

Relatório Parcial de F809 (Instrumentação para Ensino)

Experiências Utilizando o Banco de Rotações

Aluno: Alexandre Rodrigues (RA 015396)

Orientador: André Koch Torres de Assis

Índice

I - Resumo	3
II - Descrição do Trabalho Já Feito	4
• Aro flexível (achatamento da terra)	4
• Líquido em rotação (espelho parabólico)	5
• Compressor hidrodinâmico	5
• Vasos comunicantes	6
• Tacômetro prático	6
• Taça hemisférica (exercício tradicional)	7
• Verificando uma propriedade (tacômetro de esferas)	7
• Força elástica como resultante centrípeta	8
III - O Que Ainda Falta Fazer	8
IV - Anexo 1	9
• Calha semi-circular	9
• Aro flexível (achatamento da terra)	10
• Líquido em rotação (espelho parabólico)	11
• Força elástica como resultante centrípeta	12
• Vasos comunicantes	13
• Compressor hidrodinâmico	14
• Tacômetro prático	15
• Taça hemisférica (exercício tradicional)	16
• Verificando uma propriedade (tacômetro de esferas)	18
V - Bibliografia	20

I - Resumo

Este trabalho visa ilustrar através de experiências simples alguns fenômenos curiosos relacionados com a rotação. Estes fenômenos muitas vezes passam despercebidos pelos nossos olhos mas que estão presentes em nosso dia a dia.

O objetivo deste projeto é realizar alguns experimentos utilizando o Banco de Rotações (Figura 1) construído pelo aluno Luís Gustavo Vitti no 2º semestre de 2004 como projeto para a disciplina F809 do Instituto de Física da Unicamp, [1]. Os experimentos que pretendemos realizar são, [2]:

- calha semi-circular
- aro flexível (achatamento da Terra)
- líquido em rotação (espelho parabólico)
- força elástica como resultante centrípeta
- vasos comunicantes na rotação
- compressor hidrodinâmico
- tacômetro prático
- taça hemisférica (exercício tradicional)
- verificando uma propriedade (tacômetro de esferas)

Os experimentos visam ilustrar os conceitos relacionados à força centrípeta durante o movimento de rotação. Podem ser utilizados como uma ferramenta didática para auxiliar o professor em sala de aula.



Figura 1: Banco de rotações, [1].

II - Descrição do Trabalho Já Feito

- **Aro flexível (achatamento da Terra)**

Para a construção deste experimento, conforme sugerido em [2] e no Anexo 1, foi utilizado um aro de aço fino e flexível envolto sobre um eixo de ferro fixo. O eixo foi preso perpendicularmente sobre uma chapa de ferro. Com a ajuda de um torneiro mecânico soldou-se a chapa de ferro ao eixo com precisão e também furou-se a lâmina de aço. Foi necessário fazer uma rosca na parte de baixo do eixo para que pudesse prender o aro flexível ao eixo, deixando o aro flexível fixo ao eixo na parte inferior. O restante do eixo é liso. Dessa forma o aro de aço pode deslizar sobre o mesmo quando giramos o conjunto em relação à Terra. Na chapa de ferro foram feitos 2 furos simetricamente colocados em relação ao centro da chapa. Foram feitos também 2 furos no disco de madeira do banco de rotações. Com isto foi possível fixar a chapa de ferro ao disco do banco de rotações utilizando parafusos. Com a rotação do disco em relação à Terra (eixo de rotação vertical passando pelo centro do disco), gira-se todo o conjunto (chapa de ferro horizontal, eixo de ferro e aro flexível). O aro achata-se para se acomodar com o raio de rotação imposto pela resultante centrípeta.

Também afixamos pesos ao equador do aro flexível. Isto torna mais visível o achatamento do aro para uma mesma velocidade angular de rotação do conjunto, em comparação com o caso sem peso no aro flexível. Ou seja, o achatamento é maior com os pesos.

Esta experiência simula o achatamento da Terra. Ou seja, a Terra é achatada nos pólos (a distância de norte a sul é menor do que a distância de leste a oeste) devido à sua rotação diária ao redor do eixo norte-sul (rotação da Terra em relação às estrelas distantes).

