores da *FnE* a participar das inúmeras palestras, mesas-redondas, oficinas e cursos, aprendendo, debatendo e colhendo idéias e sugestões para desenvolver projetos e atividades em suas escolas no ano especial de 2005.

* * *

É com enorme prazer que anunciamos a estréia de Dona Fifi nas páginas da *FnE*. A veneranda professora sobralense que, entre inúmeros feitos, acompanhou as medidas da deflexão da luz pelo Sol em 1919 e a consolidação da Mecânica Quântica em Viena na década de 30, autora das famosas apostilas eletrônicas do site do DF da UFC, inicia a sua colaboração nesta revista. E começa discorrendo sobre Fibonnaci, o número Φ e sua incrível seqüência, com aplicações variando da geometria aos dispositivos opto-eletrônicos e processos da consciência humana.

* * *

Há 70 anos era criada a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras em conjunto com a Universidade de São Paulo. Desnecessário enfatizar o papel relevante desta instituição para a produção do conhecimento e formação de professores de todos os níveis, em especial, do Ensino Médio no estado de São Paulo². Poucos, no entanto, conhecem a importância do seu primeiro Diretor, Theodoro Ramos, um dos fundadores da USP e responsável pela contratação de professores estrangeiros, no desenvolvimento da Matemática e Física no Brasil, quando era professor da Escola Politécnica. Além de matemático conceituado, Theodoro Ramos foi o autor da primeira pesquisa original sobre teoria quântica e relatividade geral no Brasil na década de 20, de acordo com o artigo da seção de *História da Física no Brasil* desta edição.

* * *

Interessantes contribuições ao ensino de Física Contemporânea no Ensino Médio são apresentadas neste número. Marco



Antonio Moreira discute mapas conceituais sobre partículas elementares e suas interações. Em artigo sobre o Nobel de Física de 2004, Vicente Pleitez destaca a contribuição dos três vencedores para uma maior compreensão da Cromodinâmica Quântica, a teoria que descreve as interações fortes. Flávia Rezende e Fernanda Ostermann apresentam o InterAge, um ambiente virtual com vistas à formação continuada de professores e, em particular, discutem recursos pedagógicos voltados para a inserção da Física Moderna e Contemporânea. São esforços importantes para a pretendida reestruturação curricular do Ensino Médio.

* * *

Continuam as discussões sobre as orientações curriculares do Ensino Médio. Desta vez, estão sendo re-avaliados os PCN (1999), e sua versão mais detalhada, os PCN+ (2002). Fóruns regionais foram promovidos pelo MEC e uma reunião nacional programada para dezembro em Brasília. Como sempre, mais documentos foram e serão produzidos por especialistas nas diversas áreas para analisar questões do tipo “a relação entre os conteúdos e metodologias propostas pelos PCN e o currículo consolidado do Ensino Médio” e a “coerência e contradição quanto a estratégias de ensino propostas e os recursos oferecidos para a implementação dos PCN”. Segundo a Profa. Lucia Lodi, da Secretaria de Educação Básica/MEC, a “proposta pedagógica do Ensino Médio deve ter como referência a continuidade dos estudos, o exercício da cidadania e o mundo do

trabalho, considerando-se: a) a formação de pesquisadores para o desenvolvimento de novos conhecimentos, da Ciência e do país; b) os processos produtivos de bens, serviços e conhecimentos tecnológicos com os quais os o aluno se relaciona em seu cotidiano e [...] no âmbito do trabalho”³. A *FnE* já contribuiu para essa discussão através dos artigos de Regina Kawamura e Yassuko Hosoume⁴ e de Elio Ricardo⁵, atual representante da SBF junto à comissão de consultores do MEC que elaborou os textos preliminares⁶. Nada contra a discussão de temas polêmicos, mas existe alguma esperança de que este processo termine algum dia com resultados concretos para o professor do Ensino Médio?

* * *

Silvia Jona, da revista *La Fisica nella Scuola*, uma publicação da Associazione per l'insegnamento della Fisica (<http://www.aif.it/>), aponta dois problemas editoriais⁷: a irregularidade do fluxo de contribuições e ausência de *feedback* dos leitores. Segundo Jona, este último problema parece ser comum na maioria das revistas de ensino de outras associações européias de professores. Dois comentários: asseguro que o nome da nossa revista e da italiana é mera coincidência; devemos seguir o exemplo americano, pois *The Physics Teacher* exhibe uma invejável participação de leitores através de comentários críticos e contribuições regulares de professores de diferentes níveis.

Notas

¹Visite o site <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/>.

²Para um esboço histórico, ver <http://www.flech.usp.br/sdi/memoria/>.

³Orientações curriculares do Ensino Médio, MEC/Brasil (2004).

⁴A contribuição da física para um novo Ensino Médio, por Regina Kawamura e Yassuko Hosoume, *FnE*, v.4, n.2, p. 22 (2003).

⁵Implementação dos PCN em sala de aula: Dificuldades e possibilidades, por Elio Ricardo, *FnE*, v.4, n.1, p. 8 (2003).

⁶A versão eletrônica dos documentos encontra-se em http://www.mec.gov.br/seb/ensmed/semi_parametros.shtm.

⁷<http://www.uniud.it/cird/girepseminar2003/abstracts/pdf/jona.pdf>

Nelson Student



.....
Maria Efigênia Gomes de Alencar (Dona Fifi)

Hoje aposentada, foi professora de Ciências em escolas de Sobral, Ceará. Dentre outras aventuras, teve o privilégio de presenciar o famoso eclipse que comprovou a relatividade geral de Einstein. Suas apostilas podem ser lidas em: www.seara.ufc.br

Incentivada pelo editor desta simpática revista, meu conterrâneo e, ele próprio, um *fibonacci*, animei-me a escrever esse texto que deveria tratar de uma tese que defendo há muito tempo, onde argumento que o cérebro feminino é mais adaptado que o masculino para entender as sutilezas da Física Quântica. O editor, porém, insistiu que eu escolhesse outro tema, considerando este muito polêmico. Acabou me convencendo com o argumento de que tal assunto não seria de interesse imediato para meus ex-colegas, professores de ciências do curso ginasial.

Tudo bem. Falarei, então, de assunto ameno e inofensivo, mas creio que capaz de sustentar a atenção de meus leitores até o final do artigo. Tratarei de um número famoso desde os tempos de Euclides de Alexandria, patriarca da geometria que viveu por volta do ano 300 antes de Cristo. Este número, chamado de Φ , foi definido por Euclides como resultado de uma operação geométrica muito simples.

Tome um segmento de reta AB e encontre um ponto intermediário, C, tal que $AC/CB = AB/AC$.

Pois bem, essa razão é o número Φ que vale:

$$\Phi = \frac{AC}{CB} = \frac{AB}{AC} = 1,6180339887...$$

Definido assim, o número Φ costuma ser chamado de “**proporção áurea**”, um número de ouro que surge, como veremos, onde menos se es-

pera, na Matemática, na Física, na Biologia, nas artes e até nas conSPIrações esotéricas.

Vamos, para começar, examinar algumas propriedades do número Φ e mostrar como obtê-lo por operações algébricas simples. Observe que, se considerarmos que o segmento CB é igual a 1 e que o segmento AC vale x , temos, por construção:

$$\frac{x}{1} = \frac{x+1}{x}. \text{ Isto é, } x^2 - x - 1 = 0.$$

Como toda equação de segundo grau, esta tem duas soluções que são:

$$x_1 = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \quad \text{e} \quad x_2 = \frac{1 - \sqrt{5}}{2}.$$

É claro que a solução positiva, x_1 , é justamente o número Φ , a “proporção áurea”. O negativo da outra solução será chamado de ϕ . Portanto:

$$\Phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1,6180339887...$$

e

$$\phi = \frac{1 - \sqrt{5}}{2} = 0,6180339887...$$

Como já disse e vou contar logo mais, o número Φ aparece em inúmeras e inesperadas situações, na Ciência, nas artes e nas coisas naturais e sobrenaturais. Mas, antes, vou falar de algo que foi descoberto séculos após Euclides por um matemático chamado Leonardo que, sendo morador de Pisa, a cidade onde existe a famosa torre inclinada, era conhecido como Leonardo de Pisa. E, como nas-

Alguns números possuem características que parecem aproximá-los mais da magia do que da Ciência. Neste artigo de estréia, Dona Fifi (ou $\Phi\Phi$, se preferirem...) mostra-nos a face mais saborosa.



A definição de Φ é feita a partir do segmento de reta AB onde marca-se um ponto C tal que $AC/CB = AB/AC$.

cera de família de boa estirpe, ficou também conhecido como Fibonacci, que significa, literalmente, “filho de boa gente”.

Pois esse Fibonacci publicou, em 1202, um livro chamado “Livro dos Ábacos” onde tratava de vários temas matemáticos que considerava como importantes. Um deles, provavelmente inventado por ele próprio, tratava do problema de calcular quantos coelhos poderiam ser produzidos em um ano, a partir de um único casal. Da forma como enunciado por Fibonacci, o problema é muito artificial. Supõe que cada casal leva um mês, após nascer, para ficar fértil, gera sempre outro casal, a cada mês, e nenhum coelho morre durante o ano. Mas o que interessa é o resultado.

O mês inicial (0) é usado para que o primeiro casal atinja a fertilidade. No mês seguinte o casal está fértil e um novo casal é gerado. Portanto, durante o segundo mês, teremos dois casais, o original (o X na figura indica um casal fértil) e o novo (representado por uma cruz), ainda infértil. No terceiro mês, o casal original gera mais um casal e o segundo casal fica fértil. Portanto, nesse terceiro mês teremos três casais. Agora, os dois primeiros casais estão férteis e cada um gera um novo casal. Dessa forma, o número de casais no quarto mês será 5. E assim por diante.

Mês	Casais
0	+
1	x
2	x +
3	x x +
4	x x x + +
5	x x x x x + + +
...	...

O resultado é uma seqüência de números em que cada um deles é obtido pela soma dos dois números imediatamente anteriores:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, ...

Esta é a “seqüência de Fibonacci”.

A expressão que dá o número de Fibonacci de ordem n é, simplesmente:

$$F(n) = F(n-1) + F(n-2).$$

Pulando mais alguns séculos chegamos a Johannes Kepler, o célebre

astrônomo das três leis planetárias. Kepler notou, em 1611, que a divisão entre um número de Fibonacci e seu precedente leva ao número Φ quando se avança para valores cada vez maiores na seqüência. Em termos matemáticos, isto quer dizer que $F(n) / F(n-1)$ tende para Φ quando n tende para infinito. Pegue uma calculadora e verifique isso.

De modo inverso, os números de Fibonacci podem ser gerados a partir de potências de Φ segundo a expressão:

$$F(n) = \frac{\Phi^n - (-\Phi)^n}{\sqrt{5}}.$$

O interessante nessa expressão é que os números de Fibonacci, que são racionais, podem ser gerados de potências de Φ , que é irracional. Tecnicamente, diz-se que os números de Fibonacci seguem uma “lei de potência”. Números com essa propriedade não são completamente aleatórios.

O número Φ , por si mesmo, já tem algumas propriedades curiosas. Como vimos, ele é **irracional**, como seu colega mais famoso, o número π . Isto significa que esses números não podem ser obtidos pela divisão de dois inteiros. Só que o número Φ é menos redondinho, mas mais sofisticado e imprevisível. Ele pode surgir de expressões matemáticas bastante curiosas. Por exemplo, considere a expressão abaixo:

$$x = \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \dots}}}}}$$

Parece muito complicado, mas, na verdade, é bem fácil mostrar que esse número x é justamente nosso Φ . Tome o quadrado de ambos os lados dessa expressão:

$$x^2 = 1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \sqrt{1 + \dots}}}}$$

Ora, como o número de raízes é infinito, o segundo termo do lado direito da equação acima é justamente x . Logo, temos

$$x^2 = 1 + x.$$

Portanto, como vimos anteriormente, resulta que $x = \Phi$.

Outra expressão curiosa que leva a Φ é essa:

$$x = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots}}}$$

Deixo a vocês a tarefa simples de mostrar que esse x também é nosso querido Φ . Mas, quero aproveitar essa fração que não acaba nunca para comentar que o número Φ talvez seja o mais irracional dos números irracionais. Pois essa fração converge tão vagarosamente para Φ que parece nos mostrar a relutância de Φ em se associar a uma fração, mesmo que a fração não seja de inteiros.

O quadrado de Φ , isto é, $\Phi\Phi$, vale 2,6180339887...

Como vemos, o número $\Phi\Phi$ é o próprio número Φ acrescido de 1. Além disso, o inverso de Φ , isto é, $1/\Phi$ é igual a 0,6180339887..., que é $\Phi - 1$ e, como vemos, é o outro ϕ , definido anteriormente. Portanto, o número $\Phi\phi$ é igual a 1.

Podemos construir uma seqüência que chamarei de “seqüência de Fibonacci”, formada pelos quadrados dos números de Fibonacci. Ela é:

1, 1, 4, 9, 25, 64, 169, 441, 1156, 3025, 7921, ...

É claro que a fração entre dois números consecutivos dessa seqüência converge para o número $\Phi\Phi = 2,6180339887...$ Deixo para vocês a tarefa de encontrar uma regra de formação para essa seqüência.

A Fig. 1 mostra um **tijolo de Fibonacci** que é um paralelepípedo de lados 1, Φ e ϕ . Ele tem volume unitário e a área total de suas faces é 4Φ . Esse tijolo pode ser inscrito em uma esfera de raio 1. Portanto, a razão entre as

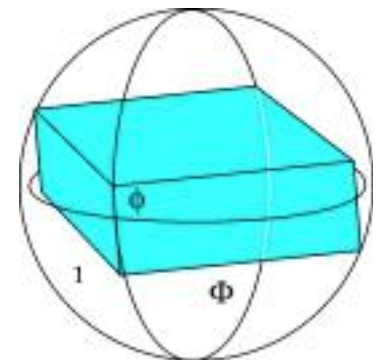


Figura 1. Tijolo de Fibonacci com lados 1, Φ e ϕ .

áreas da esfera e do tijolo inscrito é π/Φ , curioso encontro entre dois prestigiosos números irracionais.

Podemos, também, construir o tijolo de Fibonacci, com lados 1, Φ e Φ . Esse tijolo também tem volume unitário mas sua área total é igual a 8, um saudável retorno à racionalidade.

A letra Φ é a 21ª letra do alfabeto grego. 21, é claro, é um dos números de Fibonacci. Os esotéricos adoram essas coincidências e ficam imaginando códigos secretos relacionados com esses números. Meu nome, por sinal, tem 5 e 8 letras, dois números consecutivos na seqüência de Fibonacci, o que, presumivelmente, me confere poderes mágicos, mesmo sem ter de gritar *Shazam!*

A origem de Φ , como vimos, foi geométrica. A proporção áurea foi muito utilizada por artistas da pós-renascença na composição de seus quadros. Uma construção geométrica que leva a um resultado interessante começa com um retângulo onde a razão entre a largura L e a altura H seja justamente Φ . Esse é um retângulo áureo. Rebatendo um lado de altura H , obtemos um quadrado e outro retângulo áureo, este de lados L_1 e H_1 . Pois $L_1/H_1 = \Phi$, novamente.

Se o processo for repetido no segundo retângulo áureo, obtemos outro quadrado e outro retângulo, também áureo, sendo $L_2/H_2 = \Phi$. E aí você toma gosto e vai repetindo a brincadeira até enjoar, obtendo retângulos áureos cada vez menores que convergem para um ponto que chamamos de **pólo** da construção. É fácil ver que esse pólo é o encontro de *todas as diagonais maiores de todos os retângulos áureos da construção* (Fig. 2)

Os matemáticos adoram dar nomes grandiosos a seus objetos. O próprio nome da proporção áurea já é desse tipo. Pois esse pólo é chamado, por eles, de "olho de Deus". Descontando a pretensão, vale a pena mencionar que a curva que leva ao pólo aproxima-se de uma **espiral logarítmica** que René Descartes chamava de "espiral equiangular", pois traçando qualquer reta a partir do pólo ela corta a curva sempre com o mesmo ângulo. Esse pode ser o mote para que eu co-

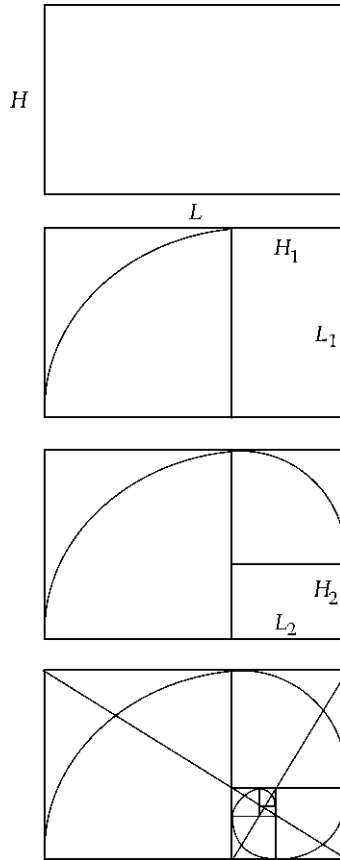


Figura 2. Representação geométrica das proporções áureas.

mece a mostrar a vocês como o número Φ e a seqüência de Fibonacci surgem em coisas da natureza.

Dizem que as aves predadoras, como águias, falcões e gaviões, descem sobre suas presas seguindo uma espiral como essa, com a presa no pólo. Como os olhos das aves são laterais, fazendo isso, a ave mantém a presa sempre na mesma linha de visão sem que precise girar a cabeça, o que prejudicaria a aerodinâmica do voo.

No mundo vegetal o número Φ e a seqüência de Fibonacci surgem em muitas situações. O arranjo dos galhos nos troncos das árvores e das folhas nos galhos costuma seguir uma

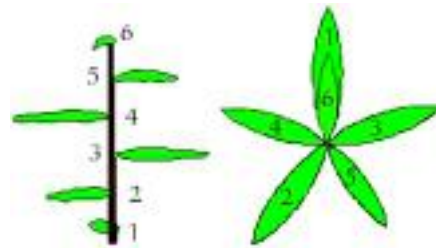


Figura 3. A seqüência de Fibonacci nas folhas de uma planta.

seqüência de Fibonacci (Fig. 3). Partindo de uma folha baixa, contamos o número de voltas em torno do galho até chegar a outra folha exatamente acima da inicial. Na figura, partindo da folha (1), precisamos de 3 rotações no sentido horário para chegarmos à folha (6) que está diretamente sobre a primeira. Nessas 3 voltas, passamos por 5 folhas. No sentido anti-horário, bastam 2 voltas. Note que 2, 3 e 5 são números de Fibonacci.

Correndo o risco de ser prematuramente classificada como caduca, comprovei essa tendência dos vegetais em vários exemplares de plantas, como esse singelo arbusto fotografado por meu neto Antônio no quintal de nosso sítio na Meruoca. Nesse caso, precisei de 5 voltas no sentido horário para encontrar um galho exatamente sobre o mais baixo, passando



Figura 4. A seqüência de Fibonacci nos galhos de uma planta. Botânicos acreditam que essa disposição permita melhor aproveitamento da luz solar e maior exposição às gotas da chuva.

por 8 galhos no processo (Fig. 4).

Os botânicos acham que essa forma de dispor folhas e galhos tem uma razão prática, aproveitada pela seleção natural. Ela torna mais eficiente a utilização da luz solar e a exposição às gotas da chuva. Faz sentido, mas a seqüência de Fibonacci e sua espiral característica tam-

Existem áreas da Física onde os números de Fibonacci surgem por construção proposital e dão resultados interessantes, como por exemplo em óptica

bém aparecem em situações vegetais onde a explicação não é tão evidente.

Um bom exemplo é o abacaxi, essa deliciosa fruta que, dizem as más linguas, é o símbolo do nosso cinema. Nessa fotografia de um belo abacaxi (Antônio, novamente), podemos ver as espirais formadas pelos gomos da casca (Fig. 5). Cada gomo tem a forma aproximada de um hexágono e participa de três espirais que se cruzam.



Figura 5. O abacaxi de Fibonacci, ou melhor, a seqüência de Fibonacci no abacaxi...

Formando o menor ângulo com o eixo do abacaxi, 8 espirais paralelas circulam a fruta. Com um ângulo maior, são 13 espirais paralelas e com ângulo maior ainda, são 21 espirais. Não preciso nem lembrar que 8, 13 e 21 são números sucessivos na seqüência de Fibonacci.

Coisa parecida, e até mais evidente, acontece com os girassóis, onde o número de espirais formadas pelas sementes da flor é bem grande. Infelizmente, não encontrei girassóis em nosso jardim para fotografar. Recomendando que procurem em outros jardins.

Mas essa é uma revista para estudantes e professores de Física e até agora ainda não falei de situações físicas onde o número Φ e os números de Fibonacci aparecem. Pois, vou falar.

Existem áreas da Física onde os números de Fibonacci surgem por construção proposital e dão resultados interessantes. Veja, inicialmente, um exemplo muito simples: duas placas de vidro, com índices de refração diferentes, justapostas uma sobre a outra (Fig. 6). Um raio de luz que incide sobre esse conjunto pode sofrer reflexões e desvios. Vamos contar o número de caminhos possíveis de um raio de luz aumentando, gradualmente, o número de reflexões nesses caminhos.

Olhando a figura, podemos ver que o número de caminhos segue a seqüência de Fibonacci. Representando o número de reflexões, chamado

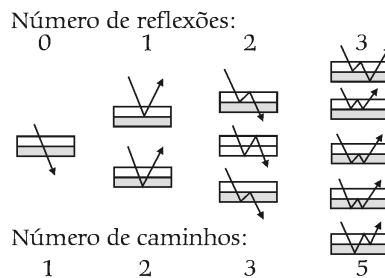


Figura 6. Número de caminhos possíveis, aumentando o número de reflexões, de um raio de luz que passa entre duas placas de vidro com índices de refração diferentes: a seqüência de Fibonacci em Óptica.

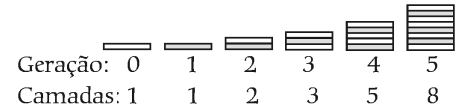


Figura 7. Pilhas com camadas de dois materiais transparentes com índices de refração diferentes segundo um esquema tipo Fibonacci.

de "geração", pela letra n , o número de caminhos será $F(n)$, um número de Fibonacci. Por exemplo, a geração $n = 4$ leva a $F(4) = 8$ caminhos.

