

The background of the cover features a faded, light green image of a hammer and several interlocking gears, symbolizing physics and mechanics.

# *Física*

## Mecânica

Organizadores

**Maurício Pietrocola**

**Nobuko Ueta**

Elaboradores

**Anibal Figueiredo**

**Glauco S. F. da Silva**

**Viviane S. M. Piassi**

# 3

## módulo

*Nome do Aluno* \_\_\_\_\_

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Governador: *Geraldo Alckmin*

**Secretaria de Estado da Educação de São Paulo**

Secretário: *Gabriel Benedito Issac Chalita*

**Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas – CENP**

Coordenadora: *Sônia Maria Silva*

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Reitor: *Adolpho José Melfi*

**Pró-Reitora de Graduação**

*Sônia Teresinha de Sousa Penin*

**Pró-Reitor de Cultura e Extensão Universitária**

*Adilson Avansi Abreu*

**FUNDAÇÃO DE APOIO À FACULDADE DE EDUCAÇÃO – FAFE**

Presidente do Conselho Curador: *Selma Garrido Pimenta*

Diretoria Administrativa: *Anna Maria Pessoa de Carvalho*

Diretoria Financeira: *Sílvia Luzia Frateschi Trivelato*

**PROGRAMA PRÓ-UNIVERSITÁRIO**

Coordenadora Geral: *Eleny Mitrulis*

Vice-coordenadora Geral: *Sônia Maria Vanzella Castellar*

Coordenadora Pedagógica: *Helena Coharik Chamlian*

**Coordenadores de Área**

**Biologia:**

*Paulo Takeo Sano – Lyría Mori*

**Física:**

*Maurício Pietrocola – Nobuko Ueta*

**Geografia:**

*Sônia Maria Vanzella Castellar – Elvio Rodrigues Martins*

**História:**

*Kátia Maria Abud – Raquel Glezer*

**Língua Inglesa:**

*Anna Maria Carmagnani – Walkyria Monte Mór*

**Língua Portuguesa:**

*Maria Lúcia Victório de Oliveira Andrade – Neide Luzia de Rezende – Valdir Heitor Barzotto*

**Matemática:**

*Antônio Carlos Brolezzi – Elvia Mureb Sallum – Martha S. Monteiro*

**Química:**

*Maria Eunice Ribeiro Marcondes – Marcelo Giordan*

**Produção Editorial**

*Dreampix Comunicação*

Revisão, diagramação, capa e projeto gráfico: *André Jun Nishizawa, Eduardo Higa Sokei, José Muniz Jr. Mariana Pimenta Coan, Mario Guimarães Mucida e Wagner Shimabukuro*

The background is a light green, semi-transparent overlay on a white background. It features a large clock face in the upper left, a gear in the lower right, and a hand holding a pencil in the center. The text is centered over the image.

***Cartas ao  
Aluno***



Carta da

---

## *Pró-Reitoria de Graduação*

Caro aluno,

Com muita alegria, a Universidade de São Paulo, por meio de seus estudantes e de seus professores, participa dessa parceria com a Secretaria de Estado da Educação, oferecendo a você o que temos de melhor: conhecimento.

Conhecimento é a chave para o desenvolvimento das pessoas e das nações e freqüentar o ensino superior é a maneira mais efetiva de ampliar conhecimentos de forma sistemática e de se preparar para uma profissão.

Ingressar numa universidade de reconhecida qualidade e gratuita é o desejo de tantos jovens como você. Por isso, a USP, assim como outras universidades públicas, possui um vestibular tão concorrido. Para enfrentar tal concorrência, muitos alunos do ensino médio, inclusive os que estudam em escolas particulares de reconhecida qualidade, fazem cursinhos preparatórios, em geral de alto custo e inacessíveis à maioria dos alunos da escola pública.

O presente programa oferece a você a possibilidade de se preparar para enfrentar com melhores condições um vestibular, retomando aspectos fundamentais da programação do ensino médio. Espera-se, também, que essa revisão, orientada por objetivos educacionais, o auxilie a perceber com clareza o desenvolvimento pessoal que adquiriu ao longo da educação básica. Tomar posse da própria formação certamente lhe dará a segurança necessária para enfrentar qualquer situação de vida e de trabalho.

Enfrente com garra esse programa. Os próximos meses, até os exames em novembro, exigirão de sua parte muita disciplina e estudo diário. Os monitores e os professores da USP, em parceria com os professores de sua escola, estão se dedicando muito para ajudá-lo nessa travessia.