Com isso, finalizou-se o trabalho deste experimento (obtenção do material e realização da experiência). O trabalho pode ser visto na figura abaixo (Figura 2):



Figura 2: Experimento do aro flexível (achatamento da Terra).

No caso de todas as outras experiências descritas abaixo, por enquanto apenas obtivemos os materiais para a realização das experiências. Ainda falta fixar os equipamentos ao disco do banco de rotações e realizar as experiências.

- **Líquido em rotação (espelho parabólico)**

Para a construção deste experimento utilizou-se de uma base de ferro com um pequeno eixo perpendicular no centro da base, para encaixar um funil de plástico. No funil será posto um líquido. Também foram feitos 2 furos na base de ferro para fixá-la ao disco do banco de rotações. Descartou-se a idéia de colocar mercúrio como líquido, conforme sugerido em [2] e no Anexo 1, pois vimos que é desnecessário seu uso. No lugar do mercúrio, usaremos água colorida artificialmente para obtermos a forma de espelho parabólico quando houver a rotação. O material a ser usado pode ser visto na foto abaixo (Figura 3):



Figura 3: Experimento do líquido em rotação (espelho parabólico).

- **Compressor hidrodinâmico**

Para este experimento será usado um balde transparente que será fixado com massa durepoxi na base de ferro. Também foram feitos 2 furos na base de ferro para a sua fixação no disco do banco de rotações (Figura 4). O líquido a ser usado será água colorida artificialmente e não mercúrio conforme sugerido em [2] e no Anexo 1, pois achamos isso desnecessário também. O objetivo é mostrar a grande pressão exercida das paredes do balde sobre o líquido devido a força centrípeta. Assim como no experimento do “líquido em rotação” observaremos uma parte do líquido com a forma parabolóide. Com isso, finalizou-se a obtenção do material para este experimento.



Figura 4: Balde usado nos experimentos de compressor hidrodinâmico e vasos comunicantes.

- **Vasos comunicantes**

Neste experimento será usado o mesmo balde do experimento “compressor hidrodinâmico”. O conjunto será fixo na base e também será colocado água colorida artificialmente. Serão usadas uma mangueira transparente e um outro balde idêntico ao primeiro. Mas este segundo balde ficará parado em relação à Terra, fora do banco de rotações. A mangueira será usada para ligar os baldes. Com a rotação do primeiro balde em relação à Terra, o líquido assumirá uma forma parabolóica (como visto nas experiências anteriores). Com isso o nível da coluna de água será menor centro e maior perto das paredes do balde. Os níveis de água no centro dos dois baldes (um em rotação e outro parado em relação à Terra) tenderão a se manter iguais. Com isso, haverá uma sucção de líquido do balde parado para com o balde em rotação. A mangueira e o outro balde já foram providenciados, com isso o material para a construção deste experimento já está completo.

- **Tacômetro prático**

Neste experimento vai ser utilizado um tubo de ensaio grande que pode ser fechado por uma rolha (Figura 5). O tubo foi comprado em uma loja de materiais de química. Será colocado também água colorida artificialmente até a metade do tubo. A rolha será colada com massa durepoxi em uma base de ferro que também foi furada para sua fixação no disco do banco de rotações. Ainda falta providenciar um arame que será pintado como uma escala graduada e será fixado na rolha. O objetivo é mostrar que este instrumento pode servir para medir a velocidade angular de rotação do tubo ao redor do seu eixo. O motivo para isto é que o abaixamento da altura do líquido ao longo do eixo é proporcional ao quadrado da velocidade angular do líquido.



Figura 5: Material do experimento tacômetro prático.

- **Taça hemisférica (exercício tradicional)**

Para este experimento será usado um funil e uma base idênticos ao experimento do líquido em rotação (espelho parabólico), Figura 3. Serão usados bolinhas de gude no lugar de bolinhas de aço ou chumbo, sugeridas em [2] e no Anexo 1. Todo o material já está pronto para este experimento.

