

# PAINEL DE EXPERIMENTOS AUTO-SERVIÇO 1



## Relatório Final

**Aluno:** Ricardo César Ananias  
**e-mail:** [r.ananias@pop.com.br](mailto:r.ananias@pop.com.br)

**Orientador:** Prof. José J. Lunazzi  
**e-mail:** [lunazzi@ifi.unicamp.br](mailto:lunazzi@ifi.unicamp.br)

**Disciplina:** F-609

**7 de junho de 2008**

## ÍNDICE

Resumo.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	3
2. DESCRIÇÃO.....	4
3. APERFEIÇOAMENTO DO PAINEL.....	5
4. CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO PAINEL AUTO SERVIÇO.....	6
5. APLICAÇÕES DIDATICAS.....	18
6. CONCLUSÃO.....	19
REFERÊNCIAS.....	20
APÊNDICE A.....	20
APÊNDICE B.....	25

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo facilitar o acesso de alunos de ensino médio a experimentos de física de fácil compreensão através de um Painel de auto-serviço, dando-lhes a oportunidade de interagir de forma livre com as experiências. Isso será feito apresentando o painel sem que haja uma grande interferência entre o contato dos alunos com o painel. As perguntas que surgirem podem ser tratadas através de perguntas diretas com o auxílio de uma “caixa de sugestões” a ser implementada.

## INTRODUÇÃO

Através desse trabalho, buscamos primeiramente a disseminação do conhecimento científico a alunos ou não-alunos de várias idades e graus de instrução. Contudo num primeiro momento, o trabalho será virado aos estudantes do ensino médio.

Esse projeto agrupa alguns experimentos de fácil confecção e baixo custo de produção em um painel de manuseio simples de forma objetiva. Fazendo com que os alunos interajam com as experiências é possível observar, por exemplo, seu conhecimento em Física básica, mas, além de objetivos puramente escolares, objetivamos acima de tudo o simples processo de conhecimento das ciências naturais, principalmente física, de um modo descomplicado e que tenha uma forte ligação com o cotidiano dos participantes.

Uma de nossas principais propostas para colocar o projeto em prática é a “mínima interferência”. Trata-se de dar total liberdade aos participantes de interagirem com o painel sem nenhum tipo ou com pouca instrução prévia. Claro que, alternativamente, deve ser criado um outro mecanismo de coleta de dúvidas que venha a surgir com a interação, isso pode ser feito, por exemplo, através de uma caixa de sugestões e dúvidas. Com isso, podemos inclusive deixar o painel fixado em um local por e certo período de tempo, sem a presença de “monitores” despertando (ou não) a curiosidade dos que freqüentam tal local. Esse local pode ser uma escola, um cursinho ou até mesmo o ambiente acadêmico da Universidade.

No painel de auto-serviço 1, que é o que será tratado aqui serão reproduzidos quatro experimentos, são eles: a braquistócrona (curva de menor tempo), a lâmpada como lupa, pêndulos acoplados e um experimento de indução eletrostática.

## DESCRIÇÃO

O painel de auto-serviço que será construído possuiu os seguintes quatro experimentos fixados sobre ele:

- Braquistócrona
- Lâmpada como lente e lupa
- Indução eletrostática por atrito
- Pêndulos acoplados

Cada experimento deverá vir acompanhado de uma curta descrição fixada no painel, tal descrição deve incentivar a interação e auxiliar ao menos com o início da experimentação.

A seguir é apresentada uma breve descrição de cada experimento do painel.

### **A braquistócrona**

Trata-se de uma curva que minimiza o tempo de deslocamento sob a ação do campo gravitacional da Terra. Em outras palavras, é um caminho que conduz ao menor tempo possível para ir de um ponto ao outro, de cima para baixo. Para demonstrar esse fato, será feita a comparação direta com o menor caminho entre dois pontos, a reta, e a braquistócrona evidenciando que nem sempre o menor caminho entre dois pontos conduz ao menor tempo.

### **A lâmpada como lente e lupa**

Nessa experiência, uma lâmpada doméstica comum de 60W ou 100W é “esvaziada”, ou seja, tem seus componentes internos removidos e então é preenchida com água mas não completamente. Assim, ao ser colocada na posição horizontal, a lâmpada irá apresentar uma bolha devido a ausência de água que será usada como lupa e também como lente esférica.

### **A indução eletrostática por atrito**

Nesse experimento um copo plástico pequeno (200 ml) será furado no fundo com um palito de dente de madeira que apoiará um canudo plástico dobrado. Com um segundo palito a ser atritado com o cabelo pode-se observar uma indução eletrostática ao aproximar os canudos. Um efeito a mais é visto quando o canudo que está sobre o copo gira um pouco.

## Os Pêndulos acoplados

Aqui será construída a experiência de acoplamento de pêndulos, já famosa. Dois pêndulos idênticos são fixados sobre uma linha horizontal não muito esticada e espaçados simetricamente. Ao se colocar um dos pêndulos para oscilar, pode-se notar a transferência de energia de um pêndulo para outro, chegando um deles a parar e o outro atingir a mesma amplitude da outro! Os pêndulos podem ser construídos com barbante e porcas de parafuso.

## APERFEIÇOAMENTO DO PAINEL

A primeira etapa do trabalho foi definir o local onde seriam realizadas as atividades. Ao saber o que aluno André, aluno da mesma disciplina e participante do mesmo projeto, iria realizar a construção dos painéis em seu local de trabalho, o Planetário de Campinas, localizado do Parque Portugal (Taquaral), decidi em me juntar a ele e construir os painéis de forma conjunta. Essa opção foi feita devido a existência de uma oficina muito bem equipada que há no local. Nos encontrávamos para trabalhar em dias alternados sempre durante a tarde, visto que era o tempo que ambos dispúnhamos.

Felizmente, o André já havia conseguido transportar dois painéis para a oficina, com isso pudemos começar a trabalhar imediatamente.

Nossa primeira preocupação foi com o experimento da braquistócrona. André sugeriu que usássemos uma mangueira transparente, visto que nos concordávamos com a não adequação do uso de canaletas uma vez que os painéis que foram preparados por outros alunos em outros semestres mostravam alguns problemas, sendo o principal deles o fato de que as bolinhas de testes poderiam deixar o trajeto antes de chegar ao final. A mangueira obviamente deveria ser transparente, e foi assim que a compramos. A fixação no painel seria feita com abraçadeiras e rebites. Definido o material a ser usado na braquistócrona, surgiu o problema de construí-la sobre o painel mas esse foi resolvido rapidamente.