Em nome da comunidade USP, desejo-lhe, meu caro aluno, disposição e vigor para o presente desafio.

Sonia Teresinha de Sousa Penin.

Pró-Reitora de Graduação.



Carta da

---

## *Secretaria de Estado da Educação*

Caro aluno,

Com a efetiva expansão e a crescente melhoria do ensino médio estadual, os desafios vivenciados por todos os jovens matriculados nas escolas da rede estadual de ensino, no momento de ingressar nas universidades públicas, vêm se inserindo, ao longo dos anos, num contexto aparentemente contraditório.

Se de um lado nota-se um gradual aumento no percentual dos jovens aprovados nos exames vestibulares da Fuvest — o que, indubitavelmente, comprova a qualidade dos estudos públicos oferecidos —, de outro mostra quão desiguais têm sido as condições apresentadas pelos alunos ao concluírem a última etapa da educação básica.

Diante dessa realidade, e com o objetivo de assegurar a esses alunos o patamar de formação básica necessário ao restabelecimento da igualdade de direitos demandados pela continuidade de estudos em nível superior, a Secretaria de Estado da Educação assumiu, em 2004, o compromisso de abrir, no programa denominado Pró-Universitário, 5.000 vagas para alunos matriculados na terceira série do curso regular do ensino médio. É uma proposta de trabalho que busca ampliar e diversificar as oportunidades de aprendizagem de novos conhecimentos e conteúdos de modo a instrumentalizar o aluno para uma efetiva inserção no mundo acadêmico. Tal proposta pedagógica buscará contemplar as diferentes disciplinas do currículo do ensino médio mediante material didático especialmente construído para esse fim.

O Programa não só quer encorajar você, aluno da escola pública, a participar do exame seletivo de ingresso no ensino público superior, como espera se constituir em um efetivo canal interativo entre a escola de ensino médio e a universidade. Num processo de contribuições mútuas, rico e diversificado em subsídios, essa parceria poderá, no caso da estadual paulista, contribuir para o aperfeiçoamento de seu currículo, organização e formação de docentes.

Prof. Sonia Maria Silva

Coordenadora da Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas



# *Apresentação da área*

A Física é tida pelos estudantes como uma área de conhecimento de difícil entendimento. Por exigir nível de raciocínio elevado e grande poder de abstração para entender seus conceitos, acaba-se acreditando que o conhecimento físico está distante do cotidiano das pessoas. No entanto, se olharmos para o mundo que nos cerca com um pouco de cuidado, é possível perceber que a Física está muito perto: a imagem no tubo de televisão só existe porque a tecnologia moderna é capaz de lidar com elétrons e ondas eletromagnéticas. Nossos veículos automotores são máquinas térmicas que funcionam em ciclos, os quais conhecemos e a partir deles produzimos energia mecânica necessária para nos locomovermos. O Sol é na verdade uma grande fonte de emissão de radiação eletromagnética de diferentes frequências, algumas visíveis e outras não, sendo que muitas delas podem fazer mal à nossa saúde.

Assim, o que pretendemos neste curso de Física é despertar em vocês a sensibilidade para re-visitar o mundo com um “olhar” físico, de forma a ser capaz entendê-lo através de suas teorias.

Serão seis módulos, cada qual tratando de um tema pertencente às seguintes áreas da Física: Luz e Som; Calor; Eletromagnetismo, Mecânica, Energia e Física Moderna. Esses módulos abordarão os conteúdos físicos, tratando aspectos teóricos, experimentais, históricos e suas relações com a tecnologia e sociedade.

A Física pode ser interessante e prazerosa quando se consegue utilizar seus conceitos para estabelecer uma nova relação com a realidade.

Bom estudo para todos!

A coordenação



# *Apresentação do módulo*

Neste texto você encontrará alguns dos temas mais importantes da mecânica. Iniciando pelo estudo do movimento dos corpos celestes e estudando a razão desses movimentos, você entrará em contato com uma nova forma de olhar para o mundo. O estudo das leis de Newton permitirá a sistematização desse novo olhar. Por fim, você será capaz de identificar situações em que existe ou não a aplicação de forças e se isso levará a algum tipo de movimento. Leia com atenção o texto e as seções ***Para você pensar!***: **isso será fundamental para sua aprendizagem. Procure sempre discutir estas seções com o professor e colegas.**

Mas para que você possa realmente compreender a mecânica clássica, você precisará se aprofundar ainda mais nesse assunto, lendo outros livros presentes na bibliografia selecionada no final deste texto. Nesses livros você também encontrará um grande número de exercícios resolvidos e outros propostos para você melhorar seus conhecimentos. Bons estudos!



