

Universidade Estadual de Campinas Instituto de Física “Gleb Wataghin”

F 809 - Instrumentação para o Ensino

Experimente a Física



Aluno: Bruno Martins de Sousa Bueno RA 991457
Orientador e coordenador: Prof. Dr. José Joaquín Lunazzi

Junho de 2006

“A imaginação é mais importante do que o conhecimento”- Albert Einstein.

“ É provável que os primeiros equipamentos experimentais destinados à demonstração de princípios científicos tenham sido criados por Arquimedes para o museu de Alexandria (Egito), no século III a.C. Desde então, um número incontável de equipamentos, experimentos e brinquedos têm sido criados com as mais variadas finalidades, da pura diversão à pesquisa em ensino de ciências.” – Alberto Gaspar ⁽¹⁾



On the left side a greek man plays yo-yo. This is an image from an old vase decoration (450 B. C; Antikenmuseum Berlin). On the right side a physicist plays yo-yo.

published in the Proceedings of the Conference: „Teaching the Science of Condensed Matter and new Materials“, UDINE, Italy, 24.-30. August 1995, FORUM, Editrice Universitaria Udinese, via Palladio, 8, 33100 Udine, Italy 1996, page 437-441

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. José Joaquín Lunazzi pela proposta deste trabalho, sua atenção e dedicação dispensada em horas de conversas e experimentações.

Aos colegas monitores e estagiários pelas sugestões e críticas ao trabalho, bem como pelo tempo de descontraída palestra sobre temas de física, que mesmo não sendo abordados diretamente aqui, permeiam essa atividade pelo incentivo e motivação contagiantes com que foram discutidos.

Sumário

Resumo	3
1 Introdução.	3
2 Objetivo.	4
3 Atividades.	4
4 Resultados e discussão	12
6 Bibliografia.	13
7 Referências	13
8 Anexos	14

Resumo

Este trabalho propõe algumas sugestões de procedimento para aplicação em salas de aulas de ensino médio para motivar o interesse dos alunos em ciências e na prática experimental.

1 Introdução

Ministrar aulas de física requer muitas vezes que o professor utilize boas analogias em seus discursos, e não raro, há fenômenos físicos que exigem grande grau de abstração, mas que ficam facilmente explicados através de boas figuras e imagens. Contudo, qual professor não despendeu horas em busca deste material, ou passou horas avaliando se o que possuía a disposição contribuiria com o avanço de idéias e criatividade de seus alunos?

A apresentação de um fenômeno físico através de experimentos simples ou com objetos de nosso cotidiano pode aguçar a percepção dos alunos e estimulá-los a observar com maior interesse os fenômenos que ocorrem a nossa volta.

É freqüente depararmos com queixas acerca do tema tanto da parte de professores quanto de alunos, como resalto no quadro abaixo, extraído da internet ⁽²⁾:

O estudante do 3º ano do ensino médio no Centro de Ensino Médio Ave Branca de Taguatinga, Acyr Frederico Leocádio, 17 anos, ficou impressionado com os experimentos instalados no laboratório. “É a primeira vez que eu vejo de forma aprofundada e prática os conhecimentos ensinados em sala. Isso é muito mais interessante”, afirma Leocádio. Ele revela que até gosta da disciplina, mas culpa os professores por não mostrarem o tema de forma atrativa. “Nós aprendemos os métodos, técnicas e teorias, mas não vemos isso aplicado ao cotidiano ou a experiências práticas”, explica.



Acyr brinca com a pedra celta: "Ver a física na prática é muito interessante"

Quadro 1: “Aluno em visita ao laboratório”.

Atualmente, cresce o número de trabalhos, disponíveis na internet, em vídeos sobre experimentos que abordam os mais variados assuntos e temas, contribuindo assim com o trabalho dos professores interessados em incrementar suas aulas e criar um ambiente motivacional mais estimulante que enriqueça a sala de aula - veja no final deste trabalho, em referências (3), (4), (5) e (6), os sítios com vídeos livres para exposição em salas de aulas que podem ser copiados da internet.

Para os professores, estes trabalhos tornam se uma fonte de inspiração, possibilitando maior abrangência nos comentários e discussões com os alunos, que passam a ter maior contato com a prática experimental e o método científico.

Experimentos, como por exemplo: mostrar a inércia através de um objeto que é apoiado sobre um cartão que está sobre a borda de um copo, e que cai dentro do copo quando o

cartão é removido bruscamente, apesar de bastante simples podem (e devem) ser introduzidos com maior frequência na sala de aula, pois servem muitas vezes para instigar os alunos a pensarem nos princípios físicos envolvidos e por isso, desmistificar a concepção de que o trabalho científico seja algo laborioso e ausente de realizações prazerosas.

Neste sentido, os professores interessados podem verificar o conjunto de trabalhos disponibilizados no sítio desta disciplina.

Neste projeto buscamos desenvolver e analisar formas de exposição dos temas de física básica, que utilizam experimentos de física, feitos de objetos de uso frequente em nosso cotidiano, como espelhos, moedas, régua, molas e outros construídos por alunos dos cursos de instrumentação para o ensino - F 809, instrumentação - F 530, iniciação científica II - F 690 e projeto de curso - F 895 (oferecidas pelo Instituto de Física Gleb Wataghin - IFGW, na Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP).

Com estes experimentos buscamos fazer uma explanação dos conceitos de física e uma avaliação do quanto o visitante sabe a respeito dos conceitos envolvidos no experimento apresentado, procurando responder as suas dúvidas e questionamentos (anotando tais perguntas, como, por exemplo, como funciona o radiômetro, o que acontece quando sofremos um choque elétrico, o que é imagem virtual, o que é imagem real, entre outras) e mesmo discutir a sua contextualização histórica e de eventos atuais em pesquisa.