O físico nordestino Eudenilson Lins de Albuquerque é um especialista no estudo das propriedades físicas de camadas de materiais empilhadas segundo seqüências de Fibonacci. Dos trabalhos que ele já publicou pincei um exemplo relativamente simples.

Formam-se pilhas com camadas de dois materiais transparentes com índices de refração diferentes. A Fig. 7 mostra como montar essas pilhas segundo um esquema tipo Fibonacci. Cada pilha é formada colocando-se as duas pilhas anteriores uma sob a outra.

Um problema físico interessante consiste em saber quanta luz consegue atravessar uma dessas pilhas. Isto é, procura-se saber qual é a "transmitância" T da luz através da pilha, sendo T definido como $T = I/I_0$, onde I_0 é a intensidade da luz incidente e I é a intensidade da luz que sai do outro lado da pilha (Fig. 8).

As espessuras das camadas são feitas de modo a serem "óticamente equivalentes". Isto significa que a luz leva um tempo igual para atravessar qualquer um dos dois tipos de camada ou, o que é o mesmo, que o número de ondas da luz é igual em camadas de tipos diferentes. Com esse arranjo, surgem interessantes casos de

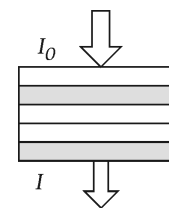


Figura 8. Medida da transmitância da luz através de uma pilha de Fibonacci montada conforme a Fig. 7.

interferência entre os feixes de luz que se refletem nas interfaces entre camadas vizinhas. Por exemplo, se a espessura ótica das camadas for exatamente igual a meio comprimento de onda da luz, isto é, $d = \lambda / 2$, os feixes refletidos nas faces sucessivas interferem destrutivamente e se aniquilam mutuamente. Nesse caso, portanto, a transmissão de luz pelas camadas é completa,

$T = 1$. Se a espessura das camadas for igual a um quarto de um comprimento de onda da luz, isto é, $d = \lambda / 4$, os feixes refletidos se reforçam mutuamente e

a transmissão é incompleta, $T < 1$. Para outros comprimentos de onda da luz, T varia entre esses dois valores extremos. Quando o número de camadas cresce segundo as gerações de Fibonacci, a transmissão de luz varia entre 0 e 1 de uma forma que depende da ordem na seqüência (Fig. 9).

Essa figura, que foi adaptada de um dos trabalhos de Eudenilson, mostra como a transmissão de luz (T) varia com o comprimento de onda da luz incidente para uma pilha correspondente à geração S_7 , com 13 camadas. Um resultado interessante é que a forma dessas curvas de transmissão se reproduz a cada 6 gerações de Fibonacci. Isto é, essa figura também está mostrando T para uma pilha correspondente à geração S_{13} , com 233 camadas. Basta ajustar a escala dos comprimentos de onda de forma

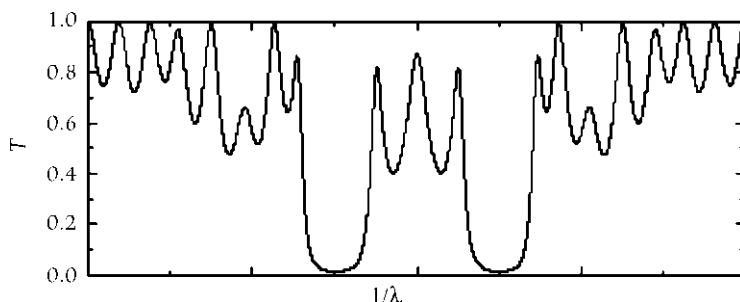


Figura 9. Variação da transmitância com o comprimento de onda da luz incidindo em uma pilha de Fibonacci com 13 camadas.

adequada.

Sempre que surge uma reprodução de formas desse tipo diz-se que a curva estudada tem “propriedade de escala”. Os físicos adoram encontrar essas “leis de escala” em seus modelos e experimentos. Esse comportamento que acabamos de relatar talvez seja mais uma manifestação da não-aleatoriedade dos números de Fibonacci, mencionada anteriormente.

Vamos agora falar do problema de preencher um plano com mosaicos de formas arbitrárias. É um problema geométrico com implicações na Física dos

Sólidos, como veremos. Se os mosaicos tiverem a forma de polígonos regulares, com lados e ângulos iguais, topamos logo com uma limitação. Triângulos, quadrados e hexágonos regulares podem ser usados para cobrir um plano, mas, pentágonos não servem para isso. Quando tentamos cobrir um piso com mosaicos pentagonais logo constatamos que sobram espaços vazios. Essa observação levou os cristalógrafos à conclusão de que não poderiam existir cristais onde os átomos e moléculas se ajustassem formando uma simetria pentagonal, também chamada de “simetria de ordem-5”.

Mas o plano pode ser preenchido com mosaicos não-regulares. Ou, com mais de um tipo de mosaico, com formas diferentes. O incrível pintor holandês Mauritus Escher, que uma vez me presenteou com uma de suas

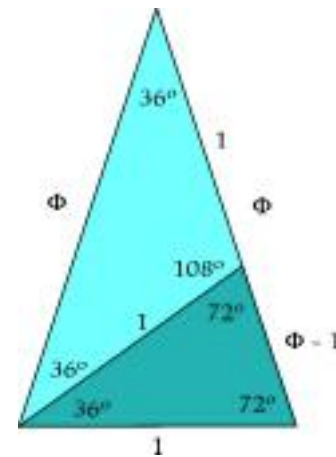


Figura 10. Triângulo isósceles de lados iguais a Φ .

belas gravuras, era um mestre nessa arte de preencher planos com figuras de todo tipo. Sem a sofisticação dos quadros de Escher, podemos ver que um piso pode facilmente ser coberto, sem deixar vazios, por mosaicos hexagonais e pentagonais, em um padrão semelhante ao que vemos nas bolas de futebol.

O físico inglês Roger Penrose, que foi orientador do famoso Stephen Hawking, inventou um tipo de mosaico de duas formas com características aparentemente contraditórias: tem simetria de ordem-5, preenche o plano e não é periódico. Os mosaicos de Penrose são formados a partir de um triângulo isósceles de lados iguais a Φ (Fig. 10). Esse triângulo converte-se em dois, mostrados com cores diferentes na figura, dividindo-se um dos lados em uma parte que mede 1 e outra que mede $\Phi - 1$. Combinando esses novos triângulos, Penrose montou dois tipos de mosaico, uma seta e uma arraia (que os sulistas chamam de pipa). Usando esses dois “mosaicos de Penrose” o plano pode ser preenchido. Mais uma vez, não preciso nem dizer como esse mosaico está repleto de proporções áureas (Fig. 11).

É surpreendente que, se dividimos o número de arraias pelo número de setas em uma dada área do mosaico de Penrose, essa fração tende para Φ quando a área examinada é cada vez maior.

Os mosaicos de Penrose cobrem uma superfície plana bi-dimensional,

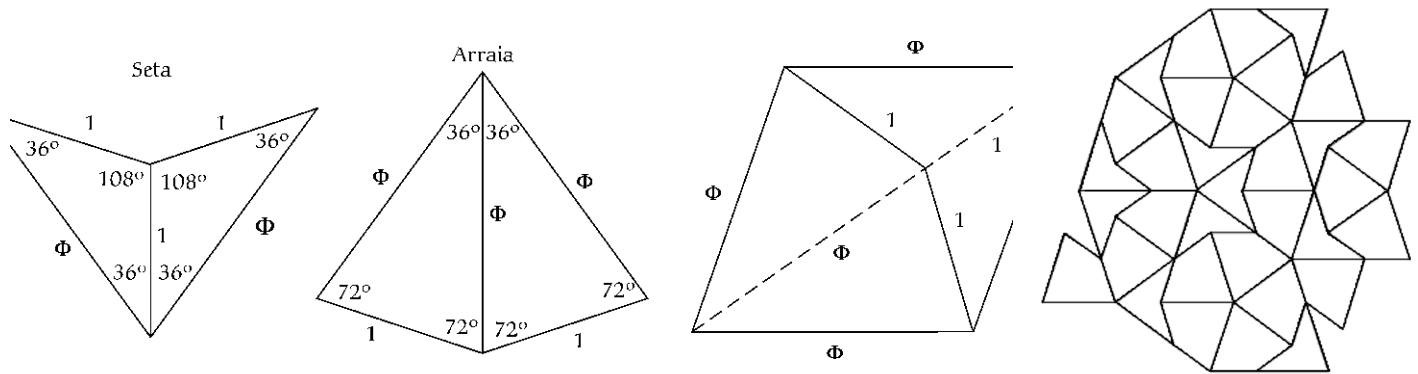


Figura 11. “Mosaicos de Penrose”, que preenchem exatamente uma área plana.

mas os matemáticos já acharam pares de formas volumétricas que preenchem por completo o espaço tri-dimensional. São objetos que lembram cubos com faces repuxadas, todas idênticas aos mosaicos planos de Penrose. São chamados, por causa disso, de “romboedros áureos”.

O que não se esperava, porém, é que a simetria de

ordem-5, presente nos mosaicos de Penrose e nesses romboedros que enchem o espaço, pudesse surgir em objetos físicos reais, como sólidos. Mas, surgiu. Na década de 80 do século passado foram descobertos certos materiais que tinham simetria de ordem-5 e um arranjo não-periódico. Foram chamados de “quase-cristais”, pois têm simetria de rotação, como os cristais normais, mas não têm simetria de translação, isto é, não possuem uma “célula” que se repete periodicamente em alguma direção espacial.

Penrose, que é um especialista em buracos-negros, inventou seus mosaicos meio de brincadeira e não imaginava que eles chegassem a ser úteis na descoberta e explicação dos quase-cristais. Mais recentemente, Penrose passou a se dedicar à tarefa de procurar explicações para a *consciência*, essa propriedade espantosa que temos de pensar, fazer associações e buscar explicações até para a própria cons-

ciência, em um processo auto-recorrente um tanto vertiginoso. Penrose acha que a consciência pode ser o resultado de processos quânticos que

Penrose dedicou-se à tarefa de procurar explicações para a *consciência*. Ele acha que a consciência pode ser o resultado de processos quânticos que têm lugar no interior dos *microtubos*, e, oh, nanotubos também envolvem números de Fibonacci

têm lugar no interior dos *microtubos*, um emaranhado de filamentos que formam o *citoesqueleto*, estrutura presente em todas as células dos seres vivos. Segundo Penrose, os microtubos seriam o local mais propício

para abrigar os processos quânticos que resultariam na consciência. Não creio que valha a pena entrar nos detalhes desse palpite de Roger Penrose mas cabe contar como ele envolve também os números de Fibonacci.

A parede de um microtubo é formada por colunas de unidades chamadas de *tubulins*. Ao todo, um microtubo tem 13 colunas de tubulins. A disposição dos tubulins forma espirais que lembram as espirais desenhadas pelos gomos do abacaxi. Como vemos no desenho, seguindo as espirais em torno do microtubo, encontramos padrões que se repetem a cada 3, 5, 8 e 13 unidades. Todos esses números, é claro, fazem parte da seqüência de Fibonacci (Fig. 12).

Tem gente que já sugeriu que o aparecimento dos números de Fibonacci nos microtubos não se dá por acaso. Do mesmo modo que o arranjo de Fibonacci facilita o aproveitamento da luz do sol e da água da chuva nas folhas e nos galhos das árvores, tam-



Figura 12. Microtubos apresentam uma seqüência de Fibonacci. Para Penrose, a consciência pode ser o resultado de processos quânticos que têm lugar no interior dessas estruturas.

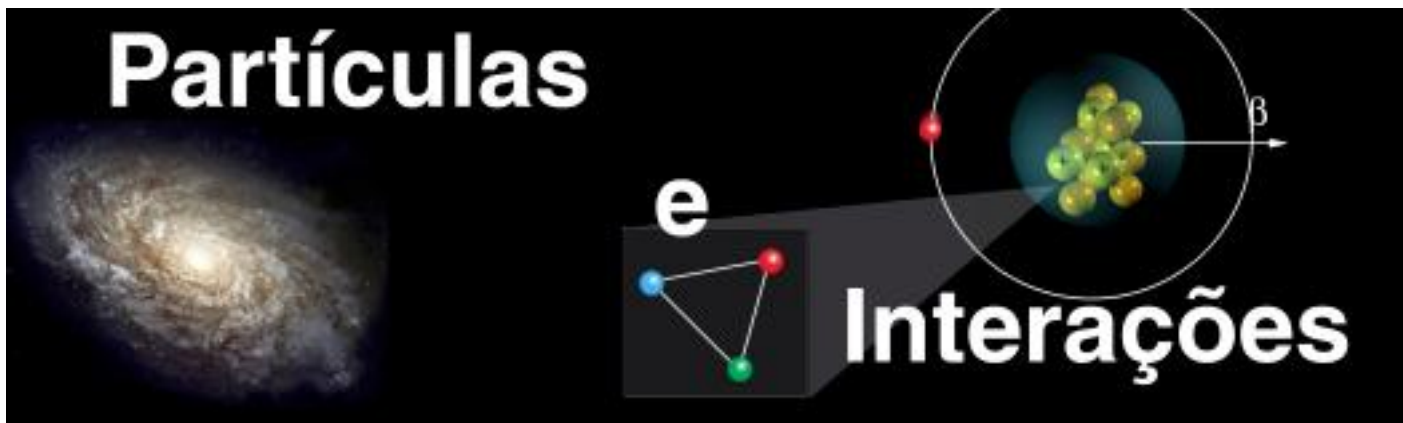
bém poderia promover o fluxo de informações nos microtubos. Haja especulação, mas, pelo menos, é uma especulação excitante.

Muito mais há para contar sobre esses maravilhosos números mas acho melhor parar por aqui. Com essa introdução vocês já estão prontos para adquirir a mania de encontrar a proporção áurea e os números de Fibonacci nas coisas do mundo em que vivem. Quem sabe, até descobrir novas associações ainda desconhecidas. Outra vez, se o editor da revista me permitir e se, antes disso, o acendedor do *big-bang* não me convocar para um *tête-à-tête*, voltaremos a conversar, talvez até sobre os assuntos polêmicos que mencionei.

Referências

- M. Livio, *The Golden Ratio* (Broadway Books, New York, 2002).
- R. Penrose, *A Mente Nova do Rei* (Editora Campus, 1991).
- E.L. Albuquerque e M.G. Cottam, *Physics Reports* **376**, 255 (2003).

Partículas



.....
Marco Antonio Moreira

Instituto de Física da UFRGS, C.P.
15051, 91501-970 Porto Alegre - RS
moreira@if.ufrgs.br
www.if.ufrgs.br/~moreira
.....

Introdução

Este texto procura dar, através da técnica dos mapas conceituais (Moreira e Buchweitz, 1987), uma visão introdutória ao assunto partículas elementares e interações fundamentais. A intenção é a de mostrar que esse tema pode ser abordado, de maneira acessível, sem muitas ilustrações que acabam tolhendo a imaginação dos alunos e até mesmo dificultando a aprendizagem de certos conceitos. Essa introdução poderá ser seguida de considerações

Uma visão introdutória ao assunto partículas elementares e interações fundamentais pode ser abordado, de maneira acessível, de forma a transmitir aos alunos a idéia de um assunto excitante, colorido, estranho e charmoso

qualitativas sobre simetria e leis de conservação em Física, sobre a construção do conhecimento em Física (por exemplo, a previsão teórica das partículas que somente anos depois foram detectadas, ou que ainda não o foram), sobre as tentativas de unificar teorias físicas. Com habilidade didática, talvez se possa transmitir aos alunos a idéia de um assunto excitante, *colorido, estranho e charmoso*, ao invés de difícil e enfadonho.

Partículas¹ Elementares

Átomos consistem de elétrons, que formam as camadas eletrônicas, e núcleos, compostos por prótons e nêutrons que, por sua vez, consistem de quarks (dos tipos **u** e **d**). Quarks são, possivelmente, os constituintes fundamentais da matéria. Há seis espécies, ou *sabores*, de quarks: **u** (*up*), **d** (*down*), **c** (*charmed*), **s** (*strange*), **b** (*bottom*) e **t** (*top*). Cada uma dessas

espécies pode apresentar-se em três “edições” chamadas *cores*: 1 (vermelho), 2 (verde) e 3 (azul). Haveria então 18 quarks distintos. Porém, como cada um deles tem a sua antipartícula, o número total de quarks é 36 (uma antipartícula tem a mesma massa e o mesmo spin^2 da partícula em questão,

porém carga oposta.) Quarks têm carga elétrica fracionária (+ 2/3 para os sabores **u**, **c** e **t** e -1/3 para os sabores **d**, **s** e **b**), mas nunca foram detectados livres; aparentemente, estão sempre confinados em partículas chamadas

hádrons (da palavra grega *hadros*, que significa massivo, robusto, forte).

Há duas classes de hádrons, aqueles formados por três quarks, chamados bárions (da palavra grega *barys*, que significa pesado), e os constituídos por um quark e um antiquark, denominados mésons (do grego, *mesos*, significando intermediário, médio). Bárions obedecem o Princípio da Exclusão de Pauli³, mésons não; bárions têm spin fracionário (1/2, 3/2, ...), mésons têm spin inteiro (0, 1, 2, ...). O nêutron e o próton são os bárions mais familiares, os mésons π e K são exemplos de mésons; contudo, face às múltiplas possibilidades de combinações de três quarks ou de quarks e antiquarks, o número de hádrons é bastante grande, constituindo uma grande família.

Outra família, não tão numerosa, é a dos léptons (do grego *leptos*, que significa delgado, fino, leve). São par-

Este artigo apresenta um sumário das partículas elementares e das interações fundamentais, segundo o Modelo Padrão. Na seqüência, são apresentados dois mapas conceituais, um para partículas e outro para interações, que esquematizam conceitualmente esse modelo.

tículas de spin $1/2$, sem cor, que podem ter carga elétrica ou não (neutrinos). Parecem ser partículas verdadeiramente elementares, *i.e.*, nenhuma delas aparenta ter uma estrutura interna como a dos hádrons. O elétron é o lépton mais familiar, mas além dele existem o múon (μ), o tau (τ) e três neutrinos (neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau). Como a cada lépton corresponde um antilépton, parece haver um total de 12 léptons na natureza.

Começamos falando de elétrons, prótons e nêutrons e chegamos a léptons, passando por hádrons, bárions e mésons. Mas essa história ainda vai longe. Para se ter uma idéia da constituição da matéria, não basta saber que existem tais e tais partículas, que umas parecem ser realmente elementares e outras são compostas por “sub-partículas” confinadas. É preciso também levar em conta como elas interagem, como integram sistemas estáveis e como se desintegram, ou seja, é preciso considerar *interações e campos de força*, o que nos leva a outra categoria de partículas, as chamadas partículas mediadoras das interações fundamentais da natureza.

Interações Fundamentais

Há quatro tipos de interações fundamentais: eletromagnética, gravitacional, forte e fraca. A interação entre um elétron e um núcleo atômico é um exemplo de interação eletromagnética; a atração entre quarks é do tipo interação forte; o decaimento β (por exemplo, um nêutron decaindo para próton pela emissão de um elétron e um neutrino) exemplifica a interação fraca; a interação gravitacional atua entre todas as partículas massivas, e é a que governa o movimento dos corpos celestes, mas é irrelevante em domínios muito pequenos, assim como as demais podem não ser relevantes em alguns domínios.

A interação forte, como sugere o nome, é a mais forte no âmbito das

partículas elementares e mantém juntos prótons e nêutrons no núcleo atômico. Afeta somente hádrons. A interação fraca é responsável pelo decaimento relativamente lento de partículas como nêutrons e múons, e também por todas reações envolvendo neutrinos.

Tais interações são descritas através de campos de força. Campo é um conceito fundamental nas teorias sobre partículas elementares. Aliás, é um conceito fundamental em toda a Física. Os *quanta* desses campos são partículas mediadoras das interações correspondentes.

Assim, o fóton é o *quantum* do campo eletromagnético e media a interação eletromagnética, os glúons são os quanta do campo forte e mediam a interação forte, o gráviton é o quantum do campo gravitacional, mediando a interação gravitacional, e as partículas denominadas W^+ , W^- e Z^0 são os quanta do campo fraco e são mediadoras da interação fraca. Tais partículas são chamadas bósons, um termo genérico para partículas de spin inteiro (férmions é o termo genérico para partículas de spin $1/2, 3/2, 5/2, \dots$; léptons e quarks são férmions). De todas essas partículas, a única que ainda não foi detectada experimentalmente é o gráviton⁴.

Mediar a interação significa que a força existente entre as partículas interagentes resulta de uma “troca” (emissão e absorção) de outras partículas (virtuais) entre elas. Assim, a força eletromagnética resulta da troca de fótons entre as partículas (eletricamente carregadas) interagentes. Fótons são portadores

da força eletromagnética, são partículas de radiação, não de matéria; têm spin 1, não têm massa e são idênticos às suas antipartículas. É a energia de um fóton que determina seu “tipo”:

fótons de ondas de rádio, de luz visível, de radiação ultravioleta, de raios-X, de raios γ (embora seja γ o símbolo que representa qualquer fóton).

Analogamente, o campo de forças produzido por quarks e antiquarks, atuando sobre eles, é chamado de campo de glúons, e a força entre eles resulta da troca de glúons. Glúons representam para o campo de glúons o

mesmo que os fótons para o campo eletromagnético. Quarks emitem e absorvem glúons e assim exercem a interação forte entre si. Glúons, tal como os fótons,

Mediar a interação significa que a força existente entre as partículas interagentes resulta de uma “troca” (emissão e absorção) de outras partículas (virtuais) entre elas

têm spin 1, mas, diferentemente deles, têm cor, *i.e.*, fótons são incolores, ou “brancos”, e glúons não. Assim como a carga elétrica é a fonte do campo fotônico, as cargas cor são a fonte dos campos glúônicos (há oito tipos de glúons)⁵.

Da mesma forma, a interação fraca é mediada por partículas, conhecidas como W (do inglês *weak*, que significa fraca) e Z , *i.e.*, pela troca de tais partículas, assim como a interação gravitacional é, teoricamente, mediada pela troca de grávitons.