Passamos então para a lâmpada. Nessa etapa não houveram grandes problemas visto que foi mantida a idéia e método de construção anteriores, pois estes eram suficientemente bons.

Para o experimento de indução eletrostática, uma pequena inovação foi introduzida apenas no método de fixação do conjunto no painel. Foi pensada uma maneira fácil de se colocar e retirar o experimento do painel com facilidade, pensando principalmente no momento de transportá-lo.

Em seguida voltamos as atenções para a experiência do pêndulo acoplado. Mais uma vez André surgiu com uma ótima idéia. Após conversar com um dos funcionários do Planetário,

chegamos a conclusão de que poderíamos fixar as hastes dos pêndulos com um cano de PVC e com os respectivos encaixes (caps). Desse modo, a fixação seria boa e, além disso, a remoção e encaixe do conjunto seriam bastante facilitados.

A parte final se baseou na elaboração dos cartazes explicativos que serão afixados no painel. Mantivemos a idéia de que fosse possível a interação dos visitantes com os experimentos com o mínimo de interferência externa.

## CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO PAINEL DE AUTO SERVIÇO

A partir desse ponto faremos uma descrição detalhada da montagem e da utilização do painel 1, descrevendo cada experimento.

Os experimentos foram fixados sobre um painel tipo quadro branco com dimensões de aproximadamente 2 x 1,5 metro.

### **Braquistócrona**

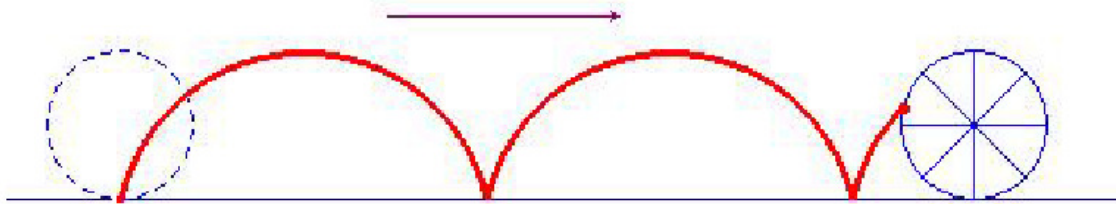
Este experimento consiste em dois caminhos diferentes que partem de um mesmo ponto e chegam a um outro ponto em comum. A experiência consiste em lançar um objeto esférico em cada um dos caminhos ao mesmo tempo e observar qual chega ao final antes. O caminho de menor tempo aqui construído é a braquistócrona, descrita na **referencia**.

### Materiais

- Mangueira plástica tipo Cristal (transparente) **MEDIDA**
- Abraçadeiras metálicas **MEDIDA**
- Rebites e Rebitadeira
- Esfera metálica para teste

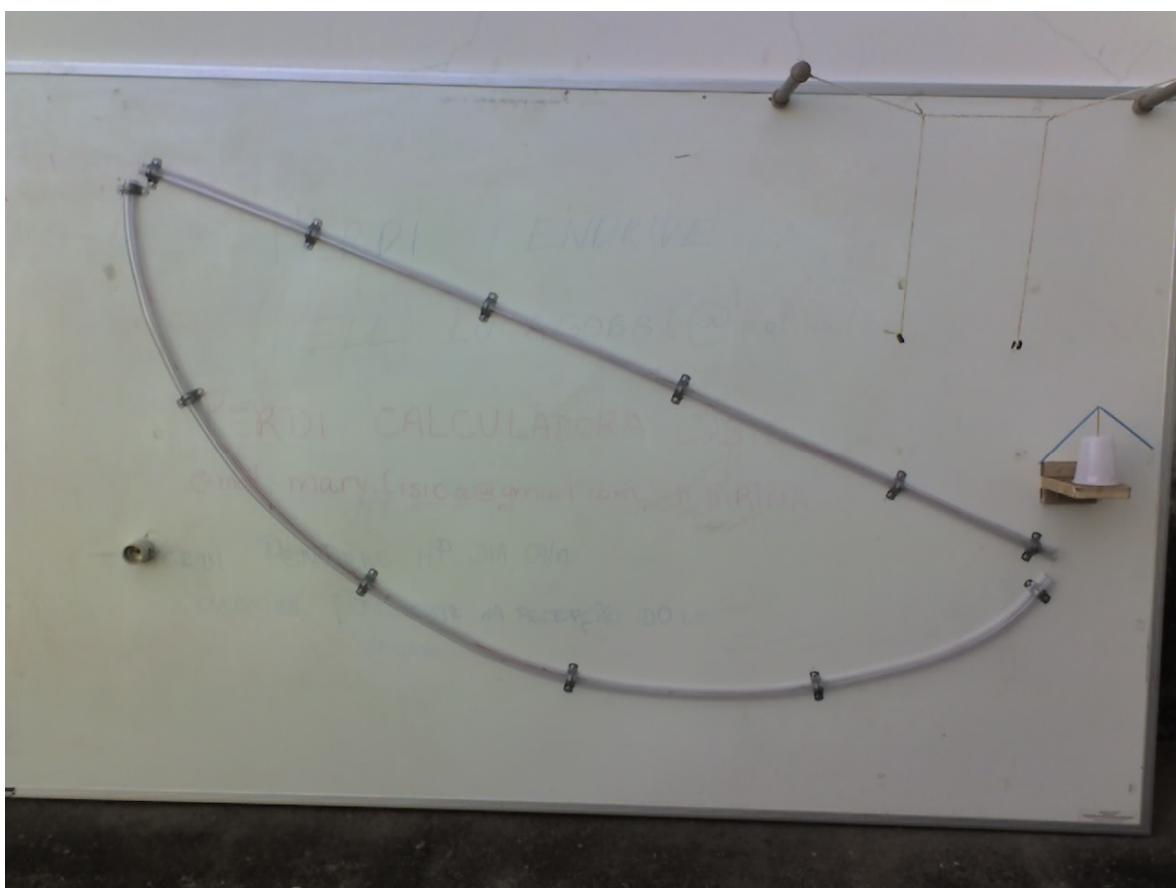
A trajetória que usa o menor tempo entre dois pontos, sob uma força gravitacional constante é uma cicloide. Essa é a curva traçada por um ponto da borda de uma roda que rola sem deslizar. Uma curva com essa propriedade é chamada pelo nome de braquistócrona, que vem do grego e significa simplesmente "curva de tempo mínimo".