2 Objetivo

Existem pelo menos duas razões principais para se considerar a importância didática dessa questão; em primeiro lugar, em um país onde a física é vista como uma terrível disciplina pelos estudantes, a exposição é um veículo atrativo e de incentivo para encarar essa ciência com bons olhos, e em segundo lugar, os estudantes do início de um curso de física teriam uma motivação a mais para continuar no curso ao ver e explorar demonstrações experimentais, além de auxiliar o aprendizado deles.

Esta é também uma forma de expandir sugestões, meios e mídias aos professores de modo que possam contar com mais recursos, tanto no que se refere àquilo que é disponibilizado na internet, quanto aos experimentos que são expostos e servem para empréstimo às escolas interessadas.

3 Atividades

A exposição dos experimentos segue concomitantemente o cronograma de aulas de física básica (F128, F228, F328 e F428) do IFGW, e tem por finalidade fazer com que os experimentos possam ser divulgados e usados por todos os interessados em aprender e a transmitir conceitos de física por meio deles.

A cada duas semanas um novo grupo de experimentos é apresentado por monitores e estão divididos em sete módulos, a saber:

MÓDULO I : Mecânica sem rotações: Queda Livre, Inércia, Lançamentos e Colisões.

MÓDULO II : Mecânica da rotações.

MODULO III : Hidrostática, Hidrodinâmica, Calor e Termodinâmica, Ondas Mecânicas.

MÓDULO IV : Eletricidade e Magnetismo.

MÓDULO V : Óptica Geométrica.

MÓDULO VI : Óptica Ondulatória.

MÓDULO VII : Física do Século XX.

A seqüência dos grupos de experimentos foi programada de acordo com o cronograma de atividades de aulas de física básica e obedecem essencialmente as datas de provas e testes das turmas do primeiro semestre de 2006.

Alguns experimentos utilizados no projeto estão sendo catalogados e arquivados com a descrição dos conceitos físicos mais pertinentes, junto com as perguntas dos visitantes da exposição e alguns apontamentos sobre pesquisas que envolvem conceitos mais pertinentes. Alguns experimentos, como a esfera de plasma, os vídeos, o foguete, o periscópio, são muito atraentes, despertando mais a atenção e o interesse dos visitantes, por isso geralmente nos utilizamos deles para atrair a atenção do visitante e cativá-lo a experimentar os demais. Cada experimento pode possuir um roteiro de exposição de conceitos relevantes envolvidos, mas que pode ser acrescido de comentários que contextualizem os experimentos (seja correlacionando-os a eventos históricos ou atuais de pesquisa).

A seguir vemos alguns roteiros sugeridos organizados de forma que a explanação dos temas seja facilitada e melhor entendida:

Garrafa que não cai (centro de gravidade)

O que se usa:

Um suporte para garrafas de 15cm de comprimento com uma forma inusitada, porque pára em pé na posição inclinada (veja esquema na figura ilustrativa) e que serve para expor uma garrafa de vinho, mas que chama a atenção por desafiar a impressão natural de que o centro de gravidade se encontra pouco mais elevado do que realmente é. A proporção das massas do conjunto e a aparência pouco evidente de onde se encontra o ponto de sustentação e o centro de gravidade, deve-se ao fato de focarmos mais a atenção onde há a aparência de haver mais massas e negligenciarmos as partes menores do conjunto. Trata se de um equilíbrio instável, pois um leve empurrão lateral derrubaria a garrafa.

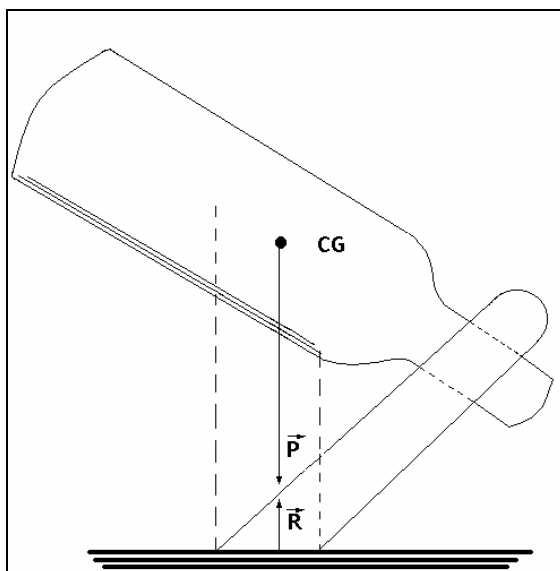


Figura: “ Suporte para exposição de vinho – que mantém -se em pé na posição inclinada” .

Como se faz:

Este suporte é encontrado com frequência em hipermercados, mas pode ser facilmente torneado em madeira ou ser feito com um cano de pvc, observando que o furo onde a garrafa se apóia deve ser feito a uma altura conveniente, para que o gargalo da garrafa não toque o plano da base do suporte. Esta altura depende da inclinação da base do suporte.

Como funciona:

Pedimos ao visitante que procure apontar onde está o centro de gravidade (CG) do conjunto por observação direta e simples e que imagine uma linha vertical que passe por esse ponto. Para confirmar as previsões, solicitamos-lhe que cuidadosamente segure a garrafa, e inclinando o conjunto para trás lentamente, a fim de desalinhar o binário de forças P (peso da garrafa) e R (força de reação normal da superfície), até que sinta que conjunto tende a girar e cair.

O que observar:

A força peso da garrafa passa pelo centro de gravidade e alinha –se à direção da força normal a base do suporte. Estas formam o que se denomina um binário de forças. O binário são forças iguais e de sentidos opostos. Enquanto a direção da força peso está entre a região que cobre a área da base do suporte, o conjunto tende a permanecer em equilíbrio instável e o suporte fica em pé. Quando a garrafa é inclinada excessivamente e a direção da força peso ultrapassa a região da base, o binário de forças faz a garrafa girar e cair, pois a vertical, por onde atua a força peso, ultrapassou o ponto de sustentação do conjunto.