A rigor, todas estas interações são mediadas por partículas virtuais. Consideremos, por exemplo, a interação eletromagnética entre um elétron livre e um próton livre: uma das partículas emite um fóton e a outra o absorve; no entanto, esse fóton não é um fóton livre ordinário, pois aplicando as leis de conservação da energia e *momentum* a tal processo poder-se-ia mostrar que haveria uma violação da conservação da energia (a energia do fóton emitido não seria igual ao produto de seu *momentum* pela velocidade da luz, como seria de se esperar para um fóton livre). Mas seria uma violação virtual porque, devido ao Princípio da Incerteza de Heisenberg⁶, a incerteza na energia do fóton implica que tal violação ocorreria em intervalos de tempo muito pequenos. Isso significa que o fóton seria imediatamente absorvido, *i.e.*, não seria livre, mas sim virtual.

No mundo macroscópico a energia sempre se conserva, porém microscopicamente a Mecânica Quântica mostra que pode haver pequenas violações ΔE durante um tempo Δt de modo que $\Delta E \times \Delta t = h = 6,6 \cdot 10^{-22}$ MeV.s. Quando uma partícula livre emite um fóton, o desbalanço de energia é dado pela energia do fóton, de modo que quanto maior for essa energia, tanto mais rapidamente ele deve ser absorvido por outra partícula a fim de restabelecer o balanço energético. Quer dizer, quanto maior a violação da conservação da energia, tanto mais rapidamente deve ser restabelecido o equilíbrio energético. Essa violação virtual da energia é, portanto, importante na interação entre partículas. Fótons “reais”, assim como elétrons, por exemplo, podem ter uma vida infinita desde que não interajam com outras partículas. Fótons “virtuais”, por outro lado, têm uma vida muito curta.

O alcance da interação causada pela troca de partículas virtuais (quanta virtuais) está intimamente relacionado à massa de repouso dos quanta trocados. Quanto maior a massa da partícula, tanto menor o espaço permitido a ela pela relação de incerteza da Mecânica Quântica. Fótons, por exemplo, não têm massa, de modo que o alcance da interação eletromagnética para partículas carregadas é infinito. Grávitons também não têm massa, de sorte que o alcance da interação gravitacional é igualmente infinito. Por outro lado, as interações forte e fraca são mediadas por partículas massivas e são de curto alcance.

As classificações de partículas e interações feitas até aqui estão diagramadas nos mapas conceituais apresentados nas Figs. 1 e 2.

Um Mapa Conceitual para Partículas Elementares

No mapa conceitual apresentado na Fig. 1, o próprio conceito de partículas elementares aparece no topo como sendo o mais abrangente dessa área de conhecimento. Logo abaixo, aparecem os conceitos de férmions e bósons como duas grandes categorias de partículas elementares. (Esta clas-

sificação não se refere apenas às partículas elementares, mas também a quaisquer partículas que obedecem as leis da Mecânica Quântica como, por exemplo, as partículas alfa.) O fato de que os férmions obedecem ao Princípio da Exclusão de Pauli e os bósons não, é a principal diferença entre essas categorias. A partir dessa distinção inicial, pode-se prosseguir com outras categorizações como a de classes de férmions (léptons, quarks e bárions) e classes de bósons (partículas mediadoras de interações e mésons). Léptons e quarks são os férmions fundamentais: a rigor, toda a matéria é constituída de quarks e léptons, pois as demais partículas ou são compostas de quarks ou antiquarks (bárions) e pares quarks-antiquarks (mésons) ou são partículas mediadoras das interações fundamentais (glúons, Z e W , fótons e grávitons).

Tanto os léptons como os quarks têm seis variedades ou *sabores*, como indicado no mapa conceitual. Entretanto, diferentemente dos léptons, cada sabor de quark existe em três variedades distintas em função de uma propriedade chamada *cor*, ou *carrega cor*. Contudo, quarks não existem livremente, só podem ser observados em combinações que são neutras em relação à cor; estão sempre confinados em partículas compostas chamadas hádrons. Hádrons podem ser fermiônicos quando formados por quarks ou antiquarks (nesse caso são chamados bárions) ou bosônicos quando constituídos por um quark e um antiquark (então chamados mésons).

Tudo isso está “mapeado” na Fig. 1 que, de certa forma, “termina” com os “conhecidos” elétrons (são léptons), prótons e nêutrons (ambos são bárions; têm estrutura interna) que formam átomos e moléculas que constituem a matéria macroscópica tal como a percebemos.

Um Mapa Conceitual para Interações Fundamentais

O mapa conceitual mostrado na Fig. 2 também começa com o conceito mais abrangente: interações fundamentais. Logo abaixo aparecem as quatro interações existentes na natureza: gravitacional, eletromagnética,

fraca e forte. As interações eletromagnética e fraca podem ser interpretadas, teoricamente, como instâncias de uma única interação, a eletrofraca. A interação forte que existe entre bárions e mésons pode ser interpretada como fundamental ou residual quando decorre de um balanço imperfeito das atrações e repulsões entre os quarks e antiquarks que constituem tais partículas.

Essas quatro (ou três) interações são mediadas por partículas (portadoras de força) elementares - grávitons (gravitacional), fótons (eletromagnética), W e Z (fraca) e glúons (forte) - e descritas por campos de força. Os mésons mediam a interação forte residual. Quer dizer, além dos campos gravitacional e eletromagnético, que são relativamente familiares, há também o campo forte e o campo fraco. A energia armazenada nesses campos não está neles distribuída de maneira contínua; está quantizada, *i.e.*, concentrada nos chamados quanta de energia. Assim, os fótons são os quanta do campo eletromagnético, as partículas W e Z são os quanta do campo fraco, os glúons do campo forte e os grávitons do campo gravitacional.

A cada campo está associado um tipo de força: força gravitacional, força eletromagnética (elétrica e magnética), força fraca, e força cor (forte ou fundamental, e residual). Contudo, no domínio das partículas elementares, em reações altamente energéticas, partículas são criadas, destruídas e recriadas novamente, com velocidades e trajetórias com determinado grau de incerteza. Assim, o conceito de força não tem um significado muito preciso nesse domínio, e é preferível falar em interações, ou seja, a ação entre partículas. Por esta razão, no mapa da Fig. 2 as interações fundamentais aparecem na parte superior do mapa e as forças na parte inferior. Nesse contexto, interação é um conceito hierarquicamente superior ao de força.

Conclusão

Embora seja uma construção humana espetacular, presente em toda parte e, particularmente, na natureza científica do homem (Kelly, 1963), isto

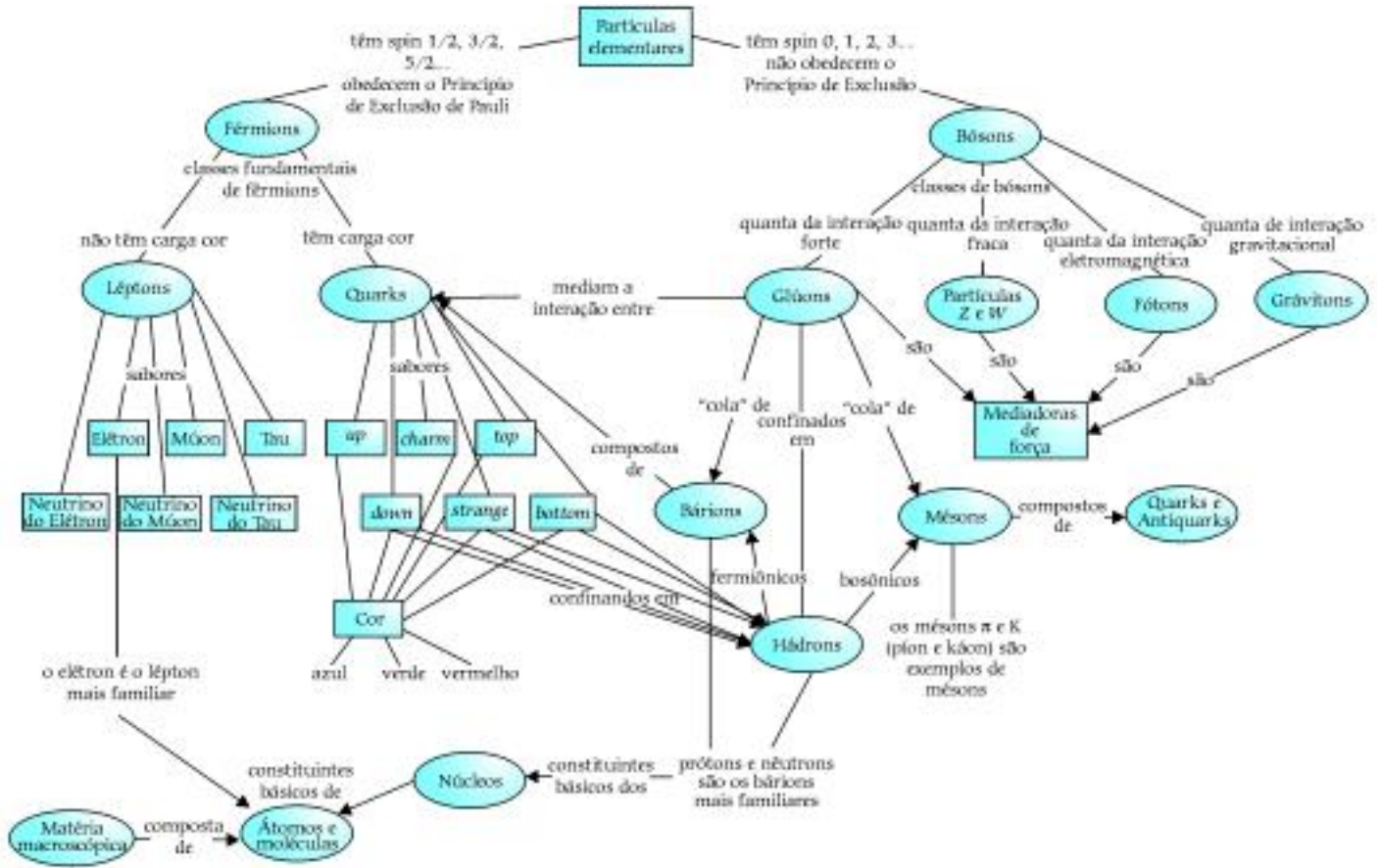


Figura 1. Um mapa conceitual entre partículas elementares (M.A. Moreira, 1989, revisado em 2004).

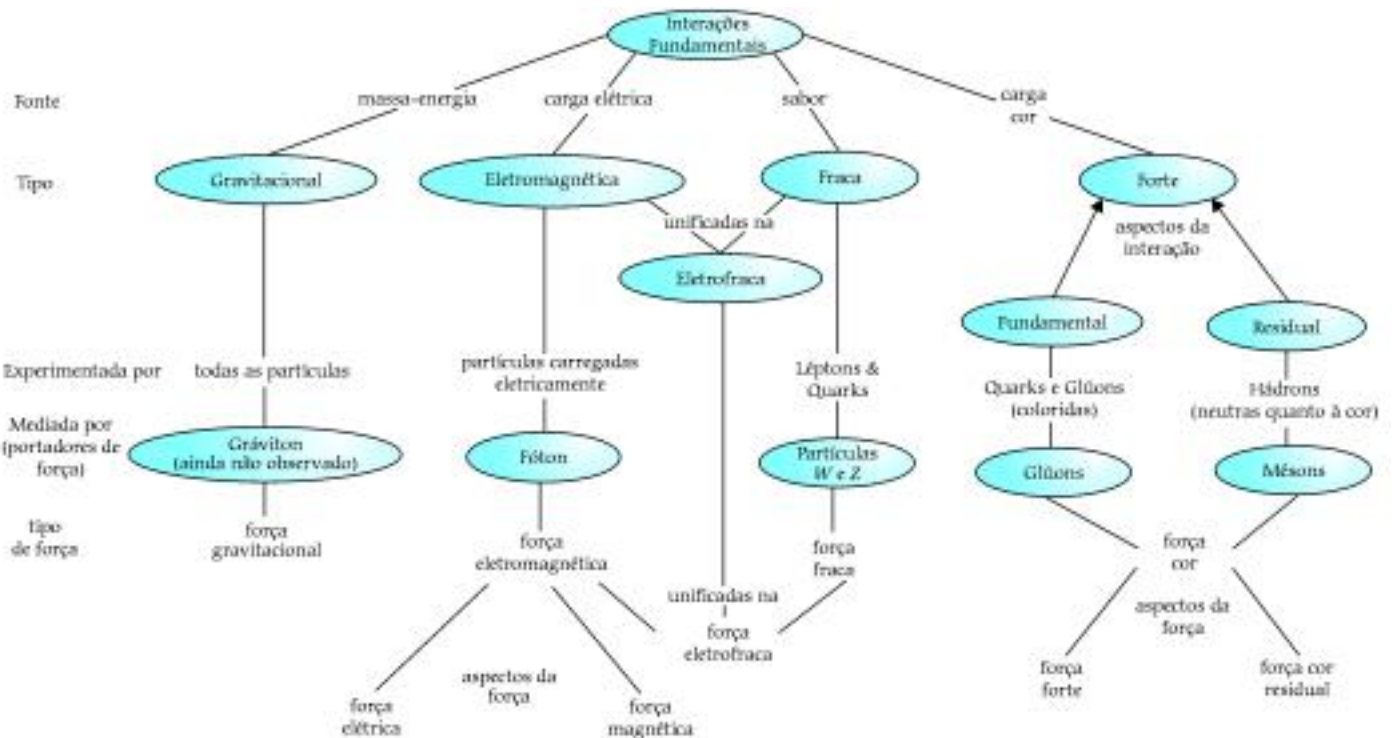


Figura 2. Um mapa conceitual para interações fundamentais (M.A. Moreira, 1990, revisado em 2004).

é, na sua permanente tentativa de dominar, construindo e testando modelos do universo em que vive, a Física é considerada, na escola, uma matéria difícil, pouco motivadora, aprendida mecanicamente. As causas são muitas, mas a falta de atualização ou, pelo menos, de reformulação do currículo deve ser uma das mais importantes. O currículo de Física nas escolas é desatualizado; ensina-se uma Física que não chega ao século XX que é quase só Mecânica e que invariavelmente começa pela Cinemática. Esta, por seu caráter altamente representacional, é, psicologicamente, talvez o mais inadequado dos conteúdos para se começar a aprender Física. Por que, então, não começar com tópicos contemporâneos? Dificilmente serão mais inapropriados do que a Cinemática, a Estática e a Dinâmica.

O presente trabalho pretende contribuir para uma reflexão nesse sentido e, ao mesmo tempo, servir como material de apoio para professores que queiram renovar ou, quem sabe, resgatar a Física no Ensino Médio.

Notas

¹Apesar de consagrado, o termo *partícula elementar*, em especial a palavra *partícula*, não é adequado para nomear as unidades fundamentais da matéria. No domínio subatômico, partícula não é um corpúsculo, um corpo diminuto. Pensar as partículas elementares como corpos muito pequenos, com massas muito pequenas, ocupando espaços muito pequenos, funciona como obstáculo representacional para compreendê-las de maneira significativa (partículas elementares podem, por exemplo, não ter massa; além disso, tais partículas não têm existência situada, *i.e.*, não podem ser localizadas com precisão). Por esta razão, ao longo deste texto as partículas elementares não serão referidas ou representadas por corpúsculos ou “bolinhas” como aparece na maioria dos textos didáticos sobre esse tema.

²Spin é uma propriedade fundamental das partículas elementares que descreve seu estado de rotação; é o *momentum* angular intrínseco das partículas. De acordo com as regras da

Mecânica Quântica, o spin das partículas elementares pode ter apenas determinados valores que são sempre um número inteiro (0, 1, 2, 3, ...) ou semi-inteiro (1/2, 3/2, 5/2, ...) multiplicados por \hbar ($h/2\pi$; onde $h \cong 6,6 \cdot 10^{-22}$ MeV.s é a constante de Planck, a constante fundamental da Mecânica Quântica). Isso significa que o spin das partículas elementares é uma propriedade essencialmente quântica, ou seja, um número quântico, sem análogo na Física Clássica, pois se tais partículas fossem bolinhas girando em torno de um eixo seu *momentum* angular poderia ter qualquer valor.

³De acordo com esse princípio, duas partículas da mesma espécie e com spins não inteiros não podem ocupar o mesmo estado quântico. Férmions (léptons e quarks) obedecem a esse princípio, bósons (fótons, glúons e partículas *W* e *Z*) não.

⁴Grávitons seriam, teoricamente, partículas de massa nula e spin 2. Fótons são também partículas de massa nula, porém a troca de fótons produz atração entre partículas de cargas opostas e repulsão entre partículas de mesma carga, enquanto a troca de grávitons produz só atração. No entanto, em condições terrestres a atração gravitacional é tão fraca que os *quanta* dessa interação são praticamente indetectáveis. A interação gravitacional torna-se dominante em energias da ordem de $2 \cdot 10^{-5}$ g, que é a chamada massa de Planck (ou energia de Planck), que seriam fantásticamente grandes para serem produzidas em condições de laboratório. Note-se que, devido à equivalência massa-energia, faz sentido medir a energia em unidades de massa e a massa em unidades de energia. A massa de Planck, $2 \cdot 10^{-5}$ g, equivale à energia de Planck, $1,1 \cdot 10^{19}$ GeV (Giga eV = 10^9 eV, onde $1 \text{ eV} \cong 1,6 \cdot 10^{-19}$ J é a energia adquirida por um elétron acelerado ao longo de uma diferença de potencial de 1 V).

⁵Cada glúon tem uma cor (vermelho, verde e azul) e uma anticor (antivermelho, antiverde e antiazul), de modo que haveria nove possibilidades de pares cor anticor que responderiam a nove glúons. No

entanto, de acordo com a teoria da carga cor, a chamada Cromodinâmica Quântica (em analogia à Eletrodinâmica Quântica), no caso das possibilidades vermelho-antivermelho, verde-antiverde e azul-antiazul poderia haver transições de uma para outra que levaria a três combinações (superposições) lineares entre elas, das quais uma seria totalmente sem cor, *i.e.*, branca. Portanto, há oito glúons, não nove como pareceria inicialmente. Assim como a carga elétrica, a carga cor também obedece uma lei de conservação, porém enquanto existe apenas uma carga elétrica, há oito cargas cores distintas (Okun, 1987, p. 41-42).

⁶Medir a intensidade de duas grandezas físicas simultaneamente implica duas medições, porém a realização da primeira medida poderá perturbar o sistema e criar uma incerteza na segunda. Nesse caso, não será possível medir as duas simultaneamente com a mesma precisão. Não se pode, por exemplo, medir tanto a posição como a velocidade de uma partícula com toda precisão, nem sua exata energia num exato momento. Macroscopicamente isso não faz diferença, pois a perturbação é tão pequena que pode ser ignorada, porém para partículas subatômicas o efeito é dramático (Close, 1983, p. 175).

Bibliografia

- F. Close, *The Cosmic Onion. Quarks and the Nature of the Universe* (American Institute of Physics, USA, 1983), 180 p.
- P. Colas y B. Tuchming, *Mundo Científico* **247**, 46 (2003).
- H. Fritzsch, *Quarks: The Stuff of Matter* (Basic Books Inc., USA, 1983), 295 p.
- P.I.P. Kalmus, *Contemporary Physics*, **41**, 129 (2000).
- G. Kelly, *A Theory of Personality - The Psychology of Personal Constructs* (W.W. Norton & Company, New York, 1963), 189 p.
- M.A. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **11**, 114 (1989).
- M.A. Moreira, *Enseñanza de las Ciencias* **8**, 133 (1990).
- M.A. Moreira e B. Buchweitz, *Mapas Conceituais. Instrumentos Didáticos, de Avaliação e de Análise de Currículo* (Editora Moraes, São Paulo, 1987), 83 p.
- L.B. Okun, *A Primer in Particle Physics* (Harwood Academic Publishers, UK, 1987), 112 p.



Formação de Professores de Física no Ambiente Virtual InterAge:

Um Exemplo Voltado para a Introdução da FMC no Ensino Médio

As condições atuais de trabalho dos professores do Ensino Básico dificultam o investimento pessoal na busca de novas visões sobre o ensino e a aprendizagem, o que os levam a repetir, anos a fio, uma determinada prática. Intervir nesse quadro exige mudanças em aspectos sociais, econômicos e culturais da realidade educacional e investimento por parte do governo em programas de formação continuada, em políticas de valorização do trabalho docente e na melhoria das condições concretas da educação pública. Diante do amplo espectro de ações necessárias, a Educação a Distância, longe de representar a solução, pode ser vista como mais uma alternativa para enfrentar a complexidade dessa problemática. A integração das Tecnologias da Informação e da Comunicação em ambientes virtuais de Educação a Distância, além de transpor dificuldades de tempo e espaço, potencializa a interação e a troca de experiências entre participantes, características que podem representar soluções importantes para professores que enfrentam condições profissionais pouco favoráveis à formação continuada.

Foi diante da necessidade de se investir na formação continuada de professores de Física que se dedicaram esforços no desenvolvimento de um ambiente virtual guiado por pressupostos construtivistas denominado InterAge¹ (<http://nutes2.nutes.ufrj.br/interage/>). Ao contrário dos cursos

de formação continuada oferecidos atualmente, que continuam privilegiando o conteúdo (Lima *et al.*, 2003) deixando de lado o conhecimento pedagógico do conteúdo (Shulman, 1987), o desenho instrucional desse ambiente valoriza a integração do conteúdo específico com a prática pedagógica. Em linhas gerais, a proposta educacional do InterAge (Rezende *et al.*, 2003) tem como princípios estimular a reflexão do/a professor/a sobre sua prática (Schön, 2000), promover a interatividade e incentivar a colaboração entre os participantes de modo a desenvolver o conhecimento profissional do/a professor/a (Porlán e Rivero, 1998). A metodologia usada para concretizar estes

A proposta educacional do InterAge tem como princípios estimular a reflexão do professor sobre sua prática, promover a interatividade e incentivar a colaboração entre os participantes de modo a desenvolver seu conhecimento profissional

princípios é a Aprendizagem Baseada em Problemas, considerada adequada para fazer com que o/a professor/a possa refletir, repensar e criar a sua prática pedagógica ao resolver problemas relevantes e autênticos em relação à sua realidade.