Além disso, a braquistócrona é uma cicloide, só que invertida. É baseado nisso que construiremos essa curva no quadro.



**Figura 1.** A cicloide e sua construção. A braquistócrona é uma cicloide invertida.

Em primeiro lugar, posicionamos uma reta base para traçar a cicloide, isso foi feito com um pedaço comprido de madeira. Em seguida fixamos uma caneta de quadro branco na lateral de um tambor cilíndrico de cerca de 40 cm de raio da base. A partir daí, o que se fez foi desenhar a cicloide, rolando (sem deslizar) o tambor sobre a reta base conforme a caneta ia fazendo o desenho que desejávamos. Feito isso, colocamos e fixamos a mangueira usando as abraçadeiras e os rebites. O resultado obtido pode ser visto na figura a seguir:



**Figura 2.** A braquistócrona feita com mangueira tipo cristal. Acima está a reta base de construção da cicloide e que também é usada para comparação dos tempos de percurso.

Para experimentar, basta soltar uma bolinha de aço em cada curva, ao mesmo tempo, e verificar que a bolinha que percorre a cicloide chega ao final do caminho antes da bolinha que foi solta na reta. É pertinente lançar algumas perguntas antes mesmo de as pessoas interagirem com o experimento, como: “Por qual caminho se espera que a bolinha chegue antes?”, “Qual dos caminhos é menor?”.

### Teoria

A trajetória que usa o menor tempo entre dois pontos, sob uma força gravitacional constante é uma cicloide. Essa é a curva traçada por um ponto da borda de uma roda que rola sem deslizar. Uma curva com essa propriedade é chamada pelo nome de braquistócrona, que vem do grego e significa simplesmente "curva de tempo mínimo". Todo desenvolvimento histórico e teórico, exemplos de montagem, pode ser obtido através das referências [6] e [7].

A equações finais que descrevem a curva são:

$$x = R [t - \text{sen}(t)]$$
$$y = R [1 - \text{cos}(t)]$$

Onde  $R$  é o raio da roda e  $t$  o deslocamento angular. Os parâmetros devem ser ajustados para passar pelo ponto final da trajetória especificada.

### **A lâmpada como lente e lupa**

Aqui construímos um aparato que pode servir tanto como lente de aumento como “projedor” de imagens reais.

### Materiais

- Lâmpada incandescente 60 W ou 100 W, podendo estar queimada.
- bocal (soquete) para encaixe da respectiva lâmpada
- Parafuso para fixar o bocal no painel
- Adesivo tipo epóxi para vedação

O primeiro passo é remover todos os componentes internos da lâmpada.

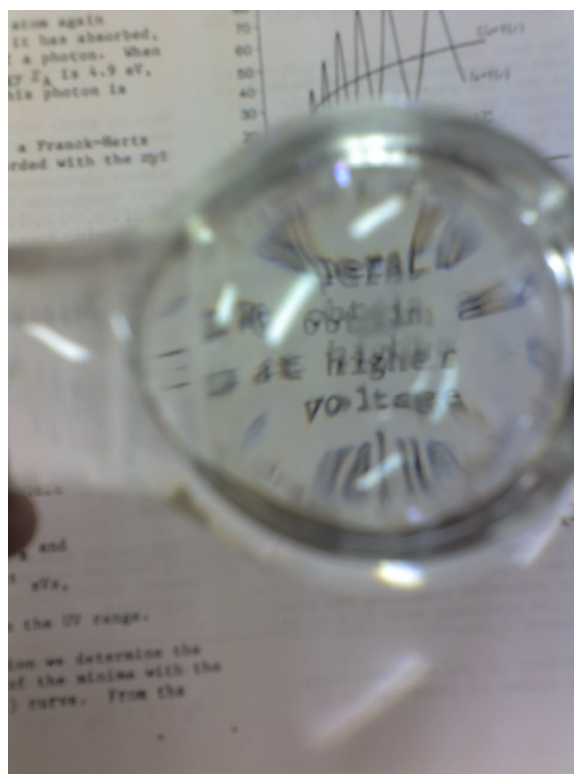
**DEVE-SE TOMAR MUITO CUIDADO NESSA ETAPA! A LÂMPADA PODE QUEBRAR E HÁ PERIGO DE SE FERIR COM OS FRAGMENTOS.**



Isso pode ser feito com o auxílio de uma chave de fenda. Com  **muito** cuidado, basta ir quebrando as partes internas da lâmpada e aos poucos as retirando. Recomenda-se o uso de luvas grossas ou de pedaços de pano para prevenir qualquer ferimento.

Uma vez retirados todos os componentes internos da lâmpada, tratamos de realizar uma limpeza, principalmente interna, do vidro. Isso foi feito deixando uma solução de álcool e água de um dia para o outro dentro da lâmpada.

O passo seguinte tratou de apenas vedar a lâmpada para que a água não vazasse. Para isso foi usada massa tipo epóxi. Houve também a preocupação de permitir que a lâmpada pudesse ser removida do bocal para dar segurança ao transporte do painel.



**Figura 3.** Lâmpada com água sendo usada como lupa.

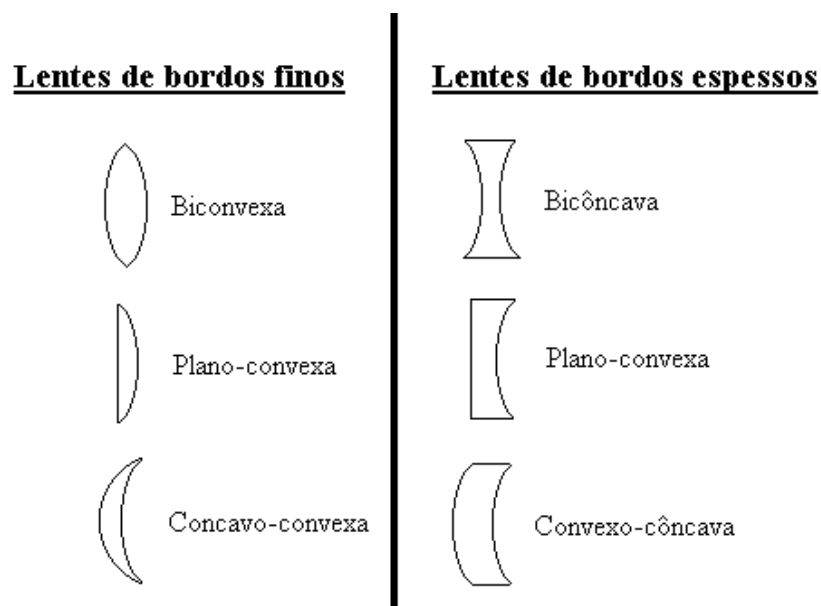
Para experimentar a lente, basta aproximar o que se deseja observar de um lado da lâmpada e olhar pelo outro lado. Deve-se deixar o objeto a ser observado a uma distância em que ocorra a ampliação sem que a imagem seja invertida, portanto a uma distância menor que o foco da lente, isso é uma propriedade das lentes convergentes (veja teoria).