Como se explica:

O centro de gravidade do conjunto está na garrafa, que é bastante massiva em relação ao suporte. Mas a garrafa não cai somente se a linha vertical que intercepta o centro de gravidade ficar contida na área da base do suporte e, portanto, a força normal que sustenta o conjunto se alinha a mesma direção que a força peso, dentro da área de apoio.

Quando o conjunto é inclinado até a posição limite de equilíbrio, o binário de forças atuantes se desfaz, e a força peso tende a girar o corpo da garrafa para tombá-la.

Pedra balouçante celta ou Colher com o efeito celta (Rattleback, wobblestone)O que se usa:

A primeira publicação científica sobre o efeito rattleback (podemos traduzir como vibração seguida de rotação) surgiu em 1896, publicada por G. T. Walker (4), mas muitos que leram o seu artigo, dizem que continuam sem entender como ele funciona.

Esta pedra é facilmente encontrada em lojas ou sítios especializados na web. Pode ser construída dobrando o cabo de uma colher como indicado a seguir.

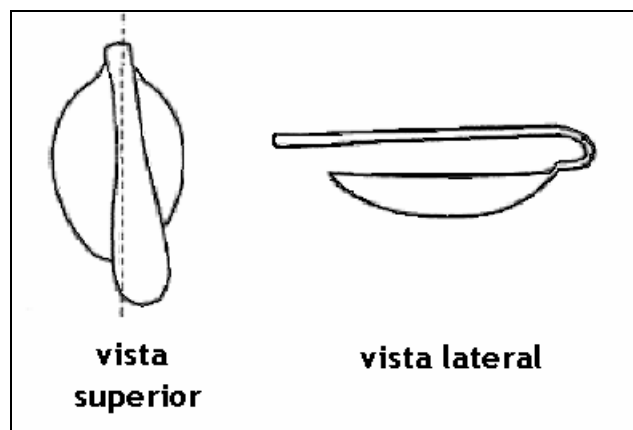
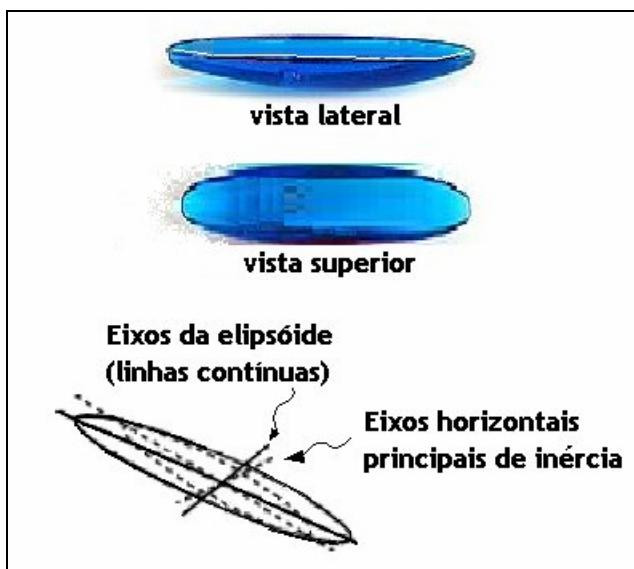


Figura 1: “Do lado esquerdo – pedra celta e esquema de seus eixos principais de inércia, que são deslocados em relação aos eixos de simetria da superfície inferior elipsóide. Do lado direito – perfis da colher celta, com o cabo ligeiramente deslocado em relação ao eixo de simetria da parte côncava da colher.”

Como se faz:

Há uma diferença clara entre a pedra e a colher. A colher tem simetria elipsoidal na base, mas a pedra tem um ligeiro desgaste nos lados opostos da superfície da base. Como consideramos mais fácil obter a colher, descrevemos seu modo de construção, mas o efeito rattleback ou wooblestone é muito mais acentuado no movimento da pedra celta.

Obtenha uma colher de mesa ou de chá velha. Entorte a colher dobrando seu cabo contra a porção côncava como indicado na figura 1.

Quando o cabo da colher for devidamente dobrado sobre a concha, a colher deve manter-se balanceada sobre o meio da parte curva da colher, em seu centro.

Desde que o cabo da colher esteja ajustado segundo a figura 1 e permaneça balanceada sobre o centro da concha, mas levemente desviado para a direita (ou esquerda) de uma linha imaginária que passa sobre o eixo central da concha. (Algumas vezes é preciso testar girando a colher sobre uma superfície plana áspera, enquanto se posiciona o cabo da maneira correta, até obter um efeito melhor).

Quanto mais baixo estiver o cabo, mais baixo fica o centro de massa da colher, o que permite haver maior estabilidade para girá-la.

Como funciona:

Posicione a colher sobre uma superfície plana áspera, ou sobre uma folha de papel.

De um peteleco no cabo da colher para fazê-la oscilar de um lado para outro. O que você pode observar? (a oscilação pára por um momento e a colher começa a girar. Para que sentido? Ela gira para o sentido horário)

Agora, gire a colher no sentido horário. O que você observa? (a colher celta gira no sentido horário por alguns momentos, começa a oscilar, pára, e então começa a girar no sentido anti-horário).

Gire a colher celta no sentido anti-horário. O que você observa? (a colher celta continua girando no mesmo sentido).

O que observar:

Quando uma pedra celta é girada sobre seu eixo vertical em um determinado sentido (por exemplo no sentido horário) ela pára de girar momentaneamente, oscila e passa a girar em sentido contrario (i. e. sentido anti-horário). Quando é girada no sentido contrário (agora no sentido anti-horário) ela gira até dissipar toda energia rotacional por atrito.