Neste trabalho, apresentamos o ambiente virtual InterAge como uma importante alternativa para transpor dificuldades de tempo e espaço, potencializando a interação e a troca de experiências entre professores que enfrentam condições profissionais pouco favoráveis à formação continuada. Diferentes conjuntos de recursos pedagógicos que incluem textos de apoio, materiais educativos, sítios de Internet e boas práticas acompanham cada uma das situações-problema oferecidas no

.....
Flavia Rezende

NUTES-UFRJ

e-mail: frezende@nutes.ufrj.br

.....
Fernanda Ostermann

Instituto de Física, UFRGS

e-mail: fernanda@if.ufrgs.br
.....

InterAge. Como exemplo, enfocamos uma situação-problema e os recursos pedagógicos disponíveis para a abordagem de temas de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Características Gerais do InterAge

O InterAge é composto por um conjunto de páginas, um banco de informações e mecanismos de comunicação *on-line*. De acordo com o nível de interatividade que o/a professor/a deseja estabelecer com outros usuários, ele pode acessar o Laboratório Pedagógico, o Laboratório Interativo ou o Curso, sendo as atividades desenvolvidas nestes espaços fundamentalmente as mesmas: o/a professor/a reflete sobre situações-problema apresentadas e propõe soluções na forma de planejamentos de uma ou mais unidades de ensino com base nos recursos pedagógicos oferecidos e na interação *on-line* entre os usuários, no caso do Laboratório Interativo ou dos cursos viabilizados no InterAge.

No Laboratório Pedagógico, o/a professor/a tem acesso aos problemas, aos recursos pedagógicos, mas não tem acesso aos recursos de comunicação *on-line*. A idéia foi atender aqueles professores que não querem perder tempo em preencher um cadastro e que estão mais interessados nos materiais disponíveis do que na possibilidade de interagir com outros professores. O/a professor/a precisa fornecer apenas informações básicas (se é professor ou não, nível e série), para acessar o Laboratório Pedagógico.

O Laboratório Interativo é acessado por professores cadastrados que desejam participar de uma comunidade virtual de aprendizagem. Além de tudo o que é oferecido no Laboratório Pedagógico, o/a professor/a pode acessar um fórum de discussão sobre cada situação-problema (SP) e pode salvar seus planejamentos de aula no servidor do InterAge de modo que possa recuperá-los para conti-

nuar trabalhando em horários convenientes.

Os cursos são oferecidos eventualmente aos usuários do InterAge, que solicitam inscrição no Laboratório Interativo. As atividades desenvolvidas no curso são semelhantes àquelas desenvolvidas nos laboratórios, sendo que o/a professor/a conta com a orientação de um tutor e com outros mecanismos de comunicação *on-line* além do fórum de discussão sobre a SP.

Os recursos de comunicação *on-line* oferecidos no curso são: e-mail interno, *chat*, um fórum de discussão sobre cada SP e um fórum de discussão geral. Os fóruns de discussão permitem interações *on-line* assíncronas por meio do envio de mensagens a uma lista sobre cada uma das situações-problema oferecidas e outra sobre aspectos conceituais gerais. O e-mail interno permite a troca de mensagens entre a coordenação, tutores e participantes dos cursos. O *chat* permite interações *on-line* síncronas entre tutores e participantes dos cursos. O botão Avisos permite o acesso a informações gerais divulgadas pela coordenação do curso. O botão Perfis dá acesso à fotografia e aos dados básicos dos cursistas (nome completo, idade e detalhes da atividade profissional).

Além dos recursos pedagógicos, descritos na próxima seção, o InterAge oferece um bloco de anotações para que o/a professor/a possa registrar aspectos dos recursos pedagógicos e da discussão *on-line* ao longo do processo de solução da situação-problema e um espaço para planejamento de aula. Este espaço oferece

duas possibilidades de trabalho: o/a professor/a pode seguir uma estrutura de planejamento já definida ou

pode optar por elaborar seu planejamento livremente.

Os Recursos Pedagógicos Oferecidos

Diferentes conjuntos de textos de apoio, materiais educativos, sítios e boas práticas acompanham as cinco situações-problema já oferecidas no InterAge. Este conjunto está sempre em construção, pois à medida que mais SPs são implementadas no ambiente, novos conjuntos de recursos serão também selecionados e associados pela coordenação às mesmas.

Os textos de apoio são o principal recurso pedagógico oferecido ao público-alvo do InterAge. Estes textos podem ser lidos na tela do computador ou copiados para disco rígido do computador do usuário. Os textos de apoio já implementadas foram selecionados entre os artigos publicados no período de 2000 (inclusive) a 2003 nos principais periódicos da área de Educação em Ciências e Matemática. O acesso dos professores aos textos de apoio promove a articulação entre a teoria e a prática apontada por Pórlan e Rivero (1998) necessária ao processo de formação. Para facilitar a consulta, os textos de apoio foram classificados em: textos de Conteúdo Específico, de Conteúdo Pedagógico e de Conhecimento Pedagógico do Conteúdo. Assim, os textos de Conteúdo Pedagógico discutem questões educacionais, como teorias de aprendizagem, reflexões sobre políticas educacionais e são comuns a todas as SP. Os textos de Conteúdo Específico têm como objeto de estudo o conteúdo de Física e de Matemática envolvido em determinada situação-problema. Os textos sobre o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo trabalham, em geral, metodologias de ensino ou o desenvolvimento de materiais educativos.

Os materiais educativos oferecidos no InterAge são pôsteres, *softwares* educativos e vídeos educativos de do-

O InterAge é composto por módulos que formam um conjunto de páginas, um banco de informações e mecanismos de comunicação *on-line*. De acordo com o nível de interatividade que o professor deseja estabelecer com outros usuários, ele pode acessar o Laboratório Pedagógico, o Laboratório Interativo ou o Curso

A idéia do módulo Laboratório Pedagógico é atender aqueles professores que estão mais interessados nos materiais disponíveis do que na possibilidade de interagir com outros professores

mínio público. A seleção dos materiais já implementados foi realizada a partir de conteúdos específicos tratados nas SPs e dos textos de apoio selecionados. Os *softwares* educativos selecionados discutem conceitos utilizando animações, simulações, áudios, textos e *hiperlinks*. Foram elaborados resumos dos *softwares* educativos a partir dos seguintes tópicos: descrição, conteúdo abordado, relação usuário-*software*, sugestões de utilização em sala de aula, tipo de mídia, idioma do programa, requisitos mínimos do computador e forma de aquisição. A seleção dos vídeos se baseou na análise de um conjunto de vídeos pertencentes a uma professora do Instituto de Física da UFRJ que poderia ser disponibilizado aos professores. Na análise desse acervo, foi possível encontrar vídeos que se adequam ao conteúdo de Física abordado em cada SP. Foram elaborados resumos que apresentam o vídeo a partir dos seguintes tópicos: descrição, conteúdo abordado e sugestões de uso.

A seleção de sítios foi guiada por elementos-chave das SP e pelo projeto *UniEscola* (Vianna e Araújo, 2002). Dentre os sítios recomendados por esse projeto, foram selecionados aqueles que apresentam *softwares online*, espaços informais de aprendizagem e guias de experiências para fazerem parte do conjunto de recursos pedagógicos associados a cada SP.

Boas Práticas são relatos de experiências bem sucedidas elaborados e submetidos por professores cursistas ou usuários do Laboratório Interativo à coordenação do InterAge. Esses relatos são analisados e escolhidos para servirem como mais um recurso pedagógico que poderá ajudar o/a professor/a a resolver uma SP. Assim, não só os coordenadores, mas também os próprios usuários podem adicionar recursos pedagógicos ao InterAge.

Os Problemas Pedagógicos Discutidos

Resultados obtidos de entrevistas não-diretivas, realizadas com 18 professores de Física de oito escolas da rede pública de diferentes bairros do município do Rio de Janeiro (Rezende *et al.*, 2004), constituíram a referência para a elaboração das situações-problema (SP) oferecidas no InterAge, que são a descrição de uma situação da prática docente, vivida por um professor fictício. Por se basearem em problemas reais, espera-se, as SP levem professores, principalmente da rede pública de ensino, a se identificarem e a se interessarem em buscar soluções.

Os temas classificados como Condições Estruturais foram usados como condições de contorno da realidade complexa da escola pública. Os problemas relacionados ao Ensino-Aprendizagem Física são: a insatisfação com

os métodos tradicionais, a dificuldade para contextualizar, a insuficiência do livro-texto, a dificuldade para usar laboratório, o empobrecimento do ensino, a dificuldade para usar as TIC, a dificuldade de aplicação de teorias de aprendizagem, a dificuldade em acompanhar as políticas de avaliação, a dificuldade do(a) aluno(a) com leitura, a falta de base em matemática do(a) aluno(a), a atitude desfavorável do(a) aluno(a) em relação à Física, a falta de interesse do(a) aluno(a) e a indisciplina dos(as) alunos(as).

Os problemas relacionados ao currículo de Física do Ensino Médio são: o despreparo para selecionar e adequar conteúdos, as dificuldades decorrentes do vestibular, a dificuldade para implementar o enfoque interdisciplinar, a dificuldade para contextualizar o conteúdo, a dificuldade para implementar inovações curriculares, a dificuldade para inserir a Física Moderna no currículo, o formalismo matemático excessivo, a formação insuficiente para considerar a História da Ciência no ensino de Física e a escassez de atividades extraclasse.

As Situações-Problema Oferecidas

No atual estado de desenvolvimento, o InterAge oferece cinco SPs (Quadro 1), que são constituídas por condições estruturais da escola pública, características dos alunos e con-

Quadro 1. Situações-Problema do InterAge.

SP	Problema da prática pedagógica	Conteúdo de Física	Condições estruturais
1	Metodologias tradicionais de ensino	Conceitos de calor e temperatura	<u>Escola</u> : biblioteca, sala de vídeo, laboratórios. de informática e de Física <u>Alunos</u> : turma 2ª série do EM, heterogênea e participativa
2	Dificuldades para usar <i>softwares</i> educacionais no ensino de Física	Leis de Newton	<u>Escola</u> : lab. de informática com 10 computadores sem acesso à Internet <u>Alunos</u> : turma de 1ª série do EM
3	Dificuldade para transpor as teorias de aprendizagem para a prática escolar	Óptica	<u>Alunos</u> : Turmas de 2ª série do EM com 50 alunos
4	Dificuldades para usar a Internet no ensino de Física	Ondas (reflexão e refração)	<u>Escola</u> : lab. de informática com 15 computadores com acesso à Internet e sem monitores <u>Direção da escola</u> : interessada no uso da informática educativa
5	Dificuldade para inserir a FMC no currículo	Física Moderna	<u>Escola</u> : sem laboratório, 32 alunos na sala <u>Professores</u> : Má formação neste conteúdo, mas dispostos a procurar ajuda.

teúdos de Física associados a cinco dos problemas da prática pedagógica, levantados por meio da pesquisa mencionada.

A estrutura do texto das SPs oferecidas no InterAge inclui: um título, que menciona o problema associado a um determinado conteúdo específico de Física; as características dos alunos, do/a professor/a, da comunidade, da escola, da direção e da sala de aula; a descrição de uma situação vivenciada por um professor fictício; e um questionamento do/a professor/a que está vivendo a situação.

Atividades Desenvolvidas Pelo/a Professor/a nos Cursos

Para iniciar as atividades na página do curso (Fig. 1), o/a professor/a deverá selecionar a situação-problema a ser discutida no curso (à esquerda). Ao fazer isso, um conjunto de recursos pedagógicos específicos para essa situação estará disponível (à direita) e o/a professor/a poderá escolher aqueles que julgar mais pertinentes, do ponto de vista da sua experiência.

Além de ler os textos de apoio (na tela do computador ou impressos), os resumos dos materiais educativos e visitar os sítios sugeridos, o/a professor/a deverá participar da discussão *on-line* sobre a SP com a qual está trabalhando (botão à direita, embaixo) e da discussão *on-line* sobre aspectos conceituais gerais (botão Fórum). Além disso, o/a professor/a deverá discutir as versões dos planejamentos com seu tutor via e-mail e enviá-las nas datas acordadas. O/a professor/a elabora seu primeiro planejamento de aula e envia para que seu tutor-orientador avalie e devolva com comentários. Esse planejamento servirá de referência para o desenvolvimento de um plano de trabalho individual entre professor e tutor e para o acompanhamento da progressão do conhecimento profissional por ambos. Após a segunda correção, o/a professor/a elabora o terceiro e último planejamento, que será corrigido e devolvido ao/a professor/a. Esse procedimento é independente entre as SPs, devendo ser realizado para quantas situações fizerem parte daquela edição do curso.

A avaliação é feita por meio dos

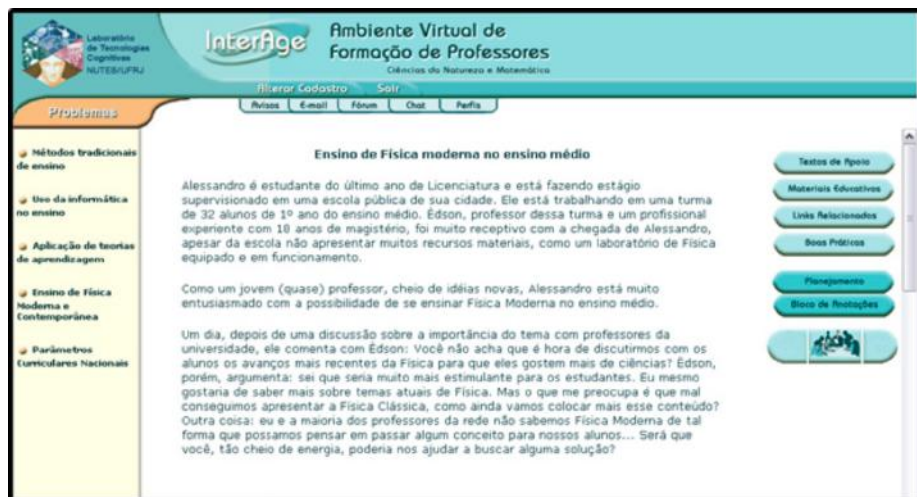


Figura 1. Página do Curso no InterAge.

planejamentos de aula propostos pelos professores em termos da consistência, apropriação dos recursos pedagógicos oferecidos e pela sua contribuição para os fóruns de discussão. O planejamento de aula deverá cobrir no mínimo dois tempos de aula e incluir objetivos, abordagem pedagógica, estratégias didáticas, materiais educativos e proposta de avaliação.

Situação-Problema e Recursos Pedagógicos Voltados para a Introdução da FMC no Ensino Médio

O Quadro 2 apresenta a SP que explora o problema da prática pedagógica referente à introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. A seleção dos recursos pedagó-

gicos referentes a esta SP não cobriu apenas o período considerado para os demais recursos disponíveis no ambiente, na medida em que, não havendo, ainda, uma produção extensa nesta área, esta limitação iria restringir muito a possibilidade de oferecimento de recursos aos professores.

Tomando como elementos-chave da SP apresentada, as condições de contorno, a dificuldade do/a professor/a em transpor um conteúdo de FMC para o Ensino Médio, foram selecionados como textos de apoio dois artigos de pesquisa classificados no grupo de textos sobre conhecimento pedagógico (e.g., Ostermann e Moreira, 2000; Ostermann e Moreira, 2001) por tratarem, respectivamente, de uma revisão bibliográfica sobre a abordagem de FMC no Ensino Médio

Quadro 2. Introduzindo a Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Alessandro é estudante do último ano de Licenciatura e está fazendo estágio supervisionado em uma escola pública de sua cidade. Ele está trabalhando em uma turma de 32 alunos de 1º ano do Ensino Médio. Édson, professor dessa turma e um profissional experiente com 18 anos de magistério, foi muito receptivo com a chegada de Alessandro, apesar da escola não apresentar muitos recursos materiais, como um laboratório de Física equipado e em funcionamento.

Como um jovem (quase) professor, cheio de idéias novas, Alessandro está muito entusiasmado com a possibilidade de se ensinar Física Moderna no Ensino Médio.

Um dia, depois de uma discussão sobre a importância do tema com professores da universidade, ele comenta com Édson: Você não acha que é hora de discutirmos com os alunos os avanços mais recentes da Física para que eles gostem mais de ciências? Édson, porém, argumenta: Sei que seria muito mais estimulante para os estudantes. Eu mesmo gostaria de saber mais sobre temas atuais de Física. Mas o que me preocupa é que mal conseguimos apresentar a Física Clássica, como ainda vamos colocar mais esse conteúdo? Outra coisa: eu e a maioria dos professores da rede não sabemos Física Moderna de tal forma que possamos pensar em passar algum conceito para nossos alunos... Será que você, tão cheio de energia, poderia nos ajudar a buscar alguma solução?

e de um relato de uma experiência didática com o ensino de dois tópicos de FMC. De conteúdo específico, foram disponibilizados textos que enfatizam aspectos conceituais da FMC (e.g., Ostermann *et al.*, 1998; Pessoa Jr., 1997, 2003; Valadares e Moreira, 1998; Ricci, 2000; Ostermann, 2001; Ricci e Ostermann, 2003). Na interface entre esses dois tipos de trabalhos, também foram selecionados artigos sobre conhecimento pedagógico do conteúdo, que procuram discutir a FMC sob a ótica de seu ensino (e.g., Toginho Filho e Arruda, 1991; Cavalcante e Tavolaro, 2001; Ostermann, 1999; Ostermann e Cavalcanti, 1999; Pinto e Zanetic, 1999).

Materiais educativos também foram selecionados, dando-se ênfase aos que são dirigidos para o/a aluno/a de Física do EM e que, portanto, apresentam um bom equilíbrio entre o qualitativo e o formal. Alguns exemplos são Hewitt (2002); Ostermann e Cavalcanti (2001).

Os sítios incluídos no ambiente como recursos pedagógicos de FMC são *softwares* livres, entre os quais, destacam-se o interferômetro de Mach-Zehnder e o experimento de fenda dupla com elétrons (disponíveis em www.physik.uni-muenchen.de/didatik/Computer). A justificativa para essa escolha deve-se à própria natureza dos experimentos ilustrados por meio dos *softwares*. No caso do interferômetro de Mach-Zehnder, trata-se de um arranjo experimental muito sofisticado e dificilmente reproduzível em laboratórios de ensino. Com esta simulação, é possível operar virtualmente com laser (regime clássico) e com fótons individuais (regime quântico), sendo revelados aspectos corpusculares e ondulatórios, conforme o arranjo experimental. O regime monofotônico do feixe luminoso só foi implemen-

O InterAge conta com softwares que simulam experimentos muito sofisticados, dificilmente reproduzíveis em laboratórios de ensino. Destaque para o interferômetro de Mach-Zehnder e o experimento de fenda dupla com elétrons; o primeiro consiste de um arranjo experimental muito sofisticado e dificilmente reproduzível em laboratórios de ensino

tado em meados da década de 1980, em laboratórios avançados de Física, sendo praticamente impossível, por ora e pelos próximos anos, sua reprodução em laboratórios de ensino. No caso do experimento da fenda dupla com feixe de elétrons, trata-se basicamente de um experimento de pensamento por definição e, portanto, virtual. Embora se possam obter efeitos de interferência com feixes de elétrons incidindo em estruturas cristalinas, ainda assim trata-se de um arranjo experimental de difícil implementação para fins meramente didáticos. Segundo Richard Feynman, este repre-

senta “o” experimento revelador do caráter quântico dos objetos microscópicos.

Considerações Finais

A idéia deste projeto é que os materiais disponíveis no InterAge possam ajudar o professor a integrar aspectos teóricos e metodológicos adquiridos no curso à prática de sala de aula, desenvolvendo assim seu conhecimento profissional.

O InterAge também poderá servir como ferramenta pedagógica do trabalho semi-presencial de cursos de licenciatura em Física, como, por exemplo, nas disciplinas de Instrumentação para o Ensino e de Prática de Ensino de Física, assim como poderá servir de tema de desenvolvimento de projetos de final de curso desses alunos.

Nota

¹Este nome foi escolhido por evocar dois conceitos que fazem parte do desenho instrucional do ambiente: a Interação, que diz respeito às interações *on-line* professor-professor e professor-tutor e a Ação, que se relaciona ao fato do aluno poder construir algo relativo à sua prática a partir da reflexão. Para chamar atenção para esses dois aspectos, o nome é grafado InterAge.

Referências

- M.A. Cavalcante e C.R.C. Tavolaro, Caderno Catarinense de Ensino de Física **18**, 298 (2001).
- P. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002).
- M.C.B. Lima, M.A.A. Pacheco e G.R.P.C. Queiroz, *Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física* (Curitiba, PR, 2003).
- F. Ostermann, L.M. Ferreira e C.J.H. Cavalcanti, Rev. Bras. Ens. Fis. **20**, 270 (1998).
- F. Ostermann e M.A. Moreira, *Investigações em Ensino de Ciências* **5**, n. 1 (2000) (<http://www.if.ufrgs.br/ienci/>).
- F. Ostermann e M.A. Moreira, Caderno Catarinense de Ensino de Física **18**, 135 (2001).
- F. Ostermann, Rev. Bras. Ens. Fis. **21**, 415 (1999).
- F. Ostermann e C.J.H. Cavalcanti, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **16**, 267 (1999).
- F. Ostermann, *Partículas Elementares e Interações Fundamentais*, editado pelo Instituto de Física da UFRGS, *Textos de Apoio ao Professor de Física* (Porto Alegre, 2001), n. 12.
- F. Ostermann C.J.H. Cavalcanti, Física na Escola **2**, 13 (2001).
- O. Pessoa Jr., Rev. Bras. Ens. Fis. **19**, 27 (1997).
- O. Pessoa Jr., *Conceitos de Física Quântica* (Livraria da Física, São Paulo, 2003).
- A.C. Pinto e J. Zanetic, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **16**, 7 (1999).
- R. Porlán e A. Rivero, *El Conocimiento de los Profesores* (Díada, Sevilla, 1998).
- F. Rezende, Pesquisa em Educação em Ciências **2**, 75 (2000).
- F. Rezende, S. Souza Barros, A.M.A. Lopes e R.S. Araújo, Caderno Brasileiro de Ensino de Física **20**, 372 (2003).
- F. Rezende, A.M.A. Lopes e J.M. Egg, *Ciência & Educação* (no prelo) (2004).
- T. Ricci, *Teoria da Relatividade Especial*, editado pelo Instituto de Física da UFRGS, *Textos de Apoio ao Professor de Física* (Porto Alegre, 2000), n. 11.
- T. Ricci e F. Ostermann, *Uma Introdução Conceitual à Mecânica Quântica para Professores do Ensino Médio*, editado pelo Instituto de Física da UFRGS, *Textos de Apoio ao Professor de Física* (Porto Alegre, 2000), n. 14.
- L. Shulman, Harvard Educational Review **57**, 1 (1987).
- D. Schön, *Educando o Profissional Reflexivo* (Artes Médicas, Porto Alegre, 2000).
- M. Struchiner, F. Rezende, R.M.V. Ricciardi e M.A.P. Carvalho, Tecnologia Educacional **26**, 3 (1998).
- S.M. Arruda e D.O. Toginho Filho, Caderno Catarinense de Ensino de Física **8**, 232 (1991).
- E. de C. Valadares e A.M. Moreira, Caderno Catarinense de Ensino de Física **15**, 121 (1998).
- D.M. Vianna e R.S. Araújo, *Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, organizado por D.M. Vianna, L.O.Q. Peduzzi, O.N. Borges e R. Nardi (SBF, São Paulo, 2002).