Nossa lente também pode ser usada para projetar uma imagem em um anteparo. Para isso basta colocar uma fonte de luz de um lado da lente e aproximar um anteparo do outro lado. Para boa focalização basta ir aproximando ou afastando o anteparo da lente. Vale lembrar que somente uma imagem real pode ser projetada em um anteparo, felizmente, uma lente convergente sempre

forma imagens reais, com exceção de quando o objeto é colocado entre a lente e o foco ou sobre o foco, quando na verdade é gerada uma imagem imprópria. Detalhes sobre isso são mostrados a seguir na teoria.

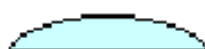
### Teoria [3]

Lentes são objetos translúcidos que apresentam duas superfícies refrativas. A refração é o fenômeno no qual a luz muda sua direção de propagação ao mudar de um meio para outro, como por exemplo, água e ar, ar e vidro etc. O índice de refração ( $n$ ) é uma propriedade de um determinado meio (por exemplo:  $n_{ar} = 1$ ;  $n_{vidro} = 1,52$ ;  $n_{água} = 1,33$ ) e que influencia diretamente a intensidade e a direção do raio de luz refratado. As lentes de aumento são, em geral, lentes de bordos finos mergulhadas em uma substância de índice de refração menor do que o do material de que é formada a lente, *no nosso caso temos uma bolha de ar “imersa” em água*. São usadas para ampliar imagens.



**Figura 4.** Tipos de Lentes.

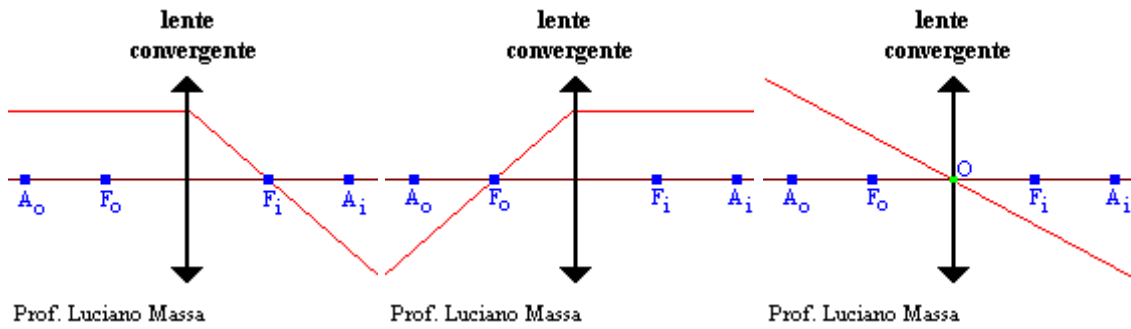
[2] Nesse experimento formamos uma lente plano convexa **convergente**, ou seja, uma das superfícies da lente é plana e a outra, é convexa:



**Figura 5.** O bolha de ar pode ser vista como uma lente “de ar” imersa em água, como mostrado a figura acima.

A superfície curva desvia os raios de luz que passam por ela como se fosse uma lente de aumento. Com isso, vemos uma imagem aumentada do objeto que está do outro lado.

**Raios principais para lentes convergentes** [5]



Um raio de luz que se propaga paralelamente ao eixo principal da lente, sofre refração passando pelo foco imagem.

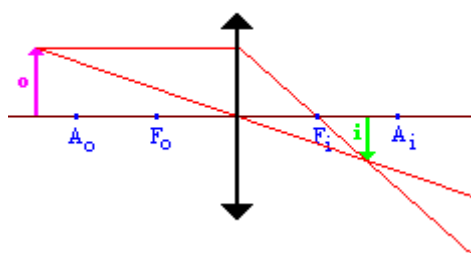
Um raio de luz que se propaga passando pelo foco objeto da lente, sofre refração saindo paralelamente ao eixo principal da lente

Um raio de luz que incide na lente sobre o seu centro óptico, irá refratar sem sofrer desvio algum.

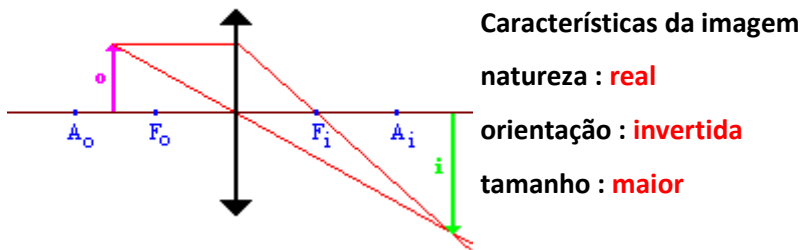
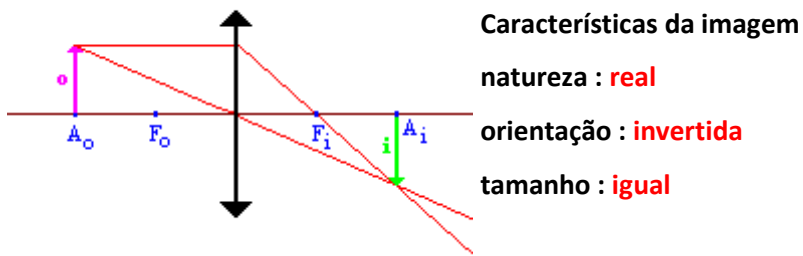
Pontos Notáveis:

- $F_i$  - foco imagem
- $A_i$  - ponto antiprincipal imagem
- $F_o$  - foco objeto
- $A_o$  - ponto antiprincipal objeto
- $O$  - centro óptico da lente

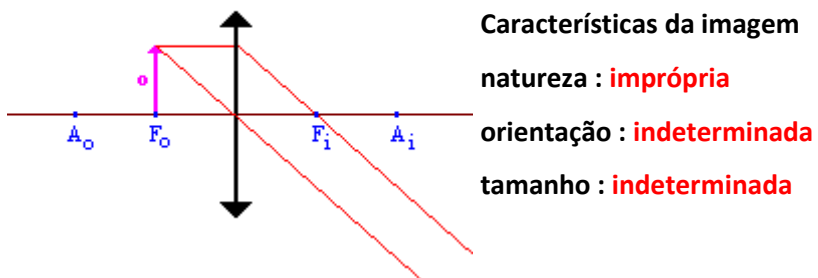
Vejamos então como fica cada uma das construções de imagem possíveis para a lente convergente.