A pedra (ou colher) celta tem três características muito importantes. Primeiro, a curvatura da base deve possuir dois raios de curvatura diferentes, ou seja, não pode ser perfeitamente esférica. As colheres têm um raio de curvatura maior ao longo do comprimento e outro menor ao longo da largura. Da mesma forma a pedra celta tem a base com o mesmo aspecto, chamado de elipsóide.

Segundo, a distribuição de massa é ligeiramente diferente em relação aos eixos horizontais da elipsóide, ou, em outras palavras, a distribuição de massa ao longo dos eixos principais de inércia horizontais devem ser diferentes. A colher, por exemplo, tem distribuição de massa simétrica em relação ao eixo que tem a mesma direção do comprimento, e nesta direção há mais distribuição de massa do que há na direção da largura.

E por fim, a terceira característica necessária deve ser a assimetria entre os eixos da elipsóide e os eixos principais de inércia horizontais. Quando o cabo a colher é curvado sua direção final é ligeiramente inclinada e relação ao eixo de simetria do comprimento da colher, podendo ser inclinado tanto para a esquerda quanto para a direita. Isto altera o momento de inércia da colher, ou sua resistência ao movimento de rotação. De forma análoga a densidade da pedra celta é alterada para causar a inclinação dos eixos principais de inércia horizontais.

Devido à parte curva ser elipsóide (ou com a forma de um casco de navio), e girar sem escorregar, as forças de atrito atuam de forma complexa, e a explicação matemática ainda não é bem compreendida, mas em resumo, não atuam sempre contra a direção de giro, como seria de se esperar, caso a forma da base fosse esférica. Na forma esférica as forças de fricção são sempre antiparalelas ao sentido de rotação na direção horizontal. No formato elipsóide, a energia cinética rotacional é convertida em energia de vibração, devido às forças de atrito, contrárias ao movimento de giro, que geram a vibração e provocam o torque. Estas forças de atrito podem variar muito irregularmente, mas chegam a atuar inclusive na direção perpendicular ao giro, como na direção vertical, provocando a vibração no sentido vertical (quando as extremidades da pedra sobem e descem), transferindo a energia rotacional para a energia vibracional, e a partir desta, mudando o sentido de rotação da pedra. A pedra, então continua girando no sentido contrário ao original até dissipar o resto da energia por atrito e parar.

Este efeito tem intrigado muitos cientistas e impressionado muitas pessoas desde a antiguidade.

Incluo alguns sítios que descrevem o fenômeno, mas em especial um que faz uma simulação do movimento e gráfica o número de rotações por segundos (o sítio apenas comparou dois métodos de análises, sem descrever como o efeito é gerado – veja anexo)⁽¹¹⁾

Perguntas:

O momento angular não deve permanecer em um sentido apenas, girar apenas em uma direção?

O momento angular está sendo conservado?

Em que direção atua o torque quando o movimento de rotação é alterado?

O boomerang tem o mesmo efeito que a colher, o rattleback?

Intercalação de muitas folhas de dois livros

O que se usa:

Neste experimento sobrepomos intercaladamente as folhas de dois catálogos de modo que a superfície de contato entre eles seja a maior possível e a área de atrito seja maximizada.

Como se faz:

O objetivo deste experimento é demonstrar que o atrito estático entre as páginas dificulta a separação dos livros de forma que há a sobreposição destas forças de atrito em uma força resultante contrária a força necessária para que haja a separação.

Como funciona:

Pedimos ao visitante que mantendo os livros apoiados sobre a mesa, puxem com toda a força as extremidades dos livros a fim de separá-los. E questionamos se sabem porque é tão difícil separá-los. Algumas vezes alguém consegue movimentar um pouco as páginas, mas não separá-los.

O que observar:

Neste experimento começamos a exposição buscando saber se o visitante pode perceber a diferença entre atrito estático e dinâmico (muito mais do que cansá-lo como o esforço), por esse motivo é interessante conversar a respeito de outras ocorrências nas quais o atrito é útil, como, por exemplo, na fabricação de pneus mais seguros ou de equipamentos de hapel – dessa forma o visitante não se sente obrigado a terminar o desafio de separar os livros, poupando nos o trabalho de juntá-los também. Questionamos se o visitante percebe a diferença entre o atrito estático e o atrito dinâmico, ou seja, se observam que atrito estático é maior que o atrito dinâmico.

É interessante notar também que existe a soma de cada força de atrito de cada página em uma força resultante de sentido contrário à força aplicada para separar os livros. Se a força de separação é maior que esta resultante, os livros são separados. Caso contrário, se a força de separação não é suficiente para separar os livros, então ela só pode ser igual a força de atrito resultante e este atrito é estático.

Como se explica:

A semelhança de um conjunto de dentes de engrenagens, as rugosidades de cada folha geram forças que impedem o livre movimento dos livros. Não podemos percebê-las bem pelo simples toque das pontas dos dedos, mas observamos seus resultados pela dificuldade em separar os livros.

A força de atrito de cada folha (f_{at}) tem a mesma direção que a força aplicada para puxar o livro, mas tem sentido contrário.

$F_{(separação)} = -F_{at}$, na situação de equilíbrio estático

$F_{at} = \sum f_{at}$

Quando a força de separação é maior que a força de atrito, os livros são separados. Mas antes de serem separados, quando as folhas começam a se movimentar é porque atingimos o regime onde ocorre o atrito dinâmico.

Em muitos casos podemos medir os coeficientes de atrito de materiais utilizando uma plataforma reta, onde apoiamos o material no qual estamos interessados em conhecer o

coeficiente de atrito, e inclinamos lentamente até o momento que a amostra de material começa a deslizar. O cálculo da tangente do ângulo de inclinação é o valor do coeficiente de atrito estático máximo.