Interferência da Luz:

Uma Versão Simplificada do Espelho de Lloyd

.....

Francisco Catelli

Universidade de Caxias do Sul,
Pontifícia Universidade Católica do RS
fcatelli@ucs.br

.....

Fernanda Lazzari

Universidade de Caxias do Sul,
Instituto de Educação Cenicista Angelo
Antonello, RS
flazzar3@ucs.br

.....

Descrição da Montagem

A simplicidade e eficiência desta montagem estão relacionadas à fonte de luz: um laser de diodo, destes usados como apontadores de transparências em sala de aula. Seu custo é muito baixo (da ordem de 5 reais) e suas características ópticas são perfeitas para esta aplicação. Quando a lente de colimação é retirada, sua luz intensa e monocromática apresenta-se fortemente divergente. O primeiro passo da montagem consiste então em retirar a ponteira do laser e, com a ajuda de um alicate, remover

O “espelho de Lloyd” é uma das formas possíveis para demonstrar a interferência da luz. Os resultados obtidos são empolgantes e é muito fácil verificar que as franjas observadas são devidas à interferência da luz oriunda dos dois feixes. Os alunos normalmente manifestam grande interesse e motivação pelo assunto

Quando à alimentação, se desejado, substitua as pilhas originais (pequenas e de durabilidade exígua) por uma alimentação externa. Sugerimos um soquete para três pilhas comuns, pequenas (1,5 V), com os terminais munidos de garras jacaré pequenas. Coloque as pilhas no soquete e conecte a garra jacaré correspondente ao pólo negativo

na pequena mola que está localizada no interior do laser. O pólo positivo é ligado em qualquer ponto da carcaça. Com esta alimentação, o laser poderá ser usado continuamente por um tempo muito longo.

A montagem proposta aqui é conhecida na literatura

como “espelho de Lloyd” (Hecht, 1987, p. 343-344), e propicia uma ocasião rara de ver em ação (simultaneamente!) a Óptica Geométrica e a Óptica Física. Com ela é possível visualizar franjas de interferência obtidas através de uma sobreposição de duas fontes: uma, real e a outra, sua

Uma das várias formas possíveis para demonstrar a interferência da luz é o conhecido “espelho de Lloyd”, o qual pode ser usado para ilustrar uma curiosa transição da óptica geométrica para a Óptica Física. Neste trabalho é descrita uma versão deste dispositivo de simples execução e de muito baixo custo. A fonte de luz é um laser de diodo sem a lente colimadora, e o espelho, uma lâmina de vidro comum. Os resultados obtidos são empolgantes: o contraste das franjas claras e escuras é surpreendente e, adicionalmente, é muito fácil verificar que as franjas observadas são devidas à interferência da luz oriunda dos dois feixes. Provavelmente, trata-se de uma das demonstrações diretas mais simples de interferência da luz. Adicionalmente, esta montagem oferece a vantagem de uma transição bastante natural da Óptica Geométrica para a Óptica Física: os alunos descobrem que as franjas de interferência resultam da sobreposição de duas fontes: uma real e a outra virtual. Nos testes feitos até o momento em sala de aula, os alunos manifestaram grande interesse e motivação pelo assunto.

com cuidado o plástico que retém a lente. Tente não danificá-la: ela poderá ser útil depois. Uma vez retirada a lente, a luz do laser será fortemente divergente, o que é adequado para as nossas necessidades. Para manter o laser ligado, use uma fita adesiva colada sobre a chave, ou um prendedor de roupa.

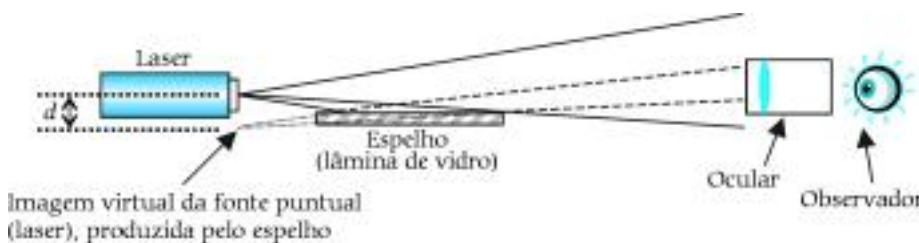


Figura 1. A ocular recebe parte da luz diretamente do laser (linhas cheias), e o restante é o reflexo na lâmina de vidro (linhas pontilhadas). O prolongamento dos raios refletidos no espelho forma a imagem virtual da fonte pontual do laser; d é a distância entre a imagem (virtual) e a fonte (real).



Figura 2. O laser, sem a lente colimadora, foi provido de uma alimentação externa (três pilhas AA). O “espelho” é uma lâmina de vidro, cuja borda foi revestida com uma tira estreita de fita isolante. Uma lente (ocular de 15 X ou a própria lente colimadora do laser) é colocada a 80 cm de distância, apontando para o laser.

imagem especular. Uma parcela da luz da fonte (o laser diodo adaptado como descrito acima) ilumina diretamente uma lente (falaremos dela mais adiante). A outra parcela também ilumina a lente, mas só após ter sido refletida por um espelho. Neste momento ocorre o que mais intriga os estudantes: a luz “interfere com seu reflexo” e as franjas aparecem, ampliadas pela lente (veja o esquema da montagem na figura e a foto de uma das montagens realizadas pelos autores na Fig. 2).

Há alguns detalhes da montagem que merecem uma explanação mais detalhada. Prepare o laser como sugerido acima. Providencie três pedaços de madeira (ou improvise com outros materiais) e prenda num deles o laser com fita adesiva. Prenda no outro pedaço de madeira o “espelho”: uma lâmina de vidro comum com dimensões aproximadas de 5 cm por 5 cm. Para uma melhor proteção na hora de manipular a lamina de vidro, envolva-a com fita isolante cobrindo as bordas, e recorte o excesso de fita com uma lâmina afiada, por exemplo, um estilete. O resultado pode ser visto na foto da Fig. 2. Se você estranhar o uso de um vidro transparente como espelho, lembre que, em incidências rasantes, praticamente toda a luz é refletida (Hecht, 1987, p. 103).

O terceiro pedaço de madeira servirá para fixar uma ocular de microscópio de 15 X, caso você tenha acesso a uma. Com ela, as franjas de interferência são vistas com extrema

facilidade e apresentam alto contraste, como na foto da Fig. 4. Caso a ocular não esteja disponível, é possível improvisar com a própria lente colimadora retirada do laser: as franjas podem ser distinguidas perfeitamente; porém, devido ao reduzido diâmetro da lente, a visualização não é tão confortável. Um suporte adequado para esta lente pode ser feito seguindo o desenho da Fig. 3.

A montagem é bastante simples e rápida: em primeiro lugar, ajuste o laser de modo que a mancha de luz, que lembra a forma de uma elipse bastante achatada, fique com seu eixo maior paralelo à superfície da mesa de apoio. Com isto, são evitados problemas de baixa visibilidade das franjas, devido à polarização do feixe de laser. Aponte em seguida o feixe divergente do laser da direção da lente ocular e, por fim, use a lâmina de vidro para direcionar a luz refletida também sobre a ocular. A lâmina de vidro deve ter seu plano colocado paralelamente ao laser, e bem próximo ao eixo deste. Veja novamente a Fig. 1 e a foto da Fig. 2 para maior clareza. Procure executar a montagem sobre uma mesa firme; apesar deste dispositivo ser pouco sensível às vibrações mecânicas, estas podem atrapalhar bastante no ambiente de sala de aula, onde há em geral bastante “tráfego” de pessoas.

Resultados

O maior proveito a ser retirado desta montagem é sem dúvida a



Figura 3. Caso uma lente ocular de 15 X não esteja disponível, a própria lente colimadora do laser de diodo pode ser usada. Um suporte como o da figura pode ser confeccionado em madeira. O orifício com a lente e o laser devem ser montados na mesma altura.

interferência da luz. Em sala de aula, exploramos a montagem da seguinte maneira: cada um dos alunos observou as franjas na ocular; imediatamente após vê-las, o feixe direto de luz foi obstruído (com um pedaço de papel), restando apenas o feixe refletido. O observador continua a ver luz, mas as franjas desaparecem. Uma vez retirado o papel, elas reaparecem. Obstruindo desta vez o feixe refletido (coloque o papel diretamente sobre a face do vidro), o observador vê a luz direta do laser, mas novamente as franjas desaparecem. A partir destas observações, o professor pode explorar as idéias de interferência de dois feixes de luz e o experimento de fenda dupla de Young, a partir de um modelo ondulatório da luz, o qual é de compreensão mais simples.

Uma vez explorado o conceito que leva à fenda dupla de Young (Hewitt, 2002, p. 498 e seguintes), é interessante variar a distância do espelho ao laser: quanto menor for esta distância, maior será o espaçamento entre as franjas. Isto se deve ao fato de que a distância (d na Fig. 1) entre a fonte real e sua imagem especular ter um comportamento em muitos aspectos semelhante ao das duas fendas do experimento de Young¹.

Conclusão

Esta montagem alternativa para o experimento do espelho de Lloyd,

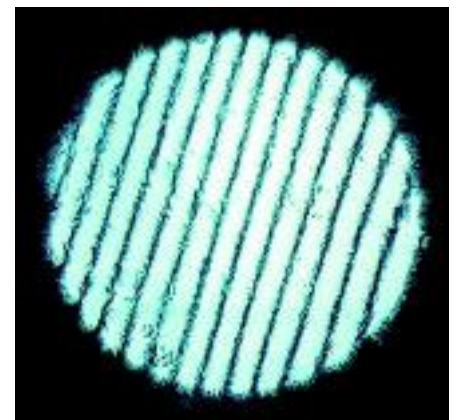


Figura 4. As franjas de interferência, observadas com uma ocular de 15 X. Uma câmara de microscópio foi acoplada à ocular, e a imagem (vista acima) foi fotografada diretamente do monitor (uma TV) com uma câmera digital.

além de ser de muito baixo custo – com aproximadamente R\$ 10,00, é possível adquirir todo o material necessário – pode ser facilmente executada. Há outras demonstrações de execução ainda mais simples (Mahoney, 2003, p. 250, ou Sawicki, 2001, p. 16), porém elas não possibilitam a obstrução alternada dos feixes que produzem a interferência da luz, o que as torna (do ponto de vista dos estudantes) menos convincentes.

A investigação deste “cruzamento” entre a Óptica Geométrica e a Óptica Física é um momento precioso para explorar a curiosidade e a motivação

dos alunos. Além disso, é um ótimo recurso para ser explorado em disciplinas introdutórias de cursos superiores de graduação de Física e de Engenharia.

Nota

¹O ângulo θ de afastamento entre dois máximos de interferência adjacentes é dado pela expressão

$$\theta = \text{arc sen } \lambda/d.$$

Para obter franjas de interferência mais afastadas umas das outras, deve-se reduzir a distância d entre as fontes (conforme Fig. 1). O comprimento de onda λ dos lasers de diodo

fica em torno de $0,64 \mu\text{m}$, mas pode variar de alguns poucos por cento de um laser para outro.

Bibliografia

- Eugene Hecht, *Optics* (Addison Wesley, Reading, Massachusetts, 1987), 2ª ed.
 Paul Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002), 9ª ed.
 James Mahoney. The Physics Teacher (secção “From Our Files”, editada por Thomas B. Greenslade) **41**, 250 (2003).
 Charles A. Sawicki, The Physics Teacher **16**, 16 (2001).

Desafios



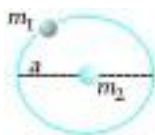
Problemas Olímpicos

Novos Problemas

1 O período T de uma lua de massa m_1 que descreve uma órbita elíptica cujo eixo maior vale a , ao redor de um planeta de massa m_2 , depende de m_1 , m_2 , a e G .

a) Determine a relação mais geral possível entre estas quantidades.

b) Como esse período se compara com o período T de um outro sistema cujas massas são $2m_1$, $2m_2$ mas de mesmo eixo maior?



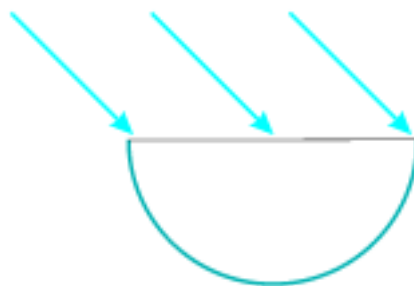
2 Um volume de 300 cm^3 de tolueno líquido a 0°C está em um béquer, enquanto uma outra quantidade de 110 cm^3 de tolueno a 100°C está em um outro béquer (o volume combinado é de 410 cm^3). Determine o volume total da mistura dos dois líquidos após serem misturados. Considere o coeficiente de expansão volumétrico $\beta = 0.001 \text{ C}^{-1}$, e

despreze qualquer outra forma de perda de calor.

*II Olimpíada Internacional de Física
Budapeste, Hungria, 1968*

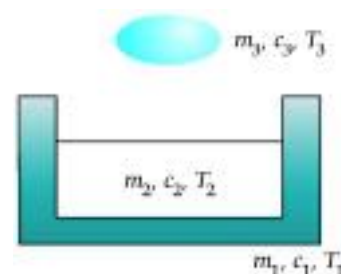
3 Um raio de luz paralelo incide sobre a superfície plana de um prisma semi-circular com ângulo de incidência de 45° . O raio sofre refração na superfície plana e atinge a superfície curva do prisma (veja figura). Se o índice de refração do prisma é $\sqrt{2}$, analise todos os raios que emergem da superfície curva.

*II Olimpíada Internacional de Física
Budapeste, Hungria, 1968*



4 Um calorímetro de cobre de massa m_1 contém uma massa m_2 de água. A temperatura do conjunto água e calorímetro é T_{12} . Um pedaço de gelo de massa m_3 e temperatura T_3 é colocado gentilmente dentro do calorímetro. Sabendo que as temperaturas são dadas em graus centígrados, que o calor latente do gelo vale $L \text{ kcal/kg}$ e que os calores específicos do calorímetro, da água e do gelo são respectivamente c_1 , c_2 e $c_3 \text{ kcal/kg.C}$, determine todas as temperaturas da mistura se T_3 for negativo.

*III Olimpíada Internacional de Física
Brno, Czechoslovakia, 1969*



Padrões de Interferência em um Tecido de Cortina



Atividades que buscam estimular a curiosidade dos alunos bem como sua participação em sala de aula são bem aceitas e podem proporcionar o despertar para o conhecimento científico. Se, além disso, tais atividades trouxerem consigo uma característica visual marcante que instigue os alunos a tentarem descobrir o mecanismo responsável pelo fenômeno apresentado, a relação ensino-aprendizagem pode se tornar bastante benéfica e proveitosa.

Um tecido tipicamente usado em cortinas para fins de decoração pode ser aproveitado em sala de aula para ilustrar qualitativamente o fenômeno de interferência. Este tecido branco, transparente e bastante fino conhecido como “voal” é facilmente encontrado em lojas de decoração ou em

lojas populares por um preço bastante acessível. Com o tecido esticado apenas é possível observar bem de perto pequeníssimos espaços entre os fios do tecido transparente. É possível estimar cerca de 20 desses espaços por centímetro. Até então, nada de novo. Um efeito surpreendente, para a grande maioria das pessoas, surge quando sobrepomos duas superfícies deste tecido. Imediatamente observam-se

Quando sobrepomos duas superfícies de “voal” observam-se vários padrões interessantes de faixas claras e escuras, que são conhecidos como padrões de Moiré

várias faixas claras e escuras sobre o tecido. Com o simples manusear das superfícies, vários padrões interessantes de faixas claras e escuras podem ser obtidos. Com uma

certa prática, é possível obter padrões horizontais, verticais e circulares aproximadamente regulares. Padrões de faixas claras e escuras altamente irregulares são os mais comuns e facilmente obtidos. A Fig. 1 ilustra

.....
Paulo Batista Ramos e Rogério Rodrigues de Souza
Fundação Educacional de Votuporanga, Centro Universitário de Votuporanga
pbatista@fev.edu.br
.....



Figura 1. Fotos ilustrando alguns padrões de interferência observados quando o tecido de cortina é dobrado.

Com a ajuda de um tecido utilizado em cortinas de decoração encontrado em lojas populares propomos a observação de vários padrões de interferência que podem ser visualizados com um simples manuseio do tecido.

alguns desses padrões. Em uma sala de aula, vale relatar primeiramente a surpresa do fenômeno em si e depois o espanto dos alunos ao perceber que esses padrões se alteram à medida que mudamos a forma como direcionamos nosso olhar para o tecido.

O surgimento das faixas claras e escuras no tecido, quando este é dobrado, está relacionado aos chamados padrões de Moiré. O termo Moiré se origina de uma palavra francesa cujo significado está relacionado ao efeito cintilante produzido por um certo tipo de seda. Este fenômeno ocorre quando dois ou mais padrões geométricos que se repetem são superpostos. Uma vez que esses padrões, quando superpostos, não se encaixam exatamente um sobre o outro, em certas regiões resulta um reforço e em outras um enfraquecimento dos padrões então existentes. Este efeito que não se encontra presente nos padrões originais, surge apenas do resultado da interferência entre esses padrões. É interessante observar a semelhança marcante existente entre os padrões de Moiré e os padrões de interferência encontrados em fenômenos ondulatórios (luz, som, etc.). De um modo geral, quando consideramos a interferência de duas ondas com frequências ligeiramente diferentes ocorre uma variação da amplitude do padrão da onda resultante. Esse fenômeno conhecido como batimento depende da diferença de “passo” ou da frequência dos padrões originais das ondas. A Fig. 2 ilustra o fenômeno de batimentos associado à interferência de dois padrões que se repetem. No caso do

tecido de cortina, o padrão de Moiré observado depende da diferença dos números de espaçamentos por unidade de comprimento das superfícies su-

É interessante observar a semelhança marcante existente entre os padrões de Moiré e os padrões de interferência encontrados em fenômenos ondulatórios

perpostas e da inclinação, para quem os observa, na qual esses padrões se cruzam. O aspecto visual observado dos padrões de faixas claras e escuras é o resultado da frequência de bati-

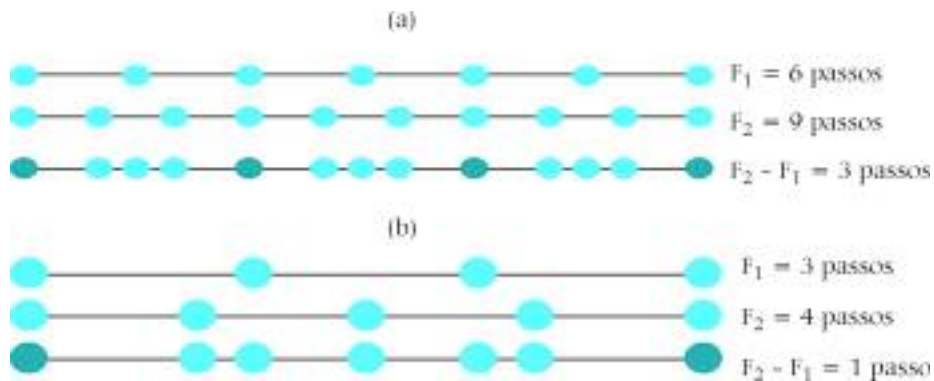


Figura 2. (a) interferência entre dois padrões com frequências de seis e nove passos por intervalo, respectivamente. Ocorre um reforço dos padrões com uma frequência de batimento igual a três passos por intervalo, representado por um cinza mais escuro. (b) interferência entre dois padrões com frequências de três e quatro passos por intervalo, respectivamente ocasionando assim uma frequência de batimento igual a um passo por intervalo.

mentos da interferência produzida pelas superfícies.

Atualmente existem várias aplicações tecnológicas associadas aos padrões de Moiré. É possível destacar o problema do surgimento desses padrões na impressão e na cópia de imagens a partir de um scanner, a sua aplicação na melhoria

da interferometria de aparelhos de raios X, telescópios e hologramas bem como no mapeamento de topografia de superfícies tridimensionais. No dia a dia a partir de um olhar cuidadoso padrões de Moiré podem ser observados em várias situações. Dentre as várias, é possível notá-los em uma estrada quando as grades laterais de um viaduto se superpõem. Em monitores de televisão e em visores

de câmeras digitais, quando um padrão repetitivo em certas situações se superpõe aos pixels do monitor. Em um laboratório de ensino de Física obser-

vando uma mola suspensa oscilar. Nas telas de certas antenas parabólicas ou em telas usadas em cultivo de orquídeas o mesmo fenômeno pode ser verificado. Em resumo, em qual-

quer situação onde ocorra uma superposição de padrões geométricos repetitivos, os padrões de interferência começam a surgir. Cabe ao olhar

curioso estar atento e descobrir novos padrões presentes no cotidiano.