- **Verificando uma propriedade (tacômetro de esferas)**

Foram providenciados um disco circular de madeira e 4 bolinhas de gude para este experimento (Figura 6). Falta fazer furos na madeira para encaixar as bolinhas conforme sugerido em [2] e no Anexo 1. Como o encaixe do disco no banco de rotações está difícil de ser obtido, este disco de madeira pode ser substituído por uma ripa de madeira. A ripa terá uma forma semelhante às bases de ferro de outros experimentos. Serão feitos furos na ripa de madeira para servir de encaixe para as bolinhas de gude. O objetivo do experimento será mostrar que, ao girar o conjunto em relação à Terra, as bolinhas colocadas a uma distância radial maior do centro de rotação cairão primeiro, pois estarão submetidas a uma maior força centrípeta.



Figura 6: Disco de madeira que poderá ser substituído por uma ripa para este experimento.

- **Força elástica como resultante centrípeta**

Para este experimento foi montado uma base horizontal de ferro, com um eixo perpendicular ao centro, como em outros experimentos já mencionados, Figura 7. Pensa-se na utilização de um chumbo de pesca que será ligado a uma mola conforme sugerido em [2] e no Anexo 1. A construção deste experimento ainda não foi feita. Temos apenas a base e o chumbo. Falta ainda obter uma mola apropriada e ver como montar toda a experiência.



Figura 7: Base do experimento “força elástica como resultante centrípeta”.

III - O Que Ainda Falta Fazer

A única experiência que já foi montada e testada é a do achatamento da Terra. Já obtivemos o material para as outras 7 experiências descritas na seção anterior. Mas ainda não realizamos as experiências para ver se funcionam. E no caso da primeira experiência descrita neste projeto, a da calha semi-circular, falta ainda não apenas realizar a experiência mas também providenciar o material.

Achamos que a parte mais difícil já foi realizada (obter o material adequado para a maioria das experiências) e acreditamos que poderemos completar todo o projeto inicial até o fim do semestre.

IV - Anexo 1

Informações tiradas de <http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/> em maio de 2005:

F_{cp} - calha semi-circular

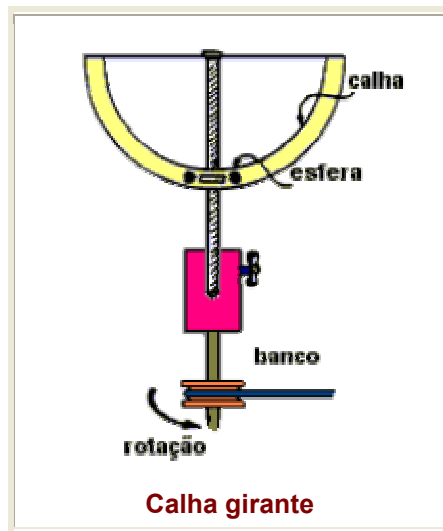
Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

Objetivo

Mostrar que conforme a velocidade angular do sistema aumenta, os raios de rotações das esferas também aumentam, de modo a acomoda-las em novas posições de equilíbrio relativo.

Experimento

A calha pode ser confeccionada em madeira bem lixada, em perfis de alumínio ou mesmo mediante uso de um tubo plástico grosso e transparente. Esse sistema é colocado no devido orifício do banco de rotações.



Use inicialmente esferas de aço de raios iguais e, numa segunda experimentação, de raios diferentes (massas diferentes). Teste com bolas de aço e bolas de vidro. Observe tudo; anote tudo, justifique tudo.

F_{cp} - Aro flexível

(Achatamento da Terra)

Prof. Luiz Ferraz Netto

leobarretos@uol.com.br

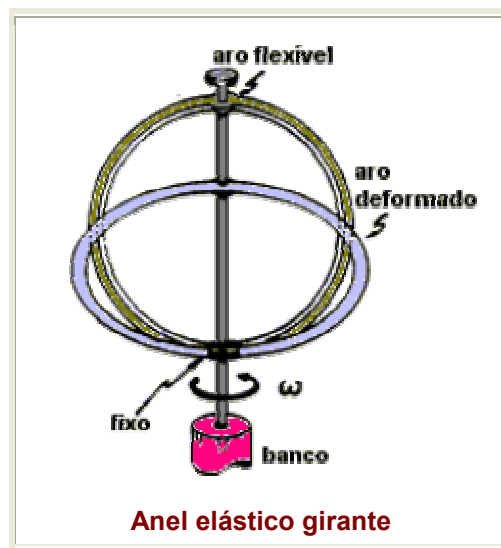
Objetivo

Mostrar o efeito da rotação da Terra sobre as massas do planeta: o achatamento da Terra nos pólos e a elevação da região equatorial.