Questões levantadas

(Esta foi uma afirmação de um visitante) O atrito nas rodas de um automóvel tem a direção do movimento do automóvel. (Sim). Este é um atrito estático ou dinâmico? (Estático, pois a roda rola sobre o pavimento, e se ela rodasse como o que ocorre quando o pneu “canta”, o atrito passa a ser dinâmico, que é semelhante ao que ocorre quando se derrapa).

O freio ABS serve justamente para manter a roda girando e o atrito estático entre o piso e o pneu para que o veículo fique mais sobre o controle do motorista e derrape menos.

Se as páginas fossem de papel de seda os livros se separariam com maior facilidade?

Brinquedo de ondas

Como se faz:

O brinquedo de ondas é composto por uma série de peças de madeira unidas entre si por tiras de tecido que permitem que as peças sejam dobradas como uma sanfona e, quando suspenso por uma de suas extremidades como mostrado na figura 2a (ondas A), suas peças fazem um movimento alternado de queda como indicado na figura 2 b (ondas B). Este brinquedo é freqüentemente encontrado na cidade de Belo Horizonte.

Materiais:

- Uma peça de madeira de 50 cm x 5 cm com 0,5cm de espessura cortada em 6 partes de sete centímetros; cada peça de madeira deve apresentar as seguintes dimensões: 7,0 cm x 5,0 cm x 0,5 cm e ter suas extremidades arredondadas segundo a figura 2 (onda2);
- Um metro de fita ou tira de tecido para produzir tiras de 9,0 cm x 1,0 cm;
- Um tubo de cola;
- Uma tesoura.

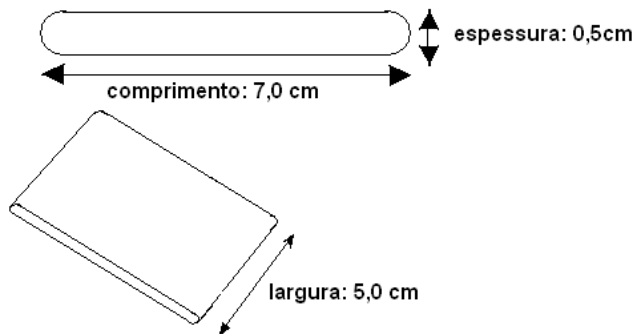
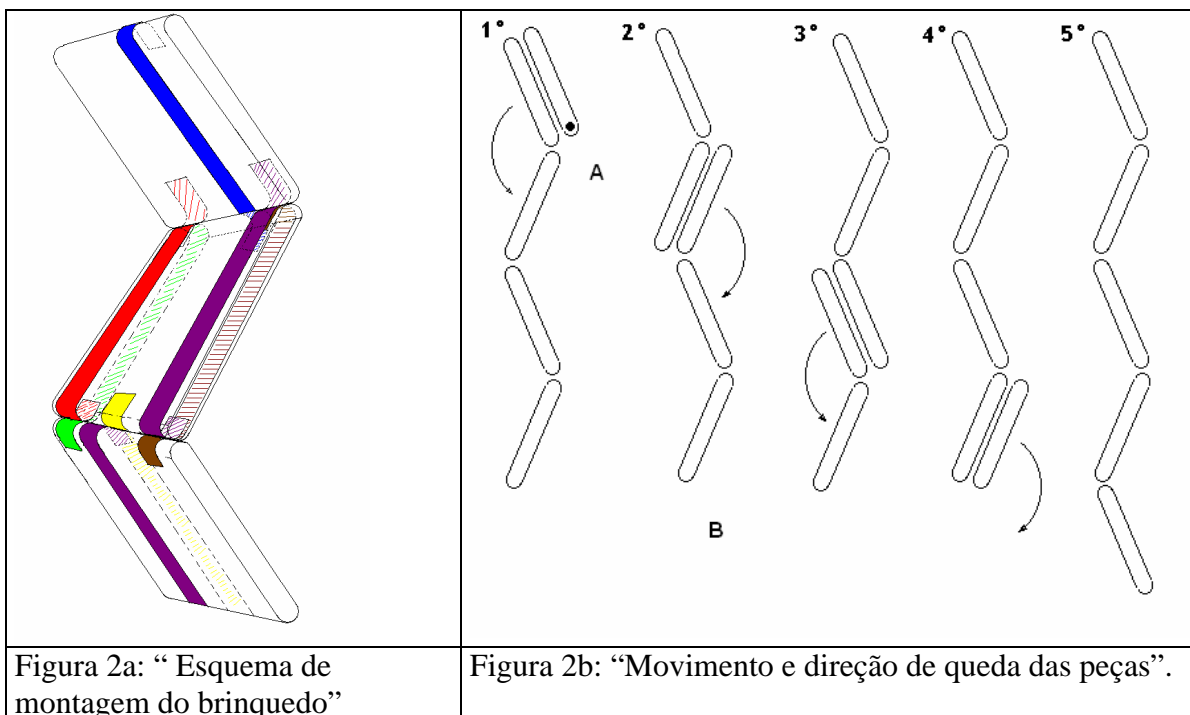


Figura 1: " Dimensões da peça de madeira"



Modo de preparo:

Cole as extremidades das tiras de tecido como indicado na figura 2a, observe que apenas a ponta das tiras de tecido se prendem nos locais indicados e que o corpo da fita fica solta na face oposta.