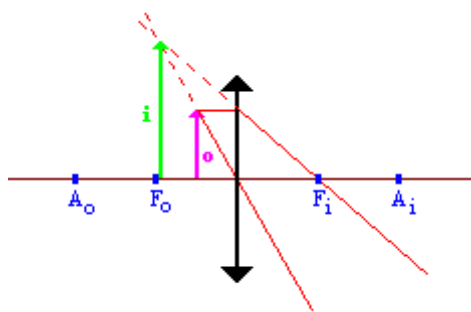
- Características da imagem**
- natureza : **real**
  - orientação : **invertida**
  - tamanho : **menor**



Até aqui você pode perceber que quanto mais aproximamos o objeto da lente mais sua imagem aumentará de tamanho. E que nestes três casos ela será invertida e real. A vantagem de uma imagem real é que ela pode ser projetada em um anteparo (uma tela, parede etc...)



Neste exemplo você pode perceber que não há formação de imagem. Quando o objeto é colocado sobre o foco é isso o que acontece. Dizemos que a imagem está localizada no infinito, lugar imaginário onde duas retas paralelas se encontram.



#### Características da imagem

natureza : **virtual**

orientação : **direita**

tamanho : **maior**

Este é o único caso onde uma lente convergente gera uma imagem virtual e direita. A desvantagem de uma imagem virtual é que ela não pode ser projetada em um anteparo.

---

### A indução eletrostática por atrito

Esse experimento consiste na eletrização por atrito de um canudo de plástico que posteriormente será aproximado a um outro canudo eletricamente neutro para assim se verificar a eletrização por indução desse segundo canudo. Essa experiência é uma das mais atraentes ao público, por ser bastante fácil de se entender e de interagir, além de ser simples de se reproduzir em casa.

#### Materiais

- 2 canudos plásticos
- 1 palito de dente
- Copo plástico pequeno (200 ml)

A construção do experimento se inicia se fazendo um pequeno furo no copo plástico, isso pode ser feito com uma agulha de costura, esse furo deve ser pequeno o suficiente para que o palito fique preso, ou seja não caia ao se colocar o canudo em cima. Em seguida é feito um furo no centro do canudo plástico e este é parcialmente dobrado a partir desse furo, então basta colocar o copo virado para baixo, encaixar o palito do furo e o canudo sobre o palito e está pronto o experimento. Observe a figura abaixo para visualização:



**Figura 6.** O experimento de indução eletrostática por atrito.

A construção do suporte para se fixar o experimento ao painel é simples. Fixamos dois pedaços de madeira ao quadro com um espaçamento entre eles de tal modo que o suporte do copo de plástico se encaixasse com firmeza. Essa construção facilita a remoção do conjunto, quando for necessário, por exemplo, o transporte do painel.

A experimentação é muito interessante. Atrita-se um dos canudos ao cabelo, por exemplo, em seguida aproxima-se o canudo atritado ao que está sobre o palito de dente e o copo e pode-se observar o segundo canudo girar sobre o palito de dente devido a força de atração eletrostática que surgiu.

### Teoria

#### ELETRIZAÇÃO POR ATRITO [4]

Quando atritamos dois corpos feitos de materiais diferentes, um deles transfere elétrons para o outro de modo que o corpo que perdeu elétrons fica eletrizado positivamente enquanto o corpo que ganhou elétrons fica eletrizado negativamente.

Experimentalmente obtém-se uma série, denominada **série tribo-elétrica** que nos informa qual corpo fica positivo e qual fica negativo. A seguir apresentamos alguns elementos da série:

... vidro, mica, lã, pele de gato, seda, algodão, ebonite, cobre...

quando atritamos dois materiais diferentes, aquele que aparece em primeiro lugar na série fica positivo e o outro fica negativo.

Assim, por exemplo, consideremos um bastão de vidro atritado em um pedaço de lã (Figura 7). O vidro aparece antes da lã na série. Portanto o vidro fica positivo e a lã negativa, isto é, durante o atrito, o vidro transfere elétrons para a lã.

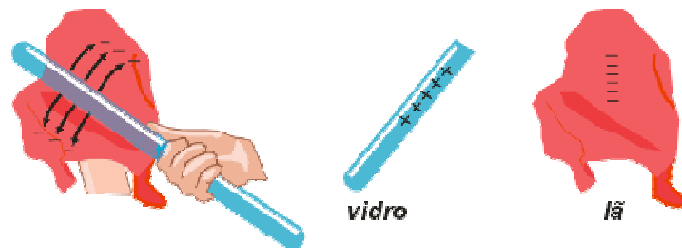


Figura 7. Atritando Lã e vidro.

Porém, se atritarmos a lã com um bastão de ebonite, como a lã aparece na série antes que a ebonite, a lã ficará positiva e a ebonite ficará negativa (Figura 8).

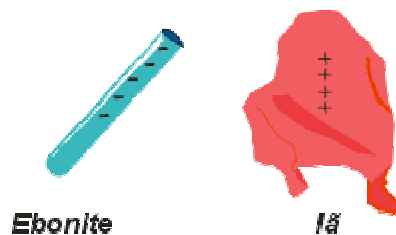


Figura 8. Atritando lã e ebonite.

#### ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO [4]

Na Figura 9 representamos um corpo A carregado negativamente e um condutor B, inicialmente neutro e muito distante de A. Aproximemos os corpos mas sem colocá-los em contato (Figura 10). A presença do corpo eletrizado A provocará uma separação de cargas no condutor B (que continua neutro). Essa separação é chamada de **indução**.

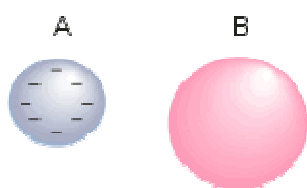


Figura 9.

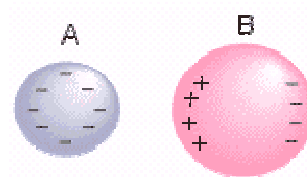


Figura 10.