## Unidade 1

# Gravitação: conceitos e efeitos

### PROCESSO HISTÓRICO

Como sabemos, a ciência não é feita de um dia para o outro, é fruto de um processo de construção que acontece ao longo da História. No caso da Gravitação, não foi diferente. Os fenômenos celestes sempre chamaram a atenção do homem, e de certa forma sempre marcaram o ritmo de sua vida. Havia uma relação das épocas de plantio e colheitas com as posições dos astros celestes.

O processo de construção da Astronomia e da Gravitação teve grande impulso durante o século IV a.C. com os gregos. No modelo de mundo que eles criaram, a Terra estaria situada no centro do Universo (geocentrismo). Dentro dessa concepção do Universo, os planetas, o Sol, a Lua e as estrelas estariam situados em cascas esféricas que giravam em torno da Terra. Isso mostra a idéia que os gregos tinham de tentar explicar o Universo em termos de figuras “perfeitas” como círculos e esferas. Porém, com o grande número de esferas, este modelo tornou-se incompatível com alguns movimentos que eram observados.

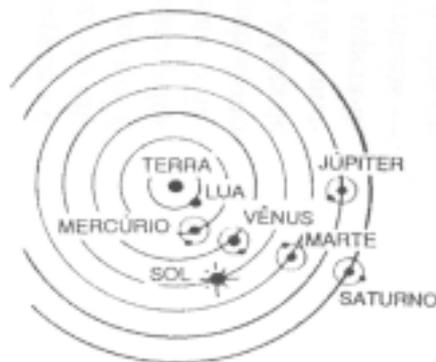


Figura 1.1- Esquema do modelo geocêntrico de Ptolomeu.

Em uma tentativa de melhorar e simplificar o modelo dos gregos, o astrônomo Cláudio Ptolomeu de Alexandria (século II d.C.) supunha que os planetas se moviam em círculos que tinham a Terra como centro. Esta suposição de Ptolomeu se encaixava ainda dentro da idéia dos gregos de usar somente figuras “perfeitas”, no caso os círculos. Este modelo perdurou praticamente por 15 séculos, pois permitiu reproduzir com uma boa aproximação os aspectos mais complicados do movimento planetário. Esta obra de Ptolomeu representa o apogeu da Astronomia antiga. O conjunto de seus escritos é conhecido entre os árabes como o *Almagesto*, que significa “o maior dos livros”.

Organizadores

Maurício Pietrocola

Nobuko Ueta

Elaboradores

Anibal Figueiredo

Glauco S. F. da  
Silva

Viviane S. M. Piassi

Mesmo apresentando uma boa precisão, o sistema de Ptolomeu ainda era muito complicado. Para tentar simplificar este modelo, Nicolau Copérnico, polonês que viveu entre 1473 e 1543, propôs um modelo em que Sol estaria em repouso e os planetas, incluindo a Terra, estariam girando em torno dele. Este é o chamado *modelo heliocêntrico*. A precisão do modelo copernicano era tão boa quanto ao de Ptolomeu, porém simplificou o modelo de Universo, permitindo deduzir pela primeira vez a escala relativa das distâncias dentro do sistema solar e calcular o tempo que os planetas levam para girar em torno do Sol. Copérnico escreveu sua teoria no tratado *Revolutionibus Orbitum Celestium* (Sobre as Revoluções das Esferas Celestes) que foi publicada em 1543, ano de sua morte.

## AS LEIS DE KEPLER

A obra de Copérnico foi baseada em dados obtidos na antigüidade. Somente no final do século XVI o dinamarquês Tycho Brahe (1546- 1601) teve uma idéia diferente: em vez de retirar dados baseados em argumentos filosóficos, resolveu fazer medidas precisas das posições dos corpos celestes. Tycho Brahe estudou a posição dos planetas durante muitos anos em seu observatório na Ilha de Hven, perto de Copenhague. Ele montou tabelas volumosas e percebeu que o modelo de Copérnico não se adaptava de forma tão satisfatória a esses dados.

Essas tabelas e dados que Tycho Brahe obteve constituíram a base do trabalho de seu assistente no observatório, o alemão Johannes Kepler (1571-1630). Kepler acreditava que era possível fazer alguns ajustes ao modelo de Tycho Brahe. Com sua grande habilidade matemática, Kepler conseguiu chegar a três leis do movimento planetário, trabalho que lhe tomou cerca de 17 anos.