Experimento

Uma lâmina de aço bem fina, com orifícios conforme se ilustra e um eixo de ferro, permitem a construção desse equipamento que deve ser usado em conjunto com o banco de rotações.

Com a rotação, o aro achata-se para se acomodar com o raio de rotação imposto pela resultante centrípeta.



Duas massas iguais (chumbada para pesca) colocadas diametralmente opostas na horizontal, facilitam o visual (e as explicações, por se tratarem de massas concentradas). O termo "força centrífuga" deve ser citado com cuidado; esse conceito de força impropriamente chamadas 'fictícias' exige um tratamento especial, com referenciais não inerciais. Associe o experimento ao caso do achatamento da Terra.

F_{cp} - Líquido em rotação

(Espelho parabólico)

Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

Objetivo

Se a rotação desse dispositivo é bastante uniforme, obtém-se um espelho parabólico de mercúrio.

Experimento

É conveniente colar um disco plástico transparente na boca da taça plástica transparente, para prevenir perdas de mercúrio. As explicações necessárias são postas em **F_{cp} - Líquido em rotação**, no exercício prático, desta Sala 05 de exposições.



Mercúrio é material tóxico (vapores), caro e muito 'pesado'. Não se recomenda esse experimento na ausência do professor ou responsável adulto sem conhecimento prático do manuseio de mercúrio. Para Feiras de Ciências recomenda-se o uso de água colorida ou óleo lubrificante. Existe no mercado tampas hemi-esféricas para cobrir pães, bolos etc., muito cômodas para o equipamento.

Um trabalho interessante foi apresentado por um aluno na VI Feira da Escola Municipal de Frutal - MG, onde participei da equipe de avaliação dos trabalhos; ele usou cera (obtida de velas derretidas) aquecida e manteve a rotação até completo endurecimento. O trabalho final foi devidamente pintado, resultado numa bela obra inusitada.

Quem dispuser dos ingredientes necessários para preparar o acrílico, obterá interessante 'prato parabólico'.

F_{cp} - Força elástica

(Como resultante centrípeta)

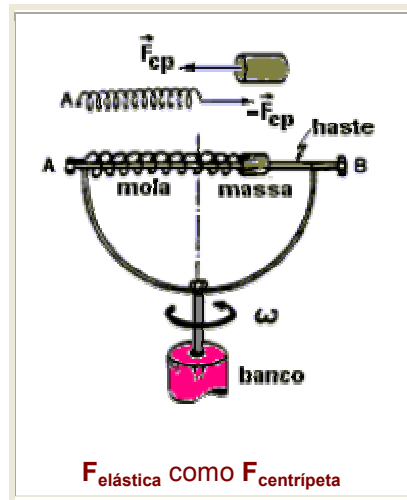
Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

Objetivo

Essa é, notoriamente, a técnica mais usada para determinar as grandezas que intervêm na resultante centrípeta. Ela está totalmente descrita nos livros clássicos de experimentos sobre a força centrípeta.

Experimento

O experimento consiste num balancim de contra-peso cilíndrico, que pode deslocar-se ao longo de um trecho da guia AB. Uma mola, fixa por uma das extremidades em A e a outra presa no cilindro de massa m , exercerá uma força elástica sobre essa massa. Tal força identifica-se com a resultante centrípeta. A deformação da mola ocorre graças à reação da força centrípeta necessária ao movimento da 'massa' ao longo do eixo.



Recomenda-se uma consulta a literatura mais completa sobre esse rotor e o desenvolvimento do experimento para demonstrações em laboratórios universitários.