Como funciona:

Segurando a extremidade da peça, suspendendo o conjunto até que a segunda peça fique em paralelo com a primeira, surge então, um torque devido ao peso das demais peças, que gira a segunda peça em direção a terceira, transferindo a energia potencial adquirida para a terceira peça, e assim, a terceira peça repete o mesmo movimento do lado oposto, também transferindo sua energia no choque, impulsionando a peça seguinte. Assim ocorre até o final das peças do conjunto.

O que observar:

Como uma onda, cada peça adquire energia potencial no início do movimento, deslocando de um comprimento igual ao comprimento de cada peça, mas perde esta quantidade de energia quando gira sobre si e impulsiona a peça seguinte, que recebe por sua vez energia para girar e cair sobre a peça seguinte.

Como se explica:

Cada peça repete um movimento oscilatório, que é elevar se de uma altura um igual ao comprimento de uma peça e depois cair um comprimento de uma peça, como ocorre com as ondas, isto é, a partícula (peça) oscila, e a energia é deslocada ao longo do meio, isto é, uma a uma as peças transmitem a energia potencial, colidindo com a peça do nível inferior, empurrando-a e dessa forma, provocando o torque da peça seguinte.

Em geral é interessante usarmos em algumas explicações a contradição conceitual para despertar o interesse, como por exemplo, quando nos referimos ao conceito da inércia lembrando a experiência de Galileu com planos inclinados, podemos questionar o

visitante até que ponto o conceito pode ser considerado verdadeiro, se mesmo na hipótese de um corpo estar viajando no vácuo sideral, ele sofre a influência da força gravitacional e, portanto não pode estar livre da atuação de forças.

Ou, como no caso do atrito, em que expomos a idéia de que em nível atômico, as moléculas dos corpos em interações estão sujeitas apenas a interações de atração e repulsão eletromagnética, sem que os corpos entrem em contato de fato, portanto questionamos ao visitante como é que podemos entender o atrito estático e o atrito dinâmico dentro desta perspectiva.

4 Resultados e discussão

A física, tanto quanto as demais áreas do conhecimento científico, sempre abre novos paradigmas, à medida que adquire novos saberes e confronta-os com o conhecimento já estabelecido. Neste projeto, a realidade não é diferente, mesmo quando manipulamos brinquedos, despertamos o nosso interesse em saber que fenômenos físicos e que “roupagem” matemática explica tal fenômeno, como temos a oportunidade de instigar e entusiasmar o visitante com os diferentes experimentos apresentados e maravilhar-nos com o evento da descoberta de cada um.

É comum nos depararmos com diferentes opiniões durante as exposições, o que mostra o quanto esta atividade é enriquecedora e faz fronteira com a criatividade, uma vez que, mesmo especulando sobre como age determinado experimento, alguns visitantes se sentiram à vontade para questionar e palpitar sobre fenômenos físicos que ainda não haviam estudado durante o curso, levantando seus argumentos e hipóteses, mostrando que a imaginação é bem estimulada quando o visitante tem oportunidade de interagir, de experimentar o assunto através de uma experiência prática, e verificar através do experimento os argumentos levantados.

Porém, apesar de contarmos com uma dupla de monitores em cada período de exposição, a frequência de visitantes foi bastante baixa, e com grande flutuação entre os horários estipulados, em razão disto não registramos muitas reações do público no que diz respeito as suas dúvidas e conceitos de física. Em geral, nós, os monitores é que nos divertíamos repetindo as experiências e tentando explicá-las para nós mesmos. Isto reforçou o nosso sentimento de que há muito trabalho sendo menosprezado no campo do ensino de física, e que sendo bem elaborada, a atividade de ensino de física, aliada a ferramenta e instrumental podem aguçar o interesse dos alunos, estimulando ainda mais as perspectivas dos próprios professores.

A divulgação do projeto às turmas de física básica, com concessão dos responsáveis às turmas, pode ser feita periodicamente, preferencialmente após os períodos de avaliações, quando os alunos se sentem mais descompromissados, e os professores têm grande disposição de colaboração, pois alguns cederam espaço e tempo para o uso de projetores da sala de aula, para a exposição do cartaz do Experimente a Física (EAF) em slides, para o convite. Durante o início do semestre pude contatar os professores, Dr. Alex Bernardini, Dr. Pascoal Pagliuso e Dr. Jaime Frejilch, e alguns alunos das turmas de física básica para informa me das datas de provas e expor o convite sobre o EAF, sendo que recebi o convite generoso do professor Dr. Alex Bernardini, para enviar lhe cartaz da exposição. Contudo não cheguei a preparar o formato correto do arquivo para que pudesse ser utilizado no projetor.

5 Bibliografia

- 1- “Experiências de Ciências para o ensino fundamental”; Gaspar, Alberto; editora Ática, 2005.
- 2- “Física geral e experimental”; Goldemberg, José; Editora Nacional e Editora da USP, vol. 1 e 2 , 1970.
- 3- “Fundamentals of Physics”, Halliday, D.;Resnick, R.;Walker, J.; 5a. ed. , John Wiley & sons, Inc., 1997.
- 4- " Science and Toys", Christian Ucke, published in the Proceedings of the Conference: “Teaching the Science of Condensed Matter and new materials”, UDINE, Italy, 24.-30. August 1995, pág. 437-441.