A correção ao sistema de Copérnico é expressa na primeira lei que Kepler escreveu onde ele afirma que as órbitas dos planetas são elípticas. Com o enunciado da primeira lei, Kepler rompe com a idéia que universo é configurado por figuras perfeitas, conforme os filósofos da Grécia antiga o idealizavam.

### 1ª Lei de Kepler

*“As órbitas descritas pelos planetas ao redor do Sol são elípticas, com o Sol em um dos seus focos.”*

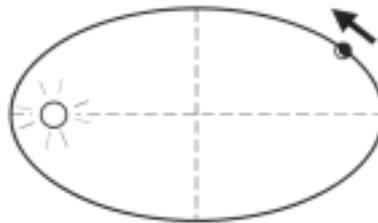


Figura 1.2: Órbita de um planeta em torno do Sol com o formato elíptico. O Sol está em um dos focos.

Seguindo em seu trabalho, Kepler verificou que os planetas não giravam ao redor do Sol com a mesma velocidade. Os planetas se movem mais rápido quando estão mais próximos do Sol e mais devagar quando estão mais longe. Conforme mostra a Figura 1.3, o planeta tem uma velocidade maior entre os pontos A e B do que em C e D. Porém a reta que une o planeta ao Sol, chamada de *raio vetor*, percorre a área  $A_1$  com a mesma velocidade que área  $A_2$  em um mesmo intervalo de tempo.

**ELIPSE, O QUE É ISSO?**

“Uma elipse não é apenas uma oval, mas uma curva que pode ser obtida usando-se duas tachinhas, uma em cada foco, um pedaço de barbante e um lápis. Matematicamente, uma elipse é o lugar geométrico de todos os pontos cuja soma das distâncias de dois pontos fixos (os focos) é uma constante. Ou de maneira mais direta, é um círculo achatado.” (Feynman, R., Física em seis lições Ediouro, Rio, 2001)

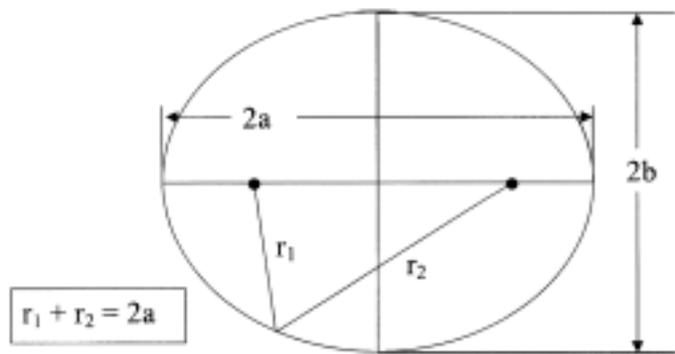


Figura 1.3: Desenho de uma elipse mostrando os semi eixo maior  $a$  e o semi eixo menor  $b$ .

**2ª Lei de Kepler**

“O raio vetor que liga um planeta ao Sol percorre áreas iguais em tempos iguais.”

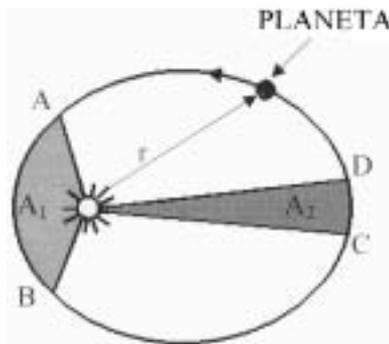


Figura 1.4:  $r$  é o raio vetor que une o planeta ao Sol. Entre A e B, área  $A_1$  e entre D e C, área  $A_2$ . Nessas áreas a velocidade do raio vetor é sempre a mesma.

Em sua última lei Kepler apresentou uma relação diferente das outras duas, pois não lida com um planeta de forma individual, mas relaciona um com outro. Kepler estabeleceu relações entre os períodos de revolução dos planetas e os raios de suas órbitas. Para chegar a isso, ele fez uma aproximação, considerando as órbitas dos planetas circulares (isto é possível, pois o “achatamento” das órbitas é pequeno).

**3ª lei de Kepler**

“Os quadrados dos períodos de revolução são proporcionais aos cubos dos raios de suas órbitas.”

Matematicamente essa lei pode ser escrita como:

$$T^2 = kr^3$$

Sendo  $T$  o período de revolução do planeta,  $r$  o raio da órbita de um planeta (raio-vetor) e  $k$  uma constante de proporcionalidade.