Em uma sala de aula, algumas maneiras simples e conhecidas produzem padrões de Moiré

Os padrões de Moiré podem ser obtidos de outras maneiras bastante simples: com a ajuda de dois pentes pretos, quando se desliza um sobre o outro, ou ainda, com duas peneiras usadas normalmente em cozinha

que podem auxiliar na ilustração do fenômeno. Por exemplo, colocando duas transparências com o mesmo padrão geométrico sobre um retroprojetor e deslizando uma sobre a outra, padrões de Moiré são facilmente gerados. Uma alternativa interessante que pode ser realizada é fazer com que os alunos construam esses padrões geométricos num editor de texto usual e deslizem um padrão sobre o outro e notem o resultado obtido. No caso de padrões circulares concêntricos, a analogia com a interferência produzida por duas fendas ou mais fendas pode ser convenientemente explorada. Os padrões de Moiré também podem ser obtidos a partir de uma maneira bastante simples com a ajuda de dois pentes pretos, quando se desliza um sobre o outro, ou ainda, com duas peneiras usadas normalmente em cozinha. Na Fig. 3, apresentamos alguns desses padrões de

Moiré. Finalmente, diante da facilidade de manipulação do tecido e da riqueza e beleza dos padrões gerados acreditamos que uma atividade prática valio-

sa possa ser aproveitada em sala de aula para discutir um tema tão rico e pouco explorado. Além de se constituir em uma agradável experiência visual, a

observação detalhada desses padrões aliada ao conhecimento adquirido pode se tornar uma atividade bastante instigante.

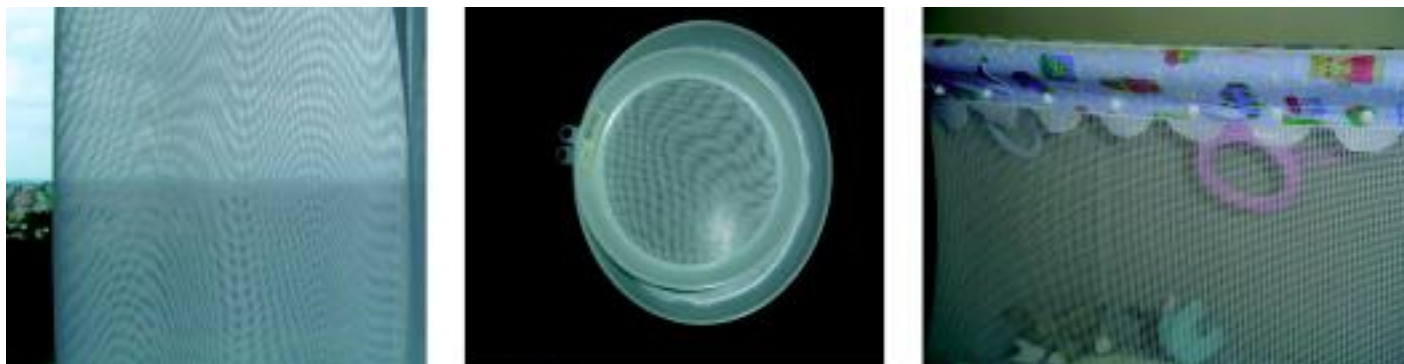


Figura 3. Fotos ilustrando alguns padrões de interferência observados no dia a dia.

Para saber mais

PG. Hewitt, *Física Conceitual* (Bookman, Porto Alegre, 2002), 9ª ed., p 354-356.

Na Internet

Sítio que traz várias sugestões de atividades que são versões reduzidas de algumas das mais populares demonstrações exibidas no museu de ciência Exploratorium: http://www.exploratorium.edu/snacks/moire_patterns.html.



• Se você é um apaixonado por Arquimedes, seus feitos nas mais variadas áreas, não deixe de visitar <http://www.math.nyu.edu/~crrres/Archimedes/contents.html>. Aí você pode ter a satisfação de conhecer as contribuições deste ícone à Matemática, à Física e à Engenharia.

• Mantido pelo Laboratório Na-

cional de Altos campos magnéticos (National High Magnetic Field Laboratory) da Universidade do Estado da Flórida em Tallahassee, este sítio contém micrografias de vários objetos. Além disso, explica como tais fotos são obtidas. São fotos curiosas, às vezes artísticas, tais como micro fotos da aspirina e do Tilenol, só para citar alguns, [http://micro.](http://micro.magnet.fsu.edu/micro/gallery.html)

magnet.fsu.edu/micro/gallery.html.

• Uma série de sites com animações de Applets simulam colisões tanto em uma como em duas dimensões. São muito legais, simples e interativos. Em alguns são introduzidos os coeficientes de restituição e considerados diferentes sistemas de referência e centro de massa. Nos casos bi-dimensionais, podemos variar os parâmetros de impacto e a direção de choque. São fáceis de usar, muito bem feitos e de grande utilidade na explicação destes fenômenos. Diferentes universidades têm disponibilizado estes Applets. Alguns deles são:
http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/Collision/applet.html;
<http://zebu.uoregon.edu/nsf/mo.html>;
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/collision1D/collision1D.html>;
<http://www.scar.utoronto.ca/~pat/fun/movies3d.html>.



A Física na Cozinha

Explorando Recipientes com Tampa Abre-Fácil

.....
Jorge Roberto Pimentel

Departamento de Física, UNESP, Rio
Claro, SP

pimentel@rc.unesp.br

.....
Paulo Yamamura

Fundunesp, São Paulo, SP

yamamura@fundunesp.unesp.br

Utilizando recipientes de vidro dotados de tampa do tipo abre-fácil, e que são empregados para acondicionar, por exemplo, patês, geléias e requeijão, é possível realizar interessantes experimentos envolvendo conceitos de Mecânica, temperatura, calor, comportamento térmico dos gases, mudança de fase e hidrostática, que normalmente são abordados no Ensino Médio.

A proposta tem o intuito de ilustrar como a “cozinha doméstica” pode contribuir para o entendimento e para a contextualização de conceitos e leis de Física, além de colaborar para despertar o senso de observação e o interesse científico no estudante.

Material

Deve-se utilizar um recipiente vazio, sua tampa metálica e o lacre plástico que se remove para abri-la. Por ser fechada à vácuo, a tampa é dotada de um anel de vedação. Ela não pode estar amassada, nem o anel danificado, pois a integridade de ambos é importante para o bom funcionamento dos experimentos. É importante notar que o lacre plástico possui um lado que se encaixa na depressão existente na tampa e veda o orifício existente. Em nosso caso, utilizamos um recipiente de vidro com volume interno de aproximadamente 150 cm^3 (Fig. 1).

Experimento 1: Produção de um Jato de Água

Procedimento

Para que o efeito seja bem pronunciado, deve-se encher completamente o recipiente com água. Em seguida, colocar cuidadosamente a



Figura 1. Material utilizado nos experimentos.

tampa e pressioná-la rápida e firmemente com os polegares (Fig. 2), verificando-se que um comprido jato de água sai pelo orifício. Por que isto acontece?

Explicação

A altura atingida pelo jato depen-



Figura 2. Jato produzido por uma leve compressão na tampa.

A contextualização das teorias em Física tem sido considerada cada vez mais importante no ensino. Muitas vezes os fenômenos ocorrem na nossa frente e não nos damos conta disso. O presente artigo mostra e explica alguns experimentos bastante interessantes que podem ser realizados com a utilização de material simples de cozinha.

de fundamentalmente dos seguintes fatores:

- da intensidade da força aplicada pelos polegares sobre a tampa e, por conseqüência, da pressão que é exercida sobre a água no recipiente, e

- da rapidez com que esta pressão é exercida.

Como a tampa se deforma e está totalmente em contato com a superfície do líquido, o Princípio de Pascal garante que a pressão adicional ΔP aplicada na tampa é transmitida para a água que deveria:

- diminuir o seu volume ou
- deformar ou romper o recipiente.

Porém, nenhuma destas duas hipóteses ocorre, principalmente em virtude da existência do orifício aberto na tampa por onde a água irá escoar em direção à região de menor pressão, no caso, para o exterior do recipiente, até que as pressões interna e externa se igualem.

A pressão adicional ΔP aplicada pela tampa sobre a água será igual à pressão com que o líquido atravessa o pequeno orifício (desprezando-se as perdas de energia devido, por exemplo, ao atrito existente quando o jato de água passa pelo orifício) e, dessa forma, pode-se avaliar a altura do jato que é obtido. Conforme representado na Fig. 3, a força que “empurra” a água para fora do recipiente através do orifício de área S é: $F = (\Delta P)S$.

Essa força “empurra” uma certa massa de água, Δm , numa área S e por uma distância Δx até que ela escape do recipiente. Aplicando o teorema do Trabalho-Energia nesta

operação, resulta a expressão $W = F \cdot \Delta x = \frac{1}{2} \Delta m \cdot (v_{\text{final}}^2 - v_{\text{inicial}}^2)$, onde v_{final} é a velocidade do jato ao sair do orifício e v_{inicial} sua velocidade no início do processo, que é nula, uma vez que todo o líquido está inicialmente em repouso.

Considerando ainda que:

- a massa de água Δm pode ser representada em função do seu volume (V) e da sua densidade (d) da forma: $\Delta m = d \cdot V = d \cdot S \cdot \Delta x$

- que v_{final} , em função da altura máxima (h_{max}) atingida pelo jato de água e da aceleração da gravidade pode ser expressa pela fórmula de Torricelli ($v_{\text{final}}^2 = 2gh_{\text{max}}$), o trabalho realizado e a variação da energia cinética do líquido estão interligados por meio da expressão: $F \cdot \Delta x = \frac{1}{2} \Delta m v_{\text{final}}^2$, que resulta em $\Delta P = \frac{1}{2} d \cdot v_{\text{final}}^2 = dgh_{\text{max}}$.

Isto significa, por exemplo, que se na tampa for aplicada uma diferença de pressão de um centésimo do valor da pressão atmosférica ($\Delta P = 0,10 \times 10^5$ Pa), o jato poderá atingir um metro de altura!

Experimento 2: Verificação da Atuação da Pressão Atmosférica 1

Procedimento

Deve-se colocar bastante água no recipiente e tampá-lo. Mantendo a tampa pressionada, o lacre plástico deve ser colocado corretamente no ressalto da tampa, para vedar o orifício. Feito isto, a tampa pode deixar de ser pressionada.

Observação: Se o recipiente estiver cheio de água, quando a tampa for colocada um pouco de água irá sair pelo orifício. Nesse

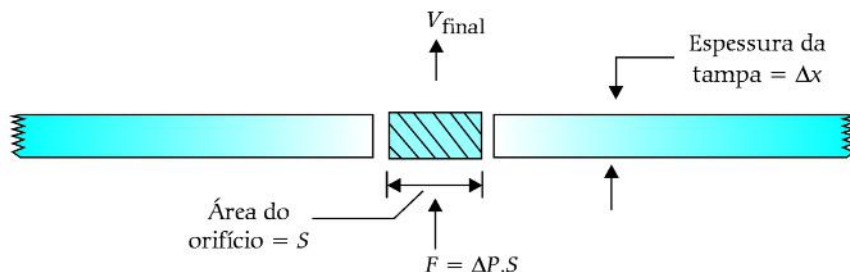


Figura 3. Força atuante no orifício da tampa.

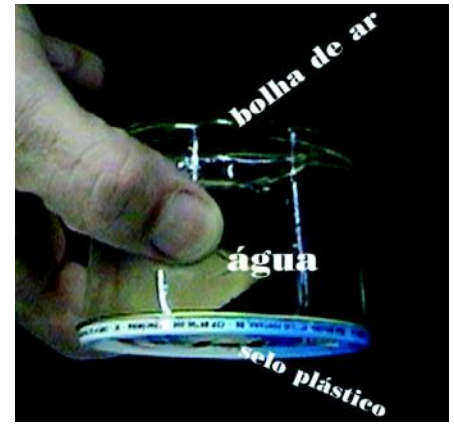


Figura 4. Conjunto com a tampa voltada para baixo.

caso, deve-se manter a tampa pressionada e retirar o excesso de água, antes do lacre ser posicionado.

Em seguida, o conjunto pode ser disposto com a tampa voltada para os lados e mesmo para baixo (Fig. 4), sem que a água caia. Mais surpreendente, ainda: o conjunto pode ser agitado em qualquer das posições anteriores e a tampa não se solta! Por que isto ocorre?

Explicação

Como a tampa é deformável, ao se colocar o lacre plástico e deixar de pressioná-la, ela tende a voltar ao formato inicial. Enquanto recupera seu formato, a tampa diminui a pressão interna no recipiente. De acordo com o Princípio de Pascal, essa diminuição de pressão se transmite pela água e pelo ar da bolha. Como o ar é mais compressível que a água, a diminuição de pressão acaba por refletir na bolha de ar. Ela expande e isso facilita ainda mais a tampa voltar ao seu formato original.

O resultado final é que a pressão interna do conjunto é ligeiramente menor do que a pressão atmosférica. A tampa metálica deformável atua como uma ventosa.

Considerando o valor da pressão atmosférica, ao nível do mar, como aproximadamente igual a 10^5 N/m² (ou 10 N/cm²), o valor da força necessária para retirar a tampa do conjunto pode ser avaliado da seguinte forma: o recipiente utilizado

tem área circular interna aproximada de 38 cm². Se a pressão interna for diminuída de 1 atm, a força necessária para vencer a diferença de pressão atuante, e retirar a tampa, será de 380 N. Admitindo que a pressão interna tenha diminuído somente uma ducentésima parte (1/200) da pressão atmosférica, a força necessária para retirar a tampa seria de 1,9 N.

Uma vez que o volume aproximado do recipiente é de 150 cm³, quando ele estiver cheio de água, e totalmente voltado para baixo, sobre a tampa atuará uma força peso de 1,5 N (desprezando-se o peso da própria tampa), valor insuficiente para vencer a diferença de pressão. Dessa análise, verifica-se que mesmo uma diminuição pequena na pressão interna implica num valor razoável da força necessária para retirar a tampa, o que explica o resultado observado.

Experimento 3: Verificação da Atuação da Pressão Atmosférica 2

Procedimento

Outra maneira de verificar a atuação da pressão atmosférica é realizar o seguinte procedimento:

- aquecer um volume de água suficiente para colocar no recipiente.
- encher o recipiente quase completamente, de modo que fique um pequeno volume de ar (isso vai evitar que no momento em que a tampa for colocada haja vazamento de água, além de facilitar a obtenção do efeito final desejado com o experimento).
- encaixar corretamente o lacre de vedação na tampa.
- colocar a tampa e deixar o conjunto esfriar (para que o anel de vedação assente corretamente enquanto estiver esfriando, pode-se colocar um objeto pesado sobre a tampa, como por exemplo um livro).

Quando o recipiente estiver frio, tentar retirar a tampa, puxando-a com a mão. Ela não se solta! Virar

o recipiente com a tampa para baixo e agitá-lo. Ainda assim, a tampa não se solta! Por que isto acontece?

Explicação

O resfriamento do conjunto faz com que a água, a bolha de ar e o vidro estejam sujeitos a uma contração volumétrica (ΔV), em conformidade com a conhecida expressão: $\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$, onde γ representa o coeficiente de dilatação volumétrica do material, V_0 seu volume inicial e ΔT sua variação de temperatura. Agora,

- como os coeficientes de dilatação volumétrica do vidro e da água são pequenos em relação ao do ar, a variação de temperatura não é muito elevada;
- como o recipiente se encontra fechado, o volume da massa de ar é mantido praticamente constante e o processo pode ser aproximado como sendo uma transformação isovolumétrica,

Então, admitindo que o ar obedece a equação de estado de um gás ideal, a seguinte igualdade é válida: $(PV/T)_{\text{inicial}} = (PV/T)_{\text{final}}$ e dela deduz-se que a pressão final da bolha de ar deve diminuir durante o resfriamento.

Além disso, à medida em que o conjunto esfria, o vapor de água presente na bolha de ar se condensa. De acordo com o diagrama de fase para a água, essa mudança em seu estado físico diminui a pressão da bolha. Quanto mais quente estiver a água utilizada, maior a temperatura do vapor e maior será a diminuição de pressão experimentada pela bolha de ar.

Dessa forma, é a diminuição da pressão na bolha de ar, devido ao efeito combinado de uma transformação isovolumétrica e da condensação de vapor de água em seu interior, que provoca a diferença de pressão e torna difícil retirar a

tampa do recipiente.

Mais uma sugestão

Uma variação interessante desse experimento, e que permite constatar a importância da diminuição de pressão ocasionada pela condensação do vapor de água, consiste em colocar água bem quente no recipiente e, em seguida, jogá-la fora. Na sequência, colocar a tampa com o lacre e sobre ela um objeto pesado, para mantê-la na posição correta enquanto o conjunto esfria.

Nessa situação, a temperatura do vapor de água aprisionado no recipiente será alta. A diminuição da pressão interna, provocada por seu

resfriamento e condensação será significativa. Quando o conjunto estiver frio, a diferença de pressão atuante será suficiente para comprimir a tampa para baixo, impedindo que seja

retirada com facilidade.

Na linha de produção das indústrias, a tampa é colocada depois da parte superior da embalagem ter sido aquecida (geralmente usando vapor à temperatura próxima de 80 °C). Após seu resfriamento, se obtém o valor mínimo de pressão interna exigido pela legislação e se consegue uma diferença de pressão suficiente para manter a tampa presa por longo tempo, mesmo com a manipulação das embalagens.

Se corretamente realizados, os experimentos mostram que mesmo uma diminuição relativamente pequena na pressão interna das tampas dos recipientes abre-fácil implica em um valor razoável da força necessária para destampá-los

Bibliografia

- A. Gaspar, *Física* (Ática, São Paulo, 2000).
 A. Maximo e B.A. Alvares, *Física* (Scipione, São Paulo, 1997).
 H.M. Nussenzeig, *Curso de Física Básica* (Edgard Blücher, São Paulo, 1986).
 P.T. Ueno, *Física no Cotidiano* (Didacta, São Paulo, 2004).

Na Internet

- www.cfn.org.br
www.embalagemmarca.com.br
www.rojek.com.br



Olimpíadas de FÍSICA

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

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

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

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

OBF na festa de Einstein

Estudantes, campeões da OBF e OlbF, e o presidente da comissão organizadora mostram suas opiniões em assuntos sugestivos para o “Ano Mundial da Física”

Em 2005, todas as sociedades de Física do mundo se mobilizarão para celebrar os 100 anos dos trabalhos fundamentais de Albert Einstein acerca da teoria da relatividade especial, do conceito do fóton, e da teoria do movimento browniano. No programa, constam diversas iniciativas que visam a popularizar as idéias desse célebre cientista. A data, decretada pela ONU, possibilitará também a ampla divulgação da Física principalmente entre os jovens e adicionará às olimpíadas, organizadas pela SBF, um estímulo maior.

Um outro incentivo para as competições do próximo ano é o resultado da Olimpíada Ibero-americana - 2004, sediada em Salvador. Entre 70 estudantes do Ensino Médio, oriundos de 18 países latino-americanos, além de Portugal e Espanha, a equipe brasileira liderou, somando 2 medalhas de ouro, 1 de prata e 1 de bronze.

O presidente da Comissão da Olimpíada Brasileira de Física (OBF) e da Comissão da Olimpíada Ibero-americana de Física (OlbF), professor José David Vianna, destaca essa performance. “Isso nos faz notar a importância da OBF, através da qual nossos estudantes foram selecionados e

preparados”.

Motivado pelo “desafio”, o goiano, Guilherme Salerno foi um dos alunos premiados com a medalha de ouro na OlbF. “Desde o começo, acho que nunca houve um motivo maior do que esse” reforça Salerno. Ele comenta que começou a gostar de Física pela sua semelhança com a Matemática, mas suas preferências mudaram. “Hoje, admito que não são os cálculos que mais me atraem e sim uma espécie de filosofia ou pensamento que a envolve”.

Outro brasileiro, gratificado com a medalha de ouro, foi o paulista Ricardo Gorgol. “Os professores foram fundamentais nesse processo, pois além de darem a base teórica, fazem a Física parecer mais interessante do que já é, dando mais vontade de estudar” enfatiza o estudante.

Salerno e Gorgol viajarão para França, onde representarão o Brasil na abertura oficial do

Ano Mundial da Física, que ocorrerá de 13 a 15 de janeiro na sede da Unesco em Paris.

O Ensino em Debate

Além de despertar o interesse dos jovens para a Física, as olimpíadas visam contribuir para a melhoria do ensino. “Em longo prazo, esses eventos, tanto a OBF como a OlbF, podem trazer informações de interesse para o ensino e aprendizagem da Física uma vez que as provas, se bem formuladas e analisadas, podem auxiliar na detecção de dificuldades encontra-

Hoje, admito que não são os cálculos que mais me atraem (na Física) e sim uma espécie de filosofia ou pensamento que a envolve

**Guilherme Salerno,
medalha de ouro/OlbF 2004**



Campeões da Olimpíada Ibero-americana 2004: da direita para a esquerda, Ricardo Gorgol, Guilherme Salerno, Vander Martins e Jefferson Tsai.

das pelos estudantes” explica o presidente da comissão organizadora, José David Vianna.

O professor aponta o “Simpósio sobre Ensino da Física”, que ocorre paralelamente à Olimpíada Ibero-americana de Física, como uma contribuição prática dessas competições para a melhoria da educação. Para ele, a participação de especialistas nesses eventos é fundamental. “Um ponto a notar é que os efeitos dessas iniciativas serão mais abrangentes, na medida que a comunidade de pesquisadores da área de ensino no Brasil participe dos eventos. O que ainda não ocorre”.

Os estudantes tocam na polêmica apresentando diferentes pontos de vistas. Para Ricardo Gorgol, o ensino de Física no País tem muito potencial. “Embora ainda esteja engatinhando, se comparado com países mais desenvolvidos. Mas, se a olimpíada continuar crescendo, com certeza teremos um ensino cada vez melhor” acrescenta.

Salerno faz uma ressalva. “Assim como a educação em geral, o ensino de Física no Brasil é deficitário, principalmente pela falta de estímulo aos professores, com poucas condições de trabalho e especialização. Isso é o que vejo na rede pública, pois na rede privada, onde estudo, a realidade é razoavelmente melhor, mesmo com os professores ainda sendo um pouco desvalorizados” pondera.