6 Referências

- (1) Gaspar, Alberto; “Experiências de Ciências para o ensino fundamental”; editora Ática, 2005.
- (2) <http://www.unb.br> - *Universidade de Brasília*.
- (3) [http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530 F590 F690 F809 F895/lista projetosF809.htm](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/lista_projetosF809.htm) – *Lista de projetos e experimentos dos cursos F530, F590, F690, F809 e F895 disponíveis para empréstimo às escolas interessadas, o contato pode ser realizado através de correio eletrônico.*
- (4) [http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530 F590 F690 F809 F895/F809videos outros.htm](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809videos_outros.htm) – *Vídeos das apresentações dos projetos em diversos formatos, disponíveis para download.*
- (5) [http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530 F590 F690 F809F895/experiencias_disponiveis F809.htm](http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/experiencias_disponiveis_F809.htm) – *Experimentos dos cursos F530, F590, F690, F809 e F895 disponíveis para empréstimo aos professores ou alunos da Unicamp, ou às escolas interessadas (para maiores informações acesse o sítio).*
- (6) <http://www2.eng.cam.ac.uk/~hemh/tcss.htm> - *videos do Dr. Hugh Hunt sobre movimento circular, momento de inércia, momento angular, boomerangues, etc.*

- (7) <http://www.arxiv.org/physicseducation> - *artigos publicados em diversas áreas sem arbitragem e em qualquer idioma- esta é uma espécie de base eletrônica em que os trabalhos podem ser .*
- (8) <http://www.fsc.ufsc.br/ccef> - *Caderno brasileiro de ensino de física – Revista trimestral de física onde os trabalhos contam com resenhas na internet, mas algumas publicações impressas podem ser emprestadas pelo professor Dr. J. J. Lunazzi.*
- (9) <http://z4.invisionfree.com/expfisica/index.php> - *site com um fórum de perguntas sobre os experimentos do “Experimente a Física -EAF”*
- (10) <http://www.autolev.com/WebSite/SampleProblemRattleback/Rattleback.html> - *simulação do movimento da pedra celta.*

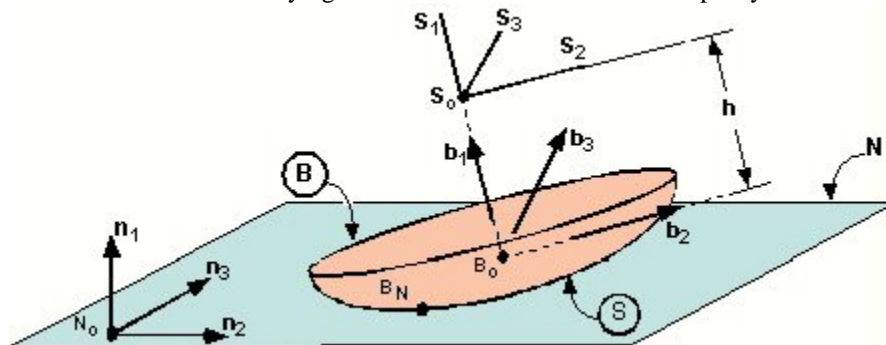
Anexos

From <http://www.autolev.com/WebSite/SampleProblemRattleback/Rattleback.html>

Rattleback Simulation

The rattleback, also called a Celt or wobblestone, is an oblong boat-shaped object which, when placed on a rough horizontal surface and made to rotate about a vertical axis, sometimes stops rotating, begins to oscillate (wobble), then starts rotating in the reverse direction.

Because the curved portion of the surface of the rattleback is part of an ellipsoid, and because the ellipsoid rolls without slip on the rough horizontal surface, many commercial multi-body programs have serious difficulties when trying to simulate the motion of this simple system.



The figure above is a schematic representation of a rattleback B that is in contact with a rough horizontal surface N at point BN of B. The curved portion of the surface of B is part of an ellipsoid S, whose principal axes S1, S2, S3 intersect at point So on B. The locus of points of S is defined by the equation

$$s_1^2/a^2 + s_2^2/b^2 + s_3^2/c^2 - 1 = 0$$

where s_i are the S_i ($i=1,2,3$) coordinates of a generic point P of S , and a, b, c are semi-diameters of the ellipsoid. Point B_0 , the mass center of B , lies on S_1 , a distance h from S_0 . In formulating equations of motion, it is convenient to introduce dextral sets of mutually perpendicular unit vectors b_i and n_i ($i=1,2,3$), fixed in B and N , respectively, with b_i parallel to S_i ($i=1,2,3$), and n_1 directed vertically upward and perpendicular to the planar surface of N in contact with B . The orientation of B in N is found by first aligning b_i with n_i ($i=1,2,3$), and then subjecting B to the rotations described in magnitude and direction by q_1b_1, q_2b_2, q_3b_3 .

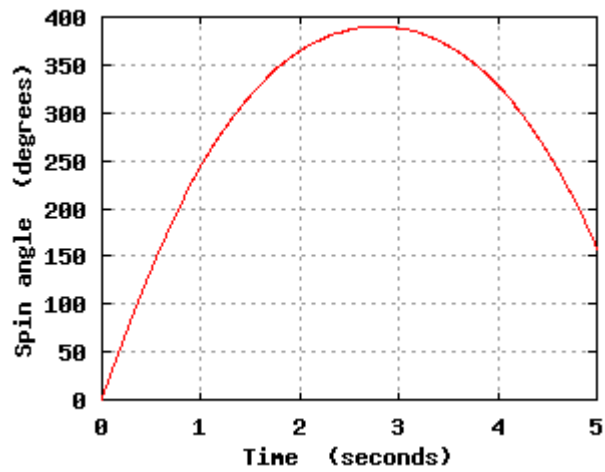
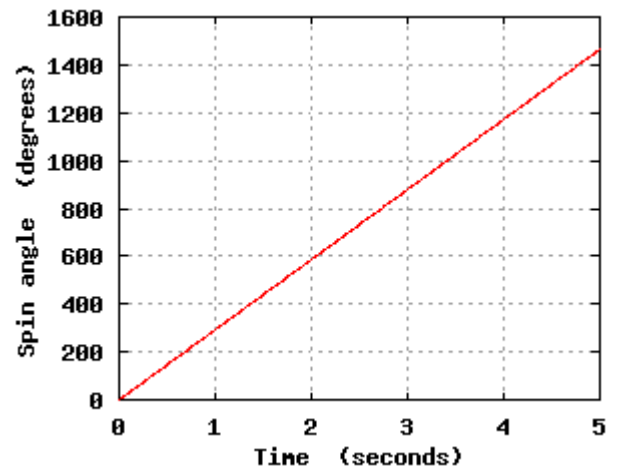
System Identifiers