É durante essa separação de cargas do corpo B que ocorre a aproximação de A com B, caso estes não estejam fixos. É importante que não haja contato entre os corpos pois estará descaracterizada a eletrização por indução.

### **Os Pêndulos acoplados**

Nessa experiência, dois pendulos idênticos são acoplados por um barbante de modo que possa haver uma troca de energia entre os dois. É possível observar alteração na amplitude de oscilação de cada um dos pêndulos, inclusive um pêndulo que está inicialmente parado adquirir a amplitude total do que foi colocado em movimento. Esse experimento é um dos mais fascinantes do painel.

#### Materiais

- Dois pedaços de cano PVC com dois “caps” para cada.
- Fio barbante, cerca de 1,5 m
- Parafusos de fixação
- Chumbadas de pesca ou porcas de parafuso.

A construção é feita primeiramente fazendo um furo em cada caps (uma espécie de tampa) de cano de pvc. É através desse furo que o conjunto será fixado ao painel. Em seguida é utilizado um esmerilhador elétrico em uma das pontas de cada um dos canos para que o encaixe no caps a ser fixado no painel seja facilitado. A outra ponta de cada cano pode ser tampada de maneira definitiva, somente para fins estéticos. O objetivo dessa construção é novamente facilitar a remoção do experimento do painel. Se isso não fosse pensado, não seria difícil que os suportes se quebrassem durante o transporte do painel, que não é simples de se fazer devido ao seu tamanho e formato.

Definida a fixação do conjunto ao painel passamos à montagem do experimento. Os canos de PVC serão espaçados de cerca de 40 cm, prendemos entre eles um fio barbante não muito esticado. Em seguida, fixamos os pendulos idênticos a esse fio espaçados igualmente, ou seja a uma mesma distância de cada um dos canos de fixação. A montagem final é mostrada na figura a seguir.





**Figura 11.** Montagem final do experimento pêndulos acoplados.

A experimentação é feita da seguinte maneira: com um dos pêndulos inicialmente em resouso, o outro pêndulo é colocado para oscilar no plano perpendicular do painel. Ao poucos é possível perceber que o pêndulo que estava inicialmente parado vai ganhando amplitude de oscilação a medida que o primeiro pêndulo vai perdendo. Depois de um certo tempo, o primeiro pêndulo chegar a parar de oscilar enquanto o segundo adquire toda a amplitude do primeiro! Ao se observar por mais tempo, vemos que a situação se inverte: um pêndulo vai adquirindo movimento enquanto o outro vai parando. Não fossem as perdas de energia (de atrito com o ar por exemplo), essa situação poderia continuar indefinidamente.

#### Teoria (simplificada)

Cada pêndulo tem sua frequência natural ou ressonante que é o número de vezes que balança de um lado para o outro a cada segundo. A frequência ressonante depende do comprimento do pêndulo (mas, não depende da massa pendular e nem da amplitude de oscilação!). Pêndulos de maior comprimento têm frequências mais baixas (demora mais para ir e voltar). A cada meia oscilação que o pêndulo executa, ele dá um pequeno puxão no fio para o seu lado e, cada um desses puxões funciona como excitador para o segundo pêndulo que é ressonante com o

primeiro (tem mesma frequência natural que o primeiro). O segundo pêndulo oscila ligeiramente fora de fase com o primeiro. Quer dizer, quando o primeiro está no auge de seu balanço, o segundo pêndulo ainda estará em algum lugar no meio de seu balanço. Assim que o segundo pêndulo começar a oscilar, começa também a dar pequenos puxões no fio para seu próprio lado e, em consequência deles, o primeiro pêndulo começa a perder sua amplitude. Isso ocorre porque esses puxões do segundo pêndulo estão 'fora de fase' com o movimento do primeiro pêndulo. Eventualmente o primeiro pêndulo entra em pleno repouso (isso ocorrerá apenas no caso dos períodos dos dois pêndulos serem iguais). Nessa situação ele transferiu, via barbante, toda sua energia mecânica para o segundo pêndulo. "Toda" é uma situação ideal. Na prática, os atritos dos ganchos contra o barbante, o atrito interno no barbante e a resistência do ar, consomem parte dessa energia mecânica. Assim, ao cabo de diversas transferências de energia de um para o outro, os pêndulos chegam ao repouso. Com algumas montagens isso pode ocorrer após uma centena de transferências.

Se os dois pêndulos não são do mesmo comprimento - não têm o mesmo período -, então os impulsos dos balanços do primeiro pêndulo não ocorrerão à frequência natural do segundo. Os dois pêndulos balançam mas com movimentos desiguais, aos trancos.

É fácil fazer uma previsão do intervalo de tempo durante o qual os pêndulos acoplados trocam suas energias integralmente. Inicialmente conte o número total de oscilações que ocorrem, durante um minuto, quando você abandona simultaneamente ambos os pêndulos de um mesmo lado do barbante e com a mesma amplitude ( $N_1/\Delta t$ ). A seguir, conte o número total de oscilações, durante um minuto, que executam quando abandonados um de cada lado do barbante e ainda com amplitudes iguais ( $N_2/\Delta t$ ). A diferença entre esses dois valores [ $(N_1 - N_2)/\Delta t$ ] será exatamente o número de vezes por minuto que um pêndulo transferirá sua energia para o outro, quando um deles permanece em repouso enquanto o outro é abandonado com certa amplitude. Esse número de oscilações por minuto que obtivemos é a denominada 'frequência de batimento'.

#### APLICAÇÕES DIDÁTICAS

O painel de auto-serviço deverá ser usado em locais onde as pessoas possam interagir livremente com ele. Um desses locais será o próprio Planetário de Campinas. Lá existe uma espécie de saguão onde os participantes das atividades do lugar aguardam até poderem iniciar uma seção do Planetário. Esse local é muito rico para se aproveitar o painel, visto que as pessoas vão até lá já muito curiosos e buscando sempre algo novo. Disponibilizar um material tão interessante quanto esse nosso como "boas-vindas" com certeza atrairá muito a atenção de todos e as interações serão muito produtivas.

## CONCLUSÃO

Desde o início esse trabalho visava aproximar os alunos de fora da vida acadêmica ao contato com a ciência através de experimentos de fácil interação e entendimento. Em cada experiência proposta é explorado algum conceito científico importante para a vida escolar dos que participam. Porém, além de simplesmente tentar ensinar os participantes, tentamos também pensar nas pessoas que já não fazem parte dessa instituição. Isso foi feito ao não se usar termos muito específicos nas descrições das experiências e na própria construção das mesmas, isso possibilita que qualquer pessoa, em qualquer nível escolar, interaja e acima de tudo aprenda e se divirta com esse painel.