Vianna traça um panorama que complementa as observações de Salerno. “De acordo com estatísticas recentes, faltam muitos (milhares) de professores de Física para o Ensino Médio. Em geral, a remuneração desses professores é baixa, as escolas não dispõem de laboratórios para as sessões experimentais e o número de aulas, principalmente nas escolas públicas, é pequeno” analisa o professor.

Nesse contexto, ele comenta a necessidade da SBF, através de sua Comissão de Ensino, atuar com uma

maior dedicação para reverter esse quadro que, segundo Vianna, resulta “numa baixa motivação nos estudantes do Ensino Médio em seguirem a carreira de físico”.

Para gerar essa motivação, o professor acredita que a olimpíada possa colaborar. “Acompanhada de políticas que visem à mudança da situação e, apoiada pela comunidade de pesquisadores da área de ensino, a OBF certamente será de valor para auxiliar na modificação desse quadro”.

Projetos e Agradecimentos

Em virtude do “Ano Mundial da Física”, a Comissão da OBF está preparando uma atividade batizada como “Desafios da Física”. O sítio da OBF irá divulgar maiores informações, mas é possível adiantar que será uma competição disputada em equipe.

Outro projeto, planejado pela comissão organizadora da IX edição da OIBF, é a elaboração de um CD com o resumo das atividades, as provas, as fotos e uma síntese das apresentações dos professores que participaram do Simpósio sobre o Ensino da Física, realizado no evento.

Ainda sobre a Olimpíada Ibero-americana, o professor David Vianna faz questão de agradecer aos colaboradores. “A programação da OIBF contou com palestras, demonstrações de experimentos e atividades culturais que não aconteceriam sem o apoio dos professores da UFBA, Maria das Graças Martins, Fritz Gutmann, Silvio Loureiro, Hebe Queiroz, Nelson Pretto e Frederico Prudente. Dedico um agradecimento especial à direção do Instituto de Física da UFBA, aos professores, Arthur Matos Neto e Raimundo Muniz, e aos secretários, Conceição Santos e Nelson Dumienne”.

Para maiores informações visite a página
www.sbf1.sbfisica.org.br/oibf2004



Três interações da natureza, a forte, a fraca e a eletromagnética, são descritas por uma teoria chamada de Modelo Padrão (MP), desenvolvido ao longo das últimas quatro décadas. A quarta interação, a gravitacional, é descrita pela Teoria da Relatividade Geral formulada por Albert Einstein em 1915. Uma característica das interações eletromagnéticas e gravitacionais, que não é compartilhada pelas outras duas, é que são de longo alcance. Isso significa que elas são “sentidas” a qualquer distância das fontes: a carga elétrica na primeira e a massa, a energia e a pressão na segunda. Mas, quanto mais longe das fontes, menor o seu efeito. Isso é consequência da bem conhecida lei do inverso do quadrado dos respectivos potenciais.

Os “blocos fundamentais” com os quais se constrói o MP são os quarks e os léptons. Essas partículas foram descobertas, ao longo das últimas décadas, em diversos laboratórios do mundo. Os primeiros quarks, **u** (*up*), **d** (*down*) e **s** (*strange*) foram propostos no começo dos anos 60 para classificar os hádrons

observados experimentalmente (o próton e o nêutron são os mais conhecidos, mas há centenas deles). Contudo, no fim dessa década, experimentos no acelerador de Stanford, nos Estados Unidos, onde elétrons de alta energia eram espalhados por prótons, indicavam que estes eram constituídos por objetos puntiformes e “quase” livres, ou seja, não interagiam entre si como o fazem as partículas com cargas

Quarks foram propostos no começo dos anos 60 para classificar os hádrons observados experimentalmente. Contudo, no fim dessa década, experimentos indicavam que estes eram constituídos por objetos puntiformes e “quase” livres, ou seja, não interagiam entre si como o fazem as partículas com cargas elétricas ou objetos com massa

elétricas ou objetos com massa. Esse comportamento tinha sido previsto por J.D. Bjorken, e R. Feynman chamou esses objetos de partons. Os físicos experimentais J.I. Friedman, H.W. Kendall e R.E. Taylor ganharam o prêmio Nobel de Física de 1990 por esta descoberta.

Nos anos seguintes tornou-se claro que alguns partons eram os quarks, mas que havia outros como, por exemplo, os glúons (as partículas mediadoras da interação forte).

Assim, começava a se vislumbrar o fato de que os prótons, nêutrons e todos os outros hádrons são compostos principalmente de quarks e glúons. Por outro lado, os léptons, como o elétron, não têm estrutura e não sentem a interação

.....
Vicente Pleitez
 Instituto de Física Teórica/UNESP

Corria a década de 1960, e, de repente, as notícias a respeito de novas partículas tornouse tão parte do cotidiano que os jornais estranhavam a falta da descoberta de uma partícula diferente em uma dada semana. Deste então a proposta da existência de quarks já era seriamente considerada pelos cientistas, mas uma questão permeceu por décadas: por que léptons não sentiam a interação forte? A resposta a essa questão foi esclarecida pela descoberta da liberdade assintótica e rendeu a seus propositores o Prêmio Nobel de Física de 2004.

forte. Para se chegar a essa conclusão foi muito importante a descoberta da *liberdade assintótica* por David J. Gross da Universidade de Princeton, e seu então estudante de doutorado Frank Wilczek e, independentemente, por H. David Politzer da Universidade de Harvard. Por isso, os três compartilharam o prêmio Nobel de Física de 2004. Esta propriedade, aparentemente contraditória,

Se medimos a carga do elétron longe dele (o que faz a maioria dos físicos e engenheiros) a carga tem um valor, que é aquele citado nos livros. Mas se medimos a carga do elétron “bem perto dele” medimos um valor maior

estabelece que quanto mais próximos os quarks estão uns dos outros, mais fraca é a força entre eles. Quando estão extremamente próximos comportam-se como partículas livres (daí a expressão *liberdade assintótica*).

A baixas energias típicas da Física Atômica (keV)¹ e Nuclear (MeV), a interação eletromagnética é descrita de maneira muito precisa pela Eletrodinâmica Quântica ou QED pela sigla em inglês. Esta teoria descreve a interação dos fótons com as partículas eletricamente carregadas, como o elétron. A intensidade desta interação é caracterizada pelo valor da carga elétrica elementar do elétron: $-e$, ou a do próton $+e$. A carga elétrica, portanto, determina quão forte é essa interação, e é definida como a constante de acoplamento da QED. Desde os anos 30, sabia-se que quando se realizavam cálculos mais precisos de seções de choque de espalhamento entre partículas carregadas, obtinham-se resultados inconsistentes: infinitos! Os problemas principais apareciam quando a energia era muito alta, que corresponde, segundo as leis da Física Quântica, a distâncias pequenas. Uma boa teoria deveria produzir resultados numéricos, de maneira a comparar com os dados experimentais. Esse problema foi resolvido em 1949 quando um procedimento chamado de

renormalização foi proposto. Segundo este esquema, re-definindo apropriadamente alguns parâmetros, como a carga e a massa do elétron, é possível obter resultados finitos que coincidem com grande

precisão com os resultados experimentais. O preço a pagar é que a carga e a massa “renormalizadas” são agora parâmetros livres, que devem ser determinados experi-

mentalmente. A altas energias, ou pequenas distâncias, a massa do elétron pode ser desprezada. Isso pareceria indicar que nessa situação a teoria não teria nenhuma escala de massa ou energia. Contudo, o formalismo da renormalização implica a necessidade de introduzir uma escala de energia arbitrária, isto é, o seu valor não importa do ponto de vista físico. Isso quer dizer que o cálculo não deve depender da escolha que se faça para essa escala de energia. Matematicamente, essa invariância sob a escolha dessa escala de energia é descrita pela chamada *equação do grupo de renormalização* introduzida em 1953 por A. Petermann e E. Stückelberg e também, em 1954, pelos físicos Murray Gell-Mann e Francis Low.

Que consequências têm tudo isso? Bom, acontece que aparece uma dependência do valor da carga elétrica com a distância ou, o que é o mesmo, com a energia. Lembremos que no sistema de unidades internacional (SI), a carga do elétron tem o valor $|e| \approx 1.602 \times 10^{-19}$ C. No entanto, já no fim dos anos 40, alguns físicos, tinham mostrado que efeitos de natureza quântica e relativística provocam o cresci-

mento do valor desta carga quando se aumentava a energia, ou equivalentemente, a distância, de onde medimos a carga, era encurtada. Por exemplo, definindo a chamada *constante de estrutura fina*, α , (em unidades apropriadas com $h/2\pi = c = 1$) como

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi'} \quad (1)$$

obtem-se um valor experimental aproximado de 1/137 que é consistente com o valor da carga elétrica, e , mencionado acima. Contudo, esse valor corresponde a distâncias grandes (baixas energias) típicas da maioria dos fenômenos físicos macroscópicos, como os encontrados nos aparelhos eletrodomésticos, dispositivos opto-eletrônicos etc. No entanto, para distâncias tão pequenas como aquelas atingidas na colisão de elétrons e pósitrons (a antipartícula do elétron), o valor de α encontra-se próximo de 1/128, diferente do valor acima. Basicamente, isso quer dizer que se medimos a carga do elétron longe dele (o que faz a maioria dos físicos e engenheiros) a carga tem um valor, que é aquele citado nos livros. Mas se medimos a carga do elétron “bem perto dele” medimos um valor maior.

No início dos anos 70, alguns físicos conheciam uma classe de teorias em que era possível definir uma carga equiva-

lente àquela da teoria QED, que ao contrário da carga elétrica, diminuiria com a distância. Foram, no entanto, os ganhadores do Nobel deste ano que criaram uma teoria deste tipo, a Cromodinâmica Quântica (QCD na sigla em inglês), que descreve a interação entre quarks e glúons, responsável por manter estas partículas confinadas no interior dos hádrons. Esta teoria

Quanto mais próximos os quarks estão uns dos outros, mais fraca é a força entre eles. Quando estão extremamente próximos comportam-se como partículas livres (daí a expressão liberdade assintótica)

pressupõe que os quarks e glúons possuam uma carga de cor (na ausência de outra nomenclatura). Daí o nome de interação colorida.

Podemos definir neste caso um parâmetro g_s , onde o índice indica o tipo de força considerada, no caso *strong* (forte), similar à carga

elétrica, e uma constante adimensional α_s , correspondente à da QED definida na Eq. (1), como

$$\alpha_s = \frac{g_s^2}{4\pi} \quad (2)$$

Se a uma energia baixa, por exemplo, alguns MeV, α_s tem um valor grande, e nesse caso não podemos usar o mesmo método da QED, ou seja, cálculos perturbativos, mas numa energia maior, da ordem de GeV, típica de grandes aceleradores, o valor de α_s é bem menor. Na Fig. 1, apresentamos valores experimentais de α_s , definida na Eq. (2), em função da energia que coincidem com a previsão da QCD. Essa é a essência da liberdade assintótica: a interação forte é realmente forte - a baixas energias, tornando-se menos intensa, ou mais "fraca" a altas energias. A característica chave da QCD que a diferencia da QED é que os glúons interagem entre si. Isso não acontece no caso da interação eletromagnética porque os fótons, os mediadores da interação, são neutros e, portanto não "vêm" uns aos outros. É justamente a interação entre os glúons que propicia um comportamento da QCD em oposição à QED para grandes energias.

Foi a descoberta da liberdade assintótica que tornou possível a con-

A descoberta da liberdade assintótica que levou a se propor as Teorias de Grande Unificação, nas quais as três interações, forte, fraca e eletromagnética seriam descritas por uma mesma teoria com apenas uma constante de acoplamento

Foi a descoberta da liberdade assintótica que tornou possível a confirmação experimental da QCD como a teoria que descreve as interações entre quarks e glúons e que é responsável pela ligação destes nos hádrons

firmação experimental da QCD como a teoria que descreve as interações entre quarks e glúons e

que é responsável pela ligação destes nos hádrons. A baixas energias, onde essas interações são fortes, o estudo dos processos envolvidos ainda é pesquisa de fronteira da Física Nuclear e das

partículas elementares. Uma propriedade complementar à liberdade assintótica é o *confinamento* dos quarks e glúons. Eles nunca foram observados isoladamente e supõe-se que, como a baixas energias a interação colorida é muito intensa, o que levaria ao confinamento de quarks e glúons. Até o presente, não existe prova rigorosa do confinamento.

Finalmente, devemos mencionar que foi a descoberta da liberdade assintótica que levou a se propor as *Teorias de Grande Unificação*, nas quais as três interações, forte, fraca e eletromagnética seriam descritas por uma mesma teoria com apenas uma constante de acoplamento. Na Fig. 2, pode-se apreciar a evolução da constante de acoplamento. Ela diminui no caso da interação forte

(liberdade assintótica) enquanto que aumenta para a interação fraca e eletromagnética. Esse comportamento permitiria estimar a energia onde as três constantes seriam iguais. Até o momento não se conhece qual seria essa teoria "unificada" mas existem várias candidatas. Confirmar qual delas é a correta é uma tarefa para os físicos nas próximas décadas.

Nota

1eV (elétron-Volt) é a importante

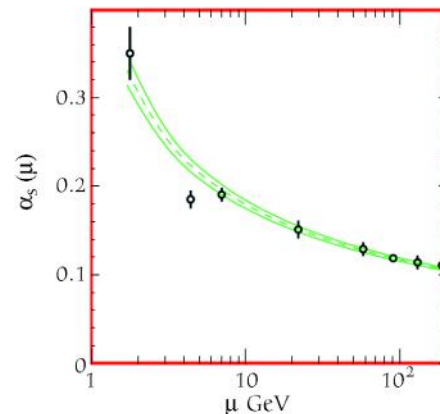


Figura 1. Comportamento da constante de acoplamento α_s em função da energia. Os pontos correspondem aos resultados experimentais e as linhas aos valores previstos pela QCD (Fonte: <http://pdg.lbl.gov/2004/reviews/qcdrpp.pdf>).

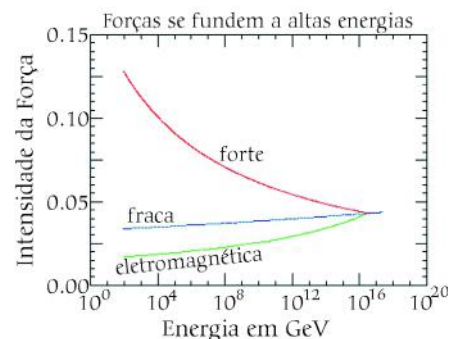


Figura 2. Comportamento esperado das constantes de acoplamento das três interações em função da energia (Fonte: <http://www.aventuradaparticulas.ift.unesp.br/frames.html>).

unidade de energia da Física Atômica. Corresponde à energia adquirida por um elétron ao atravessar uma diferença de potencial de 1 Volt ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$, $1 \text{ keV} = 1000 \text{ eV}$, $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$).

Sugestões para leitura

- M.A. Moreira, *Partículas e Interações*, este número.
 - F. Ostermann e C. Cavalcanti, *FnE* v. 2, n. 1, maio (2001)
 - M.J.G. Veltman, *Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics* (World Scientific, Singapore, 2003).
- A página no Museu eletrônico Nobel <http://nobelprize.org/index.html> contém detalhes de todos os prêmios Nobel. Vale a pena a consulta regularmente.



Notas da HISTÓRIA DA FÍSICA no Brasil

Theodoro Ramos e os primórdios da Física Moderna no Brasil

Em 1923, um jovem engenheiro e matemático, de apenas 28 anos, realizou a primeira pesquisa sobre a Relatividade Geral e a Teoria Quântica no Brasil. Esse personagem, Theodoro Ramos, daria depois importantes contribuições para o desenvolvimento da Ciência no Brasil, tendo sido o primeiro diretor da Faculdade de Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP criada em 1934. Para entender melhor o contexto no qual se situa o trabalho de Theodoro vamos rememorar, de forma breve, a situação da Física no início do século XX.

Em 1911, Ernst Rutherford, para explicar o comportamento de partículas alfa, espalhadas ao incidirem em placas finas de ouro, propôs um modelo para o átomo no qual os elétrons circundam um pequeno núcleo de carga positiva. Baseado nele, dois anos depois, Niels Bohr introduziu a idéia da quantização das órbitas eletrônicas. O sucesso desse modelo atômico configurou-se na descrição precisa das linhas do espectro do hidrogênio atômico e na comprovação experimental da existência de estados atômicos discretos (Frank e Hertz, 1914). De acordo com a teoria de Bohr, as frequências das linhas espectrais do hidrogênio eram dadas pela fórmula:

$$\nu_{nm} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

na qual $R = 2\pi^2 m_0 e^4 / ch^3$ (m_0 , e , h e c são respectivamente a massa e carga

do elétron, a constante de Planck e a velocidade da luz) e $m, n = 1, 2, 3, \dots$, com $n > m$. Em 1915, Arnold Sommerfeld, e de forma independente William Wilson, introduziu as regras gerais de quantização. Elas estabeleciam quais grandezas físicas seriam quantizadas em um sistema periódico, como, por exemplo, a energia e o momento angular, cristalizando o que se convencionou chamar posteriormente de 'Velha Teoria Quântica'.

Já em 1887, Michelson e Morley haviam descoberto que a chamada linha H_α (correspondente à transição $n = 3 \rightarrow n = 2$ na linguagem de hoje) do espectro do hidrogênio apresentava uma estrutura interna, pois apareciam duas linhas muito próximas. Naquela época, este fato não tinha despertado muito interesse, pois ainda não existia nenhuma explicação quantitativa para as linhas do espectro. Usando as regras de quantização, Sommerfeld obteve o mesmo resultado de Bohr ($E_n = -Rhc/n^2$, em que n é o número quântico principal), mas os estados eram degenerados, isto é, para um dado n , havia várias órbitas diferentes que eram especificadas pelo momento angular quantizado $L = hk/2\pi$, com $k = 1, 2, \dots, n$. Ele utilizou, então, a Teoria da Relatividade Restrita de

Einstein - através da fórmula $m = m_0/(1-v^2/c^2)^{1/2}$ para a massa do elétron - e , para o átomo com um núcleo de carga Ze , obteve:

$$E_{nk} = -\frac{RhcZ^2}{n^2} \left[1 + \frac{\alpha^2 Z^2}{n^2} \left(\frac{n}{k} - \frac{3}{4} \right) \right],$$

na qual $\alpha = 2\pi e^2/hc$ é a constante de estrutura fina. A transição entre os estados quânticos (2,2) e (2,1) estava caracterizada pelo número de onda $\kappa = 1/\lambda = R^2 \alpha^2 Z^4 / 2^4 = 0,365 \text{ cm}^{-1}$ (para $Z = 1$).

Este resultado foi comprovado por Frederick Paschen, em 1916, que utilizou hélio ionizado no experimento, e considerado uma vitória para a

quantização dos níveis de energia e para a teoria da relatividade restrita. No mesmo ano, em carta para Sommerfeld, Einstein manifestou grande entusiasmo: "Sua pesquisa sobre os espectros está entre as mais belas investigações em Física.

Theodoro Ramos, em 1923, com apenas 28 anos, realizou a primeira pesquisa sobre a Relatividade Geral e a Teoria Quântica no Brasil. Se tivesse submetido seu trabalho a uma revista com penetração internacional, ele seria citado hoje nos textos que tratam da história da Física Moderna

Somente através dela as idéias de Bohr tornaram-se convincentes". No entanto, nem todos os pesquisadores obtinham os mesmos resultados nas suas medidas, pois o efeito era pequeno e havia fatores externos que perturbavam a experiência, como o alargamento devido ao efeito Doppler e o uso de descargas elétricas que

afetavam os níveis de energia. Os opositores da Teoria da Relatividade argumentavam também que o resultado não poderia ser visto como uma confirmação da validade geral da teoria, uma vez que apenas a relação da dependência da massa com a velocidade da partícula fora usada na dedução do resultado.

O surgimento da Teoria da Relatividade Geral, no final de 1915, veio introduzir outro motivo para as discussões e debates entre os opositores e os defensores da Teoria da Relatividade e da Teoria

Quântica. De fato, Relatividade Geral permitiu calcular corretamente a precessão do eixo da órbita de Mercúrio; no entanto, os cálculos realizados usando-se apenas a Teoria Restrita se mostram incorretos por um fator $1/6$. Além disso, a Relatividade Geral alcançou enorme sucesso após a comprovação da deflexão da luz pelo Sol, em 1919, conforme previsto por Einstein. Alguns cientistas passaram a debater sobre a necessidade ou não de se utilizar a Teoria da Relatividade Geral para o sistema atômico, alegando que este é, em muitos aspectos, similar ao modelo planetário. Surge então o problema de se analisar o espectro do átomo de hidrogênio partindo-se diretamente da Teoria da Relatividade Geral.

O trabalho que Theodoro desenvolve em 1923 visou abordar exatamente este problema. Ele recebeu o título *A theoria da Relatividade e as Raias Spectraes do Hydrogenio*, tendo sido apresentado na sessão da Academia Brasileira de Ciências de novembro de 1923 e publicado na *Revista Polytechnica* (n. 74, p. 181-188, set./dez. 1923). O artigo viria a ser reproduzido no primeiro número dos Anais da Academia em 1929 (v. 1, p. 20-27) quando o assunto já estava superado. Em linhas gerais (os detalhes serão publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física), Theodoro Ramos usou a regra da quantização de

Em 1923, Theodoro apresenta na Academia Brasileira de Ciências seu trabalho *A theoria da Relatividade e as Raias Spectraes do Hydrogenio*. Mas o artigo somente viria a ser impresso no primeiro número dos Anais da Academia em 1929, quando o assunto já estava superado

Sommerfeld para um sistema formado por um elétron em órbita em torno do núcleo, ligado à ele pela força de Coulomb, e verificou a influência da curvatura do espaço-tempo sobre o sistema. Ele reproduziu o resultado anterior de Sommerfeld para as frequências das transições eletrônicas

e encontrou as contribuições, muito pequenas, provenientes da Relatividade Geral. Concluiu: "Paschen em suas experiências achou para o afastamento do 'doublet' do hidrogênio um valor ligeiramente inferior ao que foi calculado por Sommerfeld. A experiência confirma, pois, uma correção tendo o mesmo sentido da que achamos; a ordem de grandeza é, porém, diferente". A ordem de grandeza é, de fato, muito diferente: da ordem de 10^{-9} !