Description	Symbol	Value
Semi-diameter of ellipsoid	a	2 cm
Semi-diameter of ellipsoid	b	20 cm
Semi-diameter of ellipsoid	c	3 cm
Local gravitational constant	g	9.81 m/sec ²
Distance from B_0 , the mass center of B , to S_0	h	1 cm
Mass of B	m	1.0 kg
Central moment of inertia of B parallel to b_1	I_{11}	17 kg*cm ²
Central moment of inertia of B parallel to b_2	I_{22}	2 kg*cm ²
Central moment of inertia of B parallel to b_3	I_{33}	16 kg*cm ²
Central product of inertia of B for b_2 and b_3	I_{23}	0.2 kg*cm ²
q_1 Orientation angle	q_1	0.0 degrees (initial value)
q_2 Orientation angle	q_2	0.5 degrees (initial value)
q_3 Orientation angle	q_3	-0.5 degrees (initial value)
w_1 measure number of the angular velocity of B in N	w_1	5.0 rad/sec (initial value)
w_2 measure number of the angular velocity of B in N	w_2	0.0 rad/sec (initial value)
w_3 measure number of the angular velocity of B in N	w_3	0.0 rad/sec (initial value)
Time	t	0 to 5 seconds

Shown below are two lists of files relevant to analyzing the behavior of the rattleback. The files on the left use a Newton-Euler analysis, whereas those on the right use Kane's method. Examination of these files reveals that it is easier and more efficient to employ Kane's method than it is to perform a Newton-Euler analysis.

Description	$F=ma$	$F_r + F_r^* = 0$
Autolev input file	rattlebackNewton.al	rattlebackKane.al
Autolev responses	rattlebackNewton.all	rattlebackKane.all
Matlab code created by Autolev	rattlebackNewton.m	rattlebackKane.m
C code created by Autolev	rattlebackNewton.c	rattlebackKane.c
Fortran code created by Autolev	rattlebackNewton.f	rattlebackKane.f
C/Fortran input file	rattlebackNewton.in	rattlebackKane.in

The file `rattlebackKane.1` was created by running the Matlab, C, or Fortran code, and the data in this file were graphed with Autolev's plotting program. The graph on the left clearly shows the spin reversal of the rattleback. The rattleback provides an excellent demonstration of the effect of product of inertia on motion. For example, setting the product of inertia I_{23} to 0 results in no spin reversal, as can be seen from the following graph on the right.

Rattleback Spin Angle q_1 showing Spin Reversal**Rattleback Spin Angle q_1 with no Spin Reversal**

From www.tam.uiuc.edu/celt



The Rattleback

The rattleback, or celt, is one of those science toys that seems so simple, yet behaves in a highly counterintuitive way. It has fascinated people of all ages-- and challenged even accomplished scientists.

Smooth stones with the odd behavior displayed by the celt have been discovered by peoples around the globe.

Basically, when spun one way about its vertical axis, the celt will spin for a long time. When spun the other way, however, an ever amplifying wobble sets in ultimately bringing the spin to a halt and then -- almost miraculously - reversing it! In his key paper of 1986 Sir Hermann Bondi wrote: "Many people, even trained scientists, find it hard to understand that the behaviour of the toy doesn't violate the principle of conservation of angular momentum." That's the attraction - this simple device, this toy, displays behavior that deviates from what we have learned to expect from similar devices spun over a lifetime of empirical observation.

There is no real mystery, of course. The laws governing the motion of the celt are quite clear and have a long history. Newton's second law, and the law for the change of angular momentum, the 'torque rule', must apply. Then there is the tricky constraint of rolling motion, since the celt rolls, mostly without slipping, on the supporting surface. And the constraint of rolling can have somewhat unfamiliar consequences. It can certainly lead to more complex motions than those of a solid body rotating with a fixed point that we know about from playing with conventional tops.

There isn't a simple, two-line explanation of why the celt behaves the way it does. A long and complicated discussion of the equations of motion is required. In our science much of the fascination is with the complex nature of the solutions to reasonably well established laws of physics: how do solids break? how do fluids flow? how does sound propagate? how does one understand phenomena such as fracture, fatigue, combustion and turbulence from the underlying laws of physics? And how, once that understanding is obtained, does one use the results to make stronger materials, control fluid flows, arrest cracks, and extinguish flames? The celt toy is just an example. Can you analyze it? Can you understand its behavior? Can you build a better celt based on your analysis and understanding? If you find such challenges interesting, you are well on your way to becoming a mechanician!



We're using the celt to make a point:

Mechanics (the science) is challenging and fun!

'We' are the mechanics department at the University of Illinois, Urbana-Champaign. Formally we're known as the Department of Theoretical and Applied Mechanics. Affectionately, we're just known as TAM. We're a small department by Illinois standards -- just 20 faculty. We teach and do research across the entire spectrum of the mechanical sciences.



[Movie](#) of a Russian rattleback with rotatable end weights. (QuickTime 2.8 MB)

(References

- Bondi, Sir Hermann, "The rigid body dynamics of unidirectional spin." Proceedings of the Royal Society (London) A405 (1986) pp. 265-274.
- Garcia, A. & Hubbard, M. "Spin reversal of the rattleback: theory and experiment." Proceedings of the Royal Society (London) A418 (1988) pp. 165-197.
- Walker, G. T. "On a dynamical top." Quarterly Journal of Pure and Applied Mathematics 28 (1896) pp. 175-184.