Fcp - Vasos comunicantes

(Um deles em rotação)

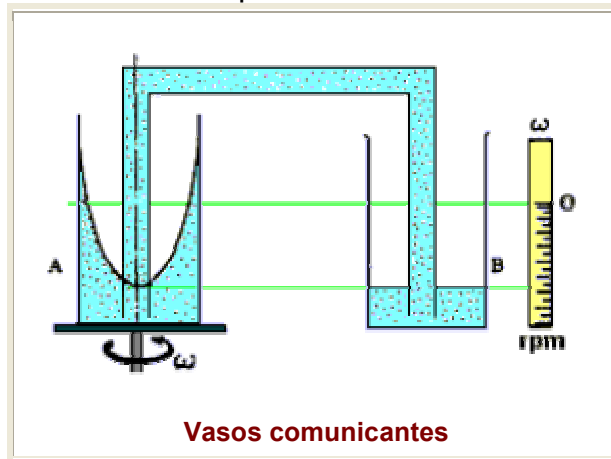
Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

Objetivo

Aplicação dos conceitos postos sobre líquidos em rotação.

Experimento

O nível em B corresponderá sempre ao nível do vértice do parabolóide em A. Com a rotação adequada pode-se até sugar todo o líquido de B para A. Uma vez que o abaixamento H é proporcional ao quadrado da velocidade escalar angular (foi bom ter visto isso no trabalho anterior não?), pode-se aferir o nível em B e teremos um excelente tacômetro líquido.



F_{cp} - Compressor hidrodinâmico

Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

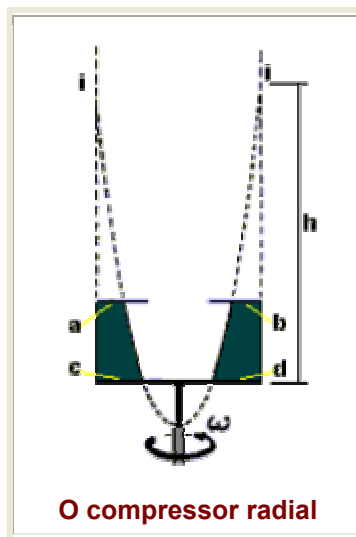
Objetivo

Aplicação dos conceitos postos sobre líquidos em rotação.

Experimento

Um vaso parcialmente fechado em sua borda superior (tipo lata de tinta) contém um pouco de líquido e gira rapidamente. O líquido, que pode ser mercúrio, descobre o fundo e junta-se nos bordos, formando parte de um parabolóide, como já sabemos.

A pressão em (c) e em (d) é a pressão atmosférica acrescida da pressão devida a coluna de altura (ci), que pode tornar-se especialmente alta. A 1200 rpm a pressão em (c) e (d) atinge os 1500 m de água, cerca de 150 atm. Isso serve, entre outras, para fixar bandagens em rodas de aço.



F_{cp} - Tacômetro prático

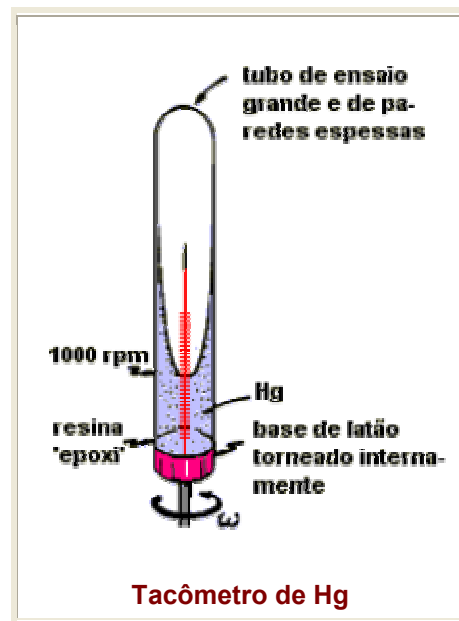
Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

Objetivo

Aplicação dos conceitos postos sobre líquidos em rotação.

Experimento

A essas alturas, pelos trabalhos e estudos anteriores, creio que podemos dispensar as explicações.



F_{cp} - Visualizando um exercício

(Taça hemisférica)

Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

Questão

"Uma taça hemisférica de raio R gira ao redor de um eixo vertical que passa pelo seu centro C , com velocidade escalar angular constante ω . Definir a posição de equilíbrio relativo da bolinha de chumbo M , através do ângulo α ."