Trabalhos similares dedicados a esta questão apareceram na mesma época, entre os quais o de George Jaffé (1922), Theodor Wereide (1923) e a tese de doutoramento do matemático mexicano Sandoval Vallarta no MIT (1924). Em todos os artigos, a conclusão é a mesma: para o caso de massas e cargas típicas dos átomos, as correções provenientes da relatividade geral eram desprezíveis. As órbitas eletrônicas calculadas usando essa teoria eram muito aproximadamente iguais às obtidas pela relatividade especial. O artigo extraído da tese de Vallarta e submetido à publicação apenas em agosto de 1924 é o que apresenta maior semelhança com o de Ramos. É quase certo que Theodoro Ramos não conhecia os trabalhos de Jafée, Vallarta e Wereide, pois estes foram publicados em revistas às quais cientistas brasileiros dificilmente tinham acesso. Acreditamos que, se o trabalho de Theodoro Ramos tivesse sido submetido a uma revista com maior penetração internacional, ele seria citado hoje nos textos que tratam da história da Física Moderna.

Em 1923, Ramos publicou ainda o trabalho *Sobre a Theoria da Estrutura*

do Espectro das Raias do Hydrogenio na Revista Polytechnica, (n. 78/79, p. 503-507, maio/jun. 1923). Nele, mostrou que a adição de um potencial do tipo $1/r^2$ ao potencial coulombiano reproduzia o valor encontrado por Sommerfeld para a transição $(2,2) \rightarrow (2,1)$. No entanto, pode ser mostrado que seu resultado só é válido no caso particular das transições $(n,k) \rightarrow (n,k)$.

No sentido de trazer ao leitor alguns elementos biográficos sobre este personagem da Ciência brasileira vamos apresentar um breve relato de sua vida.

Theodoro Augusto Ramos (São Paulo, 1895 – Rio de Janeiro, 1935) formou-se em Engenharia Civil na Escola Politécnica do Rio de Janeiro em 1916. Nessa época os professores que se distinguiam na Física Experimental e na Física Matemática eram Henrique Morize e Amoroso Costa, respectivamente. Ali obteve o título de Doutor em Ciências Físicas e Matemáticas, em 1918, com a tese *Sobre as Funções de Variáveis Reais* que é considerada um momento importante da pesquisa matemática no Brasil. Em 1919, assumiu o cargo de professor substituto na Escola Politécnica de São Paulo, com a tese *Questões sobre Curvas Reversas*. Somente em 1926, foi nomeado professor da cadeira de *Vetores, Geometria Analytica, Geometria Projectiva e suas aplicações à Nomographia*. Em 1932 foi transferido para a



Foto do Theodoro Ramos.



Ilustração dos prefeitos de SP (Eduardo Baptistão em **O Estado** de 25/1/2004).

cátedra de *Mecânica Racional precedida de Cálculo Vetorial*, onde permaneceu até o final de sua curta existência.

Além de matemático renomado (publicou vários artigos originais na área, uma raridade na época), Theodoro Ramos teve múltiplas atividades. Publicou em Paris o livro *Leçons sur le Calcul Vectoriel* (1933) e proferiu uma série de interessantes conferências no Rio sobre a Mecânica Quântica (reproduzida na Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 3-4, 2003 e v. 26, n. 1, 2004). Fez parte da comitiva que foi à Europa em 1934 contratar pesquisadores (para a Física convidou Gleb Wataghin, por indicação de Enrico Fermi) para a recém-criada Faculdade de Filosofia, Ciências

e Letras da USP, da qual foi o primeiro diretor. Na esfera da educação, foi membro por muitos anos do Conselho Nacional de Educação e participou da reforma do ensino de Engenharia em 1931. Exerceu cargos públicos, em doses mínimas, tendo sido inclusive Prefeito de São Paulo por três meses em 1933 (veja ilustração de Eduardo Baptistão, publicada no jornal *O Estado* de São Paulo). Um depoimento interessante sobre ele emerge de uma carta escrita em dezembro de 1933 pelo jovem Mário Schenberg, então com 19 anos, para seu antigo mestre no Recife, Luis Freire: “Domingo tive uma longa conversa com o Theodoro, o que me permitiu formar uma idéia acerca de

sua personalidade atual. O Theodoro é notabilíssimo por sua vasta cultura no campo da Mecânica e da Física Moderna; aliás, tive a impressão de estar um pouco alheio à Mecânica Pura e dedicar-se especialmente à Física dos Quanta. Sobre alguns pontos de vista não pude aceitar suas idéias [*questões acerca da natureza das teorias físicas e o arcabouço lógico-matemático*]. A não ser nesses pontos, achei admiráveis suas idéias sobre a lógica e outras questões da Física que abordamos”.

Agradecimento

Agradecemos à profa. Amélia Hamburger a oportunidade de acesso à carta de Schenberg a Luis Freire.

Nelson Studart
DF/UFSCar

Rogério C.T. da Costa
IFSC/USP

Ildeu de Castro Moreira
IF e COPPE/UFRJ

Referências

C.P. da Silva, Revista *União* 4, 9 (2003). Disponível em <http://www.uniandrade.br/publicacoes/revista/index.asp>.

Física Quântica no Brasil, entrevista com Amélia Hamburger, *ComCiência*, Revista Eletrônica de Jornalismo Científico, em <http://www.comciencia.br/entrevistas/amelia.htm>.



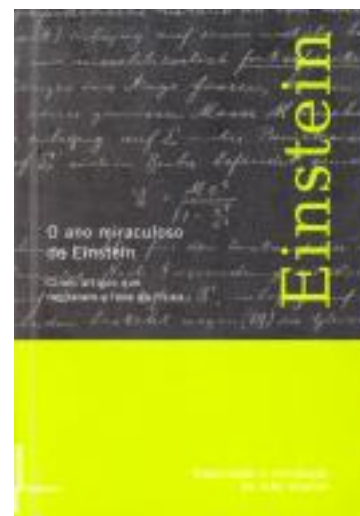
Conheça as idéias de Einstein nas fontes originais

Depois de 1905, a Física nunca mais seria a mesma. Naqueles doze meses, Einstein quebrou muitas convicções científicas e desafiou o *status-quo* acadêmico. O historiador John Stachel organizou e fez uma introdução bastante acessível dos cinco grandes ensaios que colocaram Einstein na vanguarda da Física do século 20.

Leia os cinco artigos que mudaram a face da Física:

- Tese de doutorado de Einstein sobre as dimensões moleculares
- Einstein e a Teoria da Relatividade
- Einstein e o Movimento Browniano
- Einstein e a hipótese do fóton

O Ano Miraculoso de Einstein, tradução de *Einstein's Miraculous Years: Five Papers That Change the Face of Physics* por Alexandre Tort, Coleção Clássicos da Ciência, Editora UFRJ, 222 pp (2001).



Resenhas

Einstein Usurpatore?

O artifício de mesclar fato e ficção, tendo a Ciência e sua história como foco e o contexto social como pano de fundo, já trouxe para os palcos o *Galileu Galilei* de B. Brecht e o *Caso Oppenheimer* de H. Kipphardt. Mais recentemente, na controversa *Copenhagen* de M. Frayan, o tablado passou a ser ocupado por Bohr, sua esposa e Heisenberg, velhos amigos que a guerra colocou em conflito, e que, na ocupada capital dinamarquesa de 1941, discutem suas diferenças com relação ao desenvolvimento de uma arma nuclear. No livro *Night Thoughts of a Classical Physicist*, o historiador da ciência Russell McCormmach construiu a figura do físico alemão Victor Jakob, para ilustrar, através de suas memórias apresentadas em 1918, a perplexidade de uma geração de cientistas com os então novos e revolucionários horizontes abertos pelas teorias que estavam surgindo. As pesquisas desenvolvidas na Alemanha nazista visando a construção de uma bomba atômica foram tema do romance *Em busca de Klingsor* do mexicano Jorge Volpi, que traça um interessante quadro de disputas internas na comunidade de físicos, com especial destaque para Planck, Stark, Heisenberg, Schrödinger e Bohr.

Carlos Alberto dos Santos, professor do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e que muito tem contribuído para a divulgação científica, explora a vertente da fusão da Ciência com a criação literária em sua novela *O plágio de Einstein* (WS Editor, Porto Alegre, 2003). A obra tem como centro a emblemática

relação $E = mc^2$, que no imaginário popular atua como uma representação social da Física Moderna, principalmente no que diz respeito ao que ela tem de mais destrutivo. Uma representação extremamente limitada, pois ignora o imenso e concentrado esforço de pesquisa científica e tecnológica que existiu entre a formulação daquela relação e a construção da bomba atômica. Nesse esforço, a contribuição de Einstein, cujo nome confunde-se com a

relação entre massa e energia, não foi mais do que simbólica, através do envio de duas cartas, uma em 1939 e outra em 1940, ao presidente Roosevelt, nas quais chamava a atenção para o potencial bélico da recém-descoberta fissão nuclear. No episódio, Einstein foi instigado pelos físicos Leo Szilard e Eugene Wigner, refugiados nos EUA, e preocupados com a dianteira que a Alemanha pudesse assumir nas pesquisas nucleares.

O título da “ciência-fusão”¹ de Carlos Alberto dos Santos refere-se à possibilidade de que Einstein possa ter plagiado Olinto De Pretto, um desconhecido industrial e cientista amador italiano formado em agronomia, que, em fevereiro de 1904, havia publicado nas Atas do Instituto Real de Ciência, Letras e Artes do Vêneto, uma memória de 62 páginas intitulada “Hipótese do Éter na vida do Universo”. Nesse trabalho, a argumentação é claramente distinta da utilizada por Einstein. Expressões matemáticas estão praticamente ausentes, dando lugar a uma forma de pensamento que privilegia

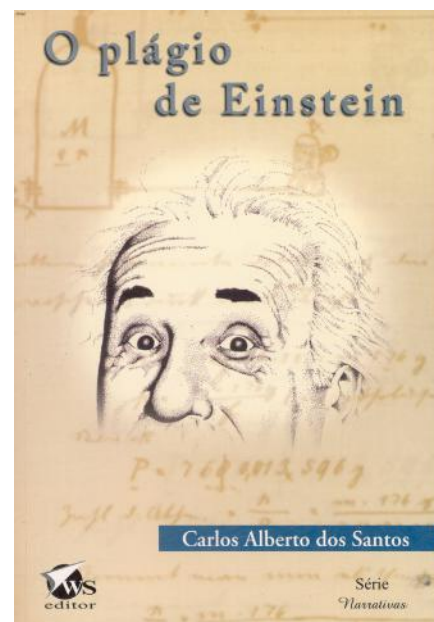
analogias mecânicas. A famosa relação entre massa energia é introduzida a partir de considerações sobre a existência de um éter composto por pequenas partículas, vibrando incessantemente com velocidades no mínimo igual à da luz, por sua vez transmitidas aos átomos dos corpos, o que daria, segundo De Pretto, origem a uma imensa energia interna armazenada.

Como a dedução de Einstein para aquela relação foi exposta no pequeno artigo *A inércia de um corpo depende de seu conteúdo de energia*², publicado no prestigioso periódico alemão *Annalen der Physik* em setembro de 1905, pode-se imaginar a preocupação vivida por uma equipe que se encontrava preparando nos Estados Unidos, em 1960, uma edição completa da obra do famoso cientista, quando confrontada com a possibilidade dele ter plagiado

um obscuro autor italiano. Evidências desta possibilidade haviam chegado às mãos do Professor Davert Satchmann, um conceituado historiador da Ciência

que, indicado pela equipe, viajara para a Suíça com o objetivo de documentar os contatos e a interlocução intelectual, ocorridos por volta de 1905, entre o jovem Einstein e Conrad Habicht, Maurice Solovine e Michele Besso. Na tentativa de esclarecer o assunto, o historiador, principal personagem da

O Plágio de Einstein refere-se à possibilidade de que o cientista alemão possa ter plagiado Olinto De Pretto, um desconhecido industrial e cientista amador italiano



novela, acaba assumindo o papel de detetive e se envolvendo em uma investigação sobre a qual mais não deve ser dito, já que implicaria no risco de subtrair do leitor a fruição da leitura.

Os três companheiros de Einstein existiram de fato, da mesma forma que algumas outras personagens da novela, como por exemplo Helen Dukas, que durante mais de duas décadas foi secretária particular e a pessoa mais familiarizada com a vida e os arquivos de Einstein após a sua mudança para os Estados Unidos em 1933, e Otto Nathan, amigo e executor do testamento de Einstein.

Se estes nomes são registros familiares nas biografias de Einstein, o mesmo não acontece com Olinto De Pretto, não obstante também ter existido na realidade. Seu trabalho veio à luz através dos escritos de Umberto Bartocci, professor de Geometria e História da Matemática da Universidade de Perugia, que vem tentando há quase 15 anos difundir e dar crédito à sua suposição de que o cientista amador italiano teria sido não só um “precursor”, como também um “inspirador” de Einstein, no que diz respeito à relação $E = mc^2$. Bartocci queixa-se que seu trabalho sofreu boicotes, por colocar em dúvida aspectos consensualmente aceitos pela comunidade de historiadores da Ciência profissionais e defensores da imagem de Einstein, classificando como atos de censura a recusa, por dois periódicos italianos, de um artigo sobre o assunto que escreveu em colaboração com Marco Mamone Capria³. As pesquisas de Bartocci sobre De Pretto foram por ele publicadas no livro *Albert Einstein e Olinto de Pretto: La Vera Storia Della Formula Più Famosa del Mondo*⁴.

Confesso não ter procurado o livro, mas a leitura do artigo me fez relativizar as queixas de Bartocci. Ainda que não discordando inteiramente de sua crítica ao poder que a pesquisa normal (no sentido kuhniiano do termo) é capaz de exercer para enquadrar

aqueles que se voltam contra os paradigmas dominantes, a minha impressão é que o artigo, bem escrito e com pontos interessantes deve-se reconhecer, não vai além de suposições e de evidências indiretas no que concerne ao plágio de Einstein. Ao final, os próprios autores reconhecem não terem chegado

Umberto Bartocci, professor de Geometria e História da Matemática da Universidade de Perugia, que vem tentando há quase 15 anos difundir e dar crédito à sua suposição de que o cientista amador italiano teria sido não só um “precursor”, como também um “inspirador” de Einstein, no que diz respeito à relação $E = mc^2$

a deduções conclusivas em favor de suas conjecturas. Acrescente-se que há muito tempo existem trabalhos mostrando que as idéias de Einstein sobre a Relatividade Restrita são parte de uma história na qual contribuições como as de Lorentz e Poincaré não foram nada desprezíveis, que a as-

sociação entre massa e energia eletromagnética já vinha sendo discutida antes de 1905, e que a dedução de $E = mc^2$ no artigo de setembro de 1905 apresenta limitações⁵.

Eu gostaria ainda de chamar a atenção para um tipo de reação que trabalhos como o de Bartocci tendem a desencadear. Em minha busca no Google para o nome “Olinto De Pretto” afloraram vários sítios racistas, nos quais as suposições do professor de Perugia são apresentadas como provas conclusivas de que Einstein efetivamente tenha roubado a idéia de De Pretto, o que é associado à sua ascendência judaica. Não tenho nenhum motivo para supor que Bartocci deliberadamente tenha se proposto a fornecer munição antisemita. Assim como ele, penso que cientista algum, por mais famoso que seja, deve ser isentado de críticas, quer no que diga respeito à sua conduta pessoal, quer no que toca aos resultados de suas pesquisas, e com mais razão nos casos em que os dois domínios se entrelaçam. Mas é necessário estar alerta para identificar e denunciar quando estas críticas são utilizadas de forma abusiva e com o objetivo de propagar ideologias condenáveis. Que este é um perigo que não passou despercebido para o autor de *O Plágio de Einstein*, fica claro em uma fala do Professor Davert Stachmann já no final do livro.

Independentemente de qualquer juízo que se faça sobre a plausibilidade das suposições levantadas pelo pensador italiano, Carlos Alberto dos Santos merece elogios por ter chamado a atenção para o polêmico trabalho de Umberto Bartocci, como também por divulgar alguns aspectos de um período da vida do jovem Einstein. Mais ainda, por tê-lo feito de modo criativo e agradável, em uma linguagem e formato que torna o texto acessível e interessante mesmo a não especialistas.

Se uma ressalva merece ser feita ao livro é ele ser tão curto, já que material para ser explorado não faltaria. Para compensar, uma bibliografia enxuta, mas suficiente para quem se sentir motivado a conhecer mais sobre a vida e a obra de Einstein, é apresentada no final da obra, cujo autor edita um sítio sobre Einstein que merece ser visitado (www.albert.einstein.nom.br).

Arden Zylbersztajn
DF – UFSC

Notas

¹Estou me valendo da feliz expressão utilizada pelo escritor G. Cabrera Infante para a colagem da Ciência com a História, a Política e a Literatura.

²Este artigo pode ser visto como uma complementação de um artigo maior (Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento) publicado meses antes no mesmo periódico, e no qual Einstein apresentou as bases do que se tornaria conhecida como a Teoria da Relatividade Restrita. Os dois artigos encontram-se reproduzidos em *O Ano Miraculoso de Einstein: Cinco Artigos que Mudaram a Face da Física* (organização e introdução de John Stachel) Editora UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

³O artigo em questão é Albert Einstein e Olinto de Pretto: *Um dimenticato precursore italiano dell'equivalenza tra massa ed energia*. As queixas de Bartocci contra o tratamento recebido por sua obra aparecem em *La Storia Impossibile-N.2*. Os dois textos podem ser acessados em www.dipmat.unipg.it/~bartocci/depre.html.

⁴Bolonha: Andrômeda, 1999.

⁵R.A. Martins, A relação massa-energia e energia potencial. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 6 (número especial), 56-80 (1989).



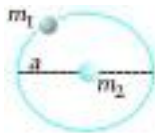
Problemas Olímpicos

Novos Problemas

1 O período T de uma lua de massa m_1 que descreve uma órbita elíptica cujo eixo maior vale a , ao redor de um planeta de massa m_2 , depende de m_1 , m_2 , a e G .

a) Determine a relação mais geral possível entre estas quantidades.

b) Como esse período se compara com o período T de um outro sistema cujas massas são $2m_1$, $2m_2$ mas de mesmo eixo maior?



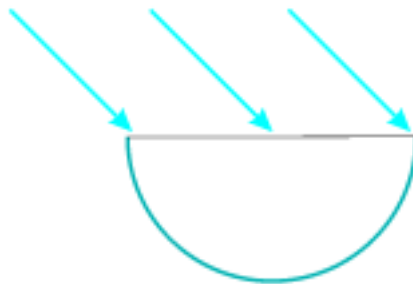
2 Um volume de 300 cm^3 de tolueno líquido a 0°C está em um béquer, enquanto uma outra quantidade de 110 cm^3 de tolueno a 100°C está em um outro béquer (o volume combinado é de 410 cm^3). Determine o volume total da mistura dos dois líquidos após serem misturados. Considere o coeficiente de expansão volumétrico $\beta = 0.001 \text{ C}^{-1}$, e

despreze qualquer outra forma de perda de calor.

*II Olimpíada Internacional de Física
Budapeste, Hungria, 1968*

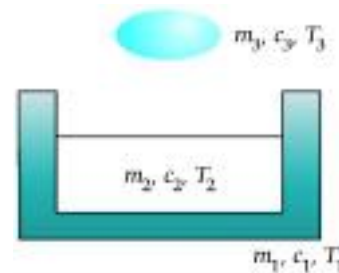
3 Um raio de luz paralelo incide sobre a superfície plana de um prisma semi-circular com ângulo de incidência de 45° . O raio sofre refração na superfície plana e atinge a superfície curva do prisma (veja figura). Se o índice de refração do prisma é $\sqrt{2}$, analise todos os raios que emergem da superfície curva.

*II Olimpíada Internacional de Física
Budapeste, Hungria, 1968*



4 Um calorímetro de cobre de massa m_1 contém uma massa m_2 de água. A temperatura do conjunto água e calorímetro é T_{12} . Um pedaço de gelo de massa m_3 e temperatura T_3 é colocado gentilmente dentro do calorímetro. Sabendo que as temperaturas são dadas em graus centígrados, que o calor latente do gelo vale $L \text{ kcal/kg}$ e que os valores específicos do calorímetro, da água e do gelo são respectivamente c_1 , c_2 e $c_3 \text{ kcal/kg.C}$, determine todas as temperaturas da mistura se T_3 for negativo.

*III Olimpíada Internacional de Física
Brno, Czechoslovakia, 1969*





- Se voce é um apaixonado por Arquimedes, seus feitos nas mais variadas áreas, não deixe de visitar <http://www.math.nyu.edu/~crreres/Archimedes/contents.html>. Aí voce pode ter a satisfação de conhecer as contribuições deste ícone à Matemática, à Física e à Engenharia.

- Mantido pelo Laboratório Na-

cional de Altos campos magnéticos (Nacional High Magnetic Field Laboratory) da Universidade do Estado da Flórida em Tallahassee, este sítio contém micrografias de vários objetos. Além disso, explica como tais fotos são obtidas. São fotos curiosas, às vezes artísticas, tais como micro fotos da aspirina e do Tilenol, só para citar alguns, <http://micro.magnet.fsu.edu/micro/gallery.html>.

[magnet.fsu.edu/micro/gallery.html](http://micro.magnet.fsu.edu/micro/gallery.html).

- Uma série de sites com animações de Applets simulam colisões tanto em uma como em duas dimensões. São muito legais, simples e interativos. Em alguns são introduzidos os coeficientes de restituição e considerados diferentes sistemas de referência e centro de massa. Nos casos bi-dimensionais, podemos variar os parâmetros de impacto e a direção de choque. São fáceis de usar, muito bem feitos e de grande utilidade na explicação destes fenômenos. Diferentes universidades têm disponibilizado estes Applets. Alguns deles são:

- http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/Collision/applet.html;

- <http://zebu.uoregon.edu/nsf/mo.html>;

- <http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/collision1D/collision1D.html>;

- <http://www.scar.utoronto.ca/~pat/fun/movies3d.html>.