Era sabido por nós que esse mesmo trabalho havia sido realizado anteriormente. Consultamos os trabalhos anteriores e procuramos melhorar o que já havia sido feito. Uma das melhorias que vale a pena ser destacada é no experimento da braquistócrona, onde decidimos substituir a rampa com canaletas, que foi construída antes, por uma mangueira transparente. Acreditamos que isso facilitou a visualização do experimento e também evitou alguns problemas como a bolinha escapar do trajeto. Outra melhoria que vale a pena ser mencionada é nos pêndulos acoplados onde substituímos pequenas chapas de metal que serviam de suporte por dois canos de PVC que podem ser removidos com extrema facilidade. Aliás, esse fator de fácil remoção e colocação foi priorizado em praticamente todos os experimentos, salvo somente a braquistócrona, por motivos óbvios. Na lâmpada como lente, isso é muito importante visto que a lâmpada é bastante sensível e transportar o painel com ela afixada seria muito perigoso. Por último, nossa preocupação com a remoção e colocação dos experimentos foi usada na experiência da indução eletrostática. A plataforma na qual é colocada o copo plástico pode ser retirada e recolocada sempre que necessário, facilitando muito o deslocamento do painel.

A apresentação dos experimentos para o público também foi alterada. Procuramos dar explicações mais curtas e simples, indicando somente como deve-se iniciar cada experimento. Com isso pretendemos permitir que qualquer pessoa possa interagir com a maior facilidade possível. Os textos que foram usados estão disponíveis do Apêndice ao final do trabalho.

Para concluir, podemos dizer que o trabalho chegou ao resultado que esperávamos apesar das dificuldades que tivemos. Sem dúvida a maior dessas dificuldades foi ter optado por trabalhar na oficina do Planetário de Campinas, não por causa da estrutura da oficina, que é muito boa, mas unicamente devido às dificuldades de se transportar os painéis até a Unicamp. Visto que o tamanho e formato dos painéis requer o uso de veículos específicos, era sempre muito custoso conseguir o deslocamento destes. Apesar disso, finalizamos os painéis do modo que planejamos e esperamos que nossas expectativas em relação à satisfação do público participante sejam atendidas.

## REFERÊNCIAS

[1] [http://www.geocities.com/prof\\_lunazzi/luneta/instru.htm](http://www.geocities.com/prof_lunazzi/luneta/instru.htm)

Página com alguns experimentos em óptica, inclusive o da lâmpada como lente.

[2] <http://www.bioqmed.ufrj.br/ciencia/AguaLente.htm>

Um pouco sobre lentes e uma experiência diferente para se produzir uma.

[3] <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/opt05.htm>

Aqui é mostrada a experiência de como se construir uma lente de aumento. Acompanha um pouco de teoria e etapas da construção.

[4] [http://conecte.arqui-aju.com.br/aulas/Fisica/Eletrizacao\\_coulomb/Eletrizacao\\_Lei\\_Coulomb.htm](http://conecte.arqui-aju.com.br/aulas/Fisica/Eletrizacao_coulomb/Eletrizacao_Lei_Coulomb.htm)

Aqui podemos ver todos os processos de eletrização e um pouco sobre lei de Coulomb, explicados de maneira simples e bastante ilustrada.

[5] <http://br.geocities.com/galileon/1/lentes/lentes.htm>

Site que mostra a teoria de lente convergente e divergente em nível de ensino médio. Traz figuras e animações que facilitam o entendimento.

[6] <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol7/Num2/v13a10.pdf>

Artigo que traz uma ótima descrição histórica e teórica do problema da braquistócrona. Também traz exemplos de uso no ambiente educacional.

[7] <http://www.famat.ufu.br/revista/revistaset2004/artigos/ArtigoFlavianoLaisEdson.pdf>

Artigo ainda mais completo sobre a braquistócrona.

[8] [http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10\\_34.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_34.asp)

Descrição e exemplos de uso dos pêndulos acoplados.

## APÊNDICE A

Aqui são mostrados os textos que serão afixados ao painel para instruir os participantes em como interagir com os experimentos.

# PENDULOS ACOPLADOS

DESLOQUE UM POUCO  
UM DOS PÊNDELLOS  
“PARA FORA” DO PAINEL  
E OBSERVE O QUE  
ACONTECE.

# **CAMINHO DE MENOR TEMPO**

**SOLTE AS DUAS  
BOLINHAS AO MESMO  
TEMPO EM CADA  
CAMINHO E OBSERVE  
QUAL CHEGA AO FINAL  
ANTES. O QUE VOCÊ  
ESPERA QUE ACONTEÇA?**

# LÂMPADA COMO LUPA

OLHE ATRAVÉS DA BOLHA  
DE AR PARA OBSERVAR  
EFEITOS DE AMPLIAÇÃO E  
PROJEÇÃO QUE  
LÂMPADA COM ÁGUA  
PRODUZ!

## LÂMPADA COMOLENTE E LUPA

Uma lâmpada de filamento preenchida com água pode ser usada como lente e assim projetar e formar vários tipos de imagens. A luz que sai do objeto passa pela lâmpada e forma a imagem no papel que deve ser colocado atrás dessa. Utilize os papéis que estão suspensos ao lado, ajuste a distância para maior nitidez e observe a formação da imagem, pode projetar vários tipos! Funciona também como lupa, coloque algum objeto abaixo da lâmpada e observe através da bolha de ar!



# ELETRICIDADE ESTÁTICA

ESFREGUE UM DOS  
CANUDOS EM SEU  
CABELO E O APROXIME  
(SEM ENCOSTAR!) NO  
OUTRO CANUDO QUE  
ESTÁ SOBRE O COPO.

APÊNDICE B

Referência 8.