Resolução

A resultante de \mathbf{P} e \mathbf{N} é centrípeta. Do triângulo hachurado temos:

$$f_{cp} = P \cdot \operatorname{tg} \alpha ; \operatorname{tg} \alpha = \frac{f_{cp}}{P} = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot DM}{m \cdot g} \text{ ou } \operatorname{tg} \alpha = \frac{\omega^2 \cdot DM}{g} \dots [1]$$

Do triângulo CDM vem : $DM = R \cdot \operatorname{sen} \alpha \dots [2]$

Levando-se [2] em [1]:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\omega^2 \cdot R \cdot \operatorname{sen} \alpha}{g} \text{ ou } \cos \alpha = \frac{g}{\omega^2 \cdot R} \text{ para } \operatorname{sen} \alpha \neq 0$$

Para se obter um valor para α deve-se impor que:

$$\omega^2 \cdot R \geq g \text{ ou } \omega \geq \sqrt{\frac{g}{R}}$$

Se $\omega < \sqrt{\frac{g}{R}}$ a esferinha repousa no fundo da taça (corresponde à solução sen α = 0).

Nota: O mesmo tratamento algébrico deve ser dado ao pêndulo cônico.

Sugestão

Coloque na taça experimental duas dezenas de esferinhas de chumbo ou aço (diâmetro de 2 a 3 mm), ponha a taça a girar e observe o 'anel' que se forma na taça. De você pendurar uma bola de isopor dentro da taça e no plano das esferinhas poderá até falar em 'anéis de Saturno' em sua Feira de Ciências.



F_{cp} - Verificando uma propriedade

($F_{cp} = m \cdot \omega^2 \cdot r$... Tacômetro radial)

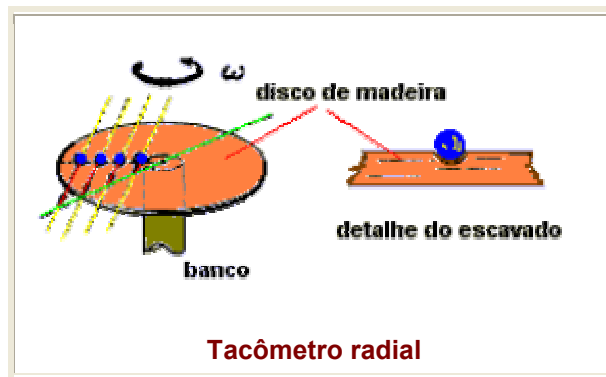
Prof. Luiz Ferraz Netto
leobarretos@uol.com.br

Objetivo

Verificar a dependência entre o máximo valor da velocidade escalar angular e a força necessária para arrancar uma bolinha de sua 'cama'. Idéia do tacômetro.

Experimento

Faça pequenos escavados iguais no disco de madeira, ao longo de um raio (detalhe) e deposite uma bolinha de vidro ou aço em cada um deles. Observe que há um valor máximo de ω , de modo que todas as bolinhas mantenham-se sobre o disco (e é um valor pequeno!).



Há um determinado valor ω' para o qual a bolinha (1) abandona o disco, um outro valor ω'' para a bolinha (2) etc. Perceba que para subir o escavado (e abandonar o disco) cada bolinha tem que vencer uma mesma força radial mínima (que vem a ser exatamente a máxima força centrípeta em cada bolinha). Assim, com $F_{cp} = F_r = \text{constante}$, será $\omega^2 \cdot r = \text{constante}$, o que justifica que, para cada r há um ω adequado para que a bolinha abandone o disco.

Essa conclusão permite-nos marcar ao longo do raio, valores de ω e, com isso obter um tacômetro radial. Você poderá também fixar nosso tacômetro líquido (ver projeto na Sala 05) ao centro do disco para ler cada um desses ω .



Preparo do disco

A força mínima para vencer os obstáculos (escavados) é a mesma para as 4 posições. Cada bolinha, devido à sua posição (r), necessita de um conveniente ω para atingir tal força mínima.

V - Bibliografia

[1] Relatório final do projeto "banco de rotações" apresentado à disciplina F809 do Instituto de Física da Unicamp no segundo semestre de 2004, feito pelo aluno Luís Gustavo Vitti.

[2] Home Page: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala05/> com descrições detalhadas de todos os experimentos listados acima.