**FEIRA DE CIÊNCIAS**  
WWW.FEIRADECIENCIAS.COM.BR

Duvidas? Pergunte ao Professor | Lista Geral | Página Inicial | Envie essa página a um amigo | Autor

<p><b>Trabalhos em física</b> Busque vaga d etrabalho em física. Cadastre currículo no Zap Empregos. <a href="http://www.Zap.com.br/empregos">www.Zap.com.br/empregos</a></p>	<p><b>Testo Fisica</b> Forti Sconti e Spedizione Gratuita! Cerca nel nostro Catalogo Online. <a href="http://www.LibreriaUniversitaria.it/Testi">www.LibreriaUniversitaria.it/Testi</a></p>	<p><b>Mais pique e energia</b> Activia ajuda a melhorar o intestino preguiçoso. <a href="http://www.ActiviaDanone.com.br">www.ActiviaDanone.com.br</a></p>
---	---	--

Ads by Google

[Tudo sobre Feiras](#) | [Projetos 5ª/8ª séries](#) | [Aparelhos indispensáveis](#) | [Cinemática](#) | [Dinâmica](#) | [Estática](#) | [Fluidos](#) | [Física Térmica](#) | [Óptica](#) | [Ondas e Acústica](#) | [Eletrostática](#) | [Eletrodinâmica](#) | [Eletromagnetismo](#) | [Corrente Alternada](#) | [Eletrônica](#) | [Estroboscopia](#) | [Sugestões Didáticas](#) | [Artigos](#) | [Leituras/Teorias Recomendadas](#) | [Fichas – Laboratório de Física](#) | [Eletroquímica](#) | [Motores Gerais](#) | [Mundo Atômico e Relatividade](#) | [Astronomia](#) | [Perpetuum Móibile](#) | [Biologia](#) | [Feynman](#) | [Corredor dos Links](#) | [Colabore](#) |

## Pêndulos Ressonantes Acoplados

(Pêndulos simpáticos)

Prof. Luiz Ferraz Netto  
[leobarretos@uol.com.br](mailto:leobarretos@uol.com.br)

### Introdução

Dois pêndulos idênticos, suspensos lado a lado, oscilam em oposição de fases -- um vai para trás e outro para a frente e vice-versa -- num padrão algo intrigante. Após algum tempo um deles pára completamente, enquanto o outro oscila com amplitude máxima. Lentamente as situações se invertem.

### Material

2 embalagens plásticas para filmes de 35 mm; barro, gesso, moedas ou arruelas; 2 fios de ferro (arame) de 20 cm cada; barbante (1 m de comprimento); 2 suportes de laboratório.

### Montagem



Amarre as extremidades do barbante nas argolas de dois suportes de laboratório, afastando um do outro cerca de 70 cm (se houver espaço essa distância poderá ir a 5 m ou mais!). Perfure os centros das tampas das embalagens de filme e passe as extremidades dos fios de ferro, fazendo um L, para não escapar. As outras extremidades dos fios de ferro são dobradas em forma de pequenos ganchos. Acrescente nas embalagens barro, gesso, moedas ou arruelas e feche-as com as tampas já preparadas. Pendure esses pêndulos no barbante (dê duas voltas do barbante em torno dos ganchos), mantendo algum afastamento entre eles.

### Procedimento

Com suavidade, retire um dos pêndulos de sua posição de equilíbrio, afastando-o perpendicularmente à direção do barbante. Solte-o, para que inicie suas oscilações. Enquanto aquele balança de um lado para o outro, observe que o segundo pêndulo começará lentamente a balançar e, progressivamente irá aumentando sua amplitude de oscilação. Observe que, enquanto um vai aumentando sua amplitude, o outro vai diminuindo sua amplitude de oscilação. Num dado momento, o primeiro pêndulo posto a oscilar pode parar completamente enquanto o segundo exibirá oscilações de amplitude máxima.

A seguir, o processo se inverte. Agora é a vez do segundo transferir energia para o primeiro, através dos pequenos impulsos sincronizados dados no barbante.

O estudante deve experimentar com arames de comprimentos diferentes (porém iguais para os dois pêndulos) e tensões diferentes dadas ao barbante para produzir pêndulos **acoplados** e mutuamente dependentes em maior ou menor grau.

### Teoria simplificada

Cada pêndulo tem sua frequência natural ou ressonante que é o número de vezes que balança de um lado para o outro a cada segundo. A frequência ressonante depende do comprimento do pêndulo (mas, não depende da massa pendular e nem da amplitude de oscilação!). Pêndulos de maior comprimento têm frequências mais baixas (demora mais para ir e voltar).

A cada meia oscilação que o pêndulo executa, ele dá um pequeno puxão no fio para o seu lado e, cada um desses puxões funciona como excitador para o segundo pêndulo que é ressonante com o primeiro (tem mesma frequência natural que o primeiro).

O segundo pêndulo oscila ligeiramente fora de fase com o primeiro. Quer dizer, quando o primeiro está no auge de seu balanço, o segundo pêndulo ainda estará em algum lugar no meio de seu balanço. Assim que o segundo pêndulo começar a oscilar, começa também a dar pequenos puxões no fio para seu próprio lado e, em consequência deles, o primeiro pêndulo começa a perder sua amplitude. Isso ocorre porque esses puxões do segundo pêndulo estão 'fora de fase' com o movimento do primeiro pêndulo.

Eventualmente o primeiro pêndulo entra em pleno repouso (isso ocorrerá apenas no caso dos períodos dos dois pêndulos serem iguais). Nessa situação ele transferiu, via barbante, toda sua energia mecânica para o segundo pêndulo. "Toda" é uma situação ideal. Na prática, os atritos dos ganchos contra o barbante, o atrito interno no barbante e a resistência do ar, consomem parte dessa energia mecânica. Assim, ao cabo de diversas transferências de energia de um para o outro, os pêndulos chegam ao repouso. Com algumas montagens isso pode ocorrer após uma centena de transferências.

Se os dois pêndulos não são do mesmo comprimento --- não têm o mesmo período ---, então os impulsos dos balanços do primeiro pêndulo não ocorrerão à frequência natural do segundo. Os dois pêndulos balançam mas com movimentos desiguais, aos trancos.

### Comentários

É fácil fazer uma previsão do intervalo de tempo durante o qual os pêndulos simpáticos trocam suas energias integralmente. Inicialmente conte o número total de oscilações que ocorrem, durante um minuto, quando você abandona simultaneamente ambos os pêndulos de um mesmo lado do barbante e com a mesma amplitude ( $N_1/\Delta t$ ). A seguir, conte o número total de oscilações, durante um minuto, que executam quando abandonados um de cada lado do barbante e ainda com amplitudes iguais ( $N_2/\Delta t$ ). A diferença entre esses dois valores [ $(N_1 - N_2)/\Delta t$ ] será exatamente o número de vezes por minuto que um pêndulo transferirá sua energia para o