## PARA VOCÊ PENSAR!

Vamos supor que a trajetória de Júpiter em torno do Sol seja representada pela elipse da Figura 1.5. As áreas sombreadas são todas iguais. Responda: a) Se Júpiter leva 1 ano para percorrer o arco AB, quanto tempo levaria para percorrer os outros arcos? Lembre-se de justificar sua resposta. b) Quanto à velocidade do planeta, onde seria maior, onde seria menor? Faça uma pequena lista das velocidades em ordem decrescente.

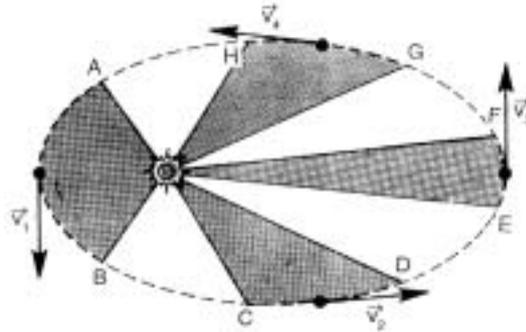


Figura 1.5: Representação da trajetória de um planeta.

## GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Foi o grande cientista Isaac Newton quem, em seus estudos, chegou à causa do movimento dos planetas em torno do Sol. Para Newton, se uma maçã cai da árvore em direção ao solo, é porque deve existir uma força atrativa entre a maçã e a Terra. Da mesma forma, a Lua não “foge” porque existe uma força de atração entre a Terra e a Lua. O mesmo raciocínio vale ainda para o Sol e os planetas.

Começava, desse modo, a construção da Gravitação Universal, que diz que dois corpos quaisquer se atraem com uma força de intensidade  $F$ , chamada força gravitacional, cujo valor é proporcional ao produto das massas desses corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. Matematicamente temos:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

onde  $m_1$  e  $m_2$  são as massas dos corpos envolvidos,  $r$  é a distância entre os centros de massa desses corpos e  $G$  é a constante da gravitação universal cujo valor é

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$$

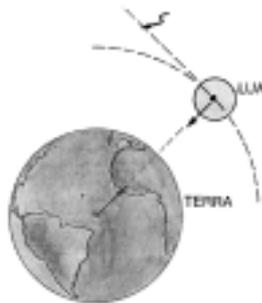


Figura 1.6: A força  $-\vec{F}$  que a Lua faz sobre a Terra possui o mesmo valor e direção que a força  $\vec{F}$  que a Terra faz sobre a Lua.

Vamos fazer uma aplicação da lei de Gravitação para o caso da Terra e da Lua. Para calcularmos o valor da força de atração entre elas, mostrada na Figura 6, precisamos saber a massa da Terra ( $M$ ), a massa da Lua ( $m$ ) e a distância entre elas ( $r$ ), além do valor de  $G$ .

Sendo  $M = 6,0 \times 10^{24} \text{kg}$ ,  $m = 7,4 \times 10^{22} \text{kg}$  e  $r = 3,8 \times 10^8 \text{m}$ , vamos apenas substituir todos os dados:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \Rightarrow F = 6,67 \times 10^{-11} \frac{6,0 \times 10^{24} \cdot 7,4 \times 10^{22}}{(3,8 \times 10^8)^2}$$

$$\Rightarrow F = 2,05 \cdot 10^{18} \text{N}$$

O valor da Força  $F$  pode ser escrito como

$$F = 2050000000000000000 \text{ N.}$$

Vamos considerar o exemplo da maçã de Newton que caiu, supostamente, da árvore. Como já sabemos, ela cai porque existe uma força atrativa entre a Terra e a maçã, de tal modo que a Terra exerce uma força sobre a maçã puxando-a para o seu centro e da mesma forma a maçã atrai a Terra com a mesma intensidade com que é atraída. E por que a Terra não se “mexe” em direção a maçã? Tente calcular a força atrativa entre a Terra e a maçã!

## CAMPO GRAVITACIONAL

Acabamos de ver que os objetos são atraídos uns pelos outros. No caso de objetos de massas pequenas este efeito não é perceptível. Porém, no caso dos corpos celestes o efeito gravitacional é fortemente percebido. Entre a Terra e a Lua, há uma força atrativa, isto é, a Terra exerce uma força sobre a Lua puxando para si, e a Lua exerce da mesma forma uma força de mesma intensidade e direção (com o sentido oposto). Esta situação é muito semelhante à que ocorre quando você empurra uma cadeira com uma força  $F$ ; a cadeira também exerce sobre você uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto. Porém há uma diferença essencial entre os dois casos: a Terra e a Lua não estão em contato, como estava a sua mão e a cadeira. Como explicar o fato de que uma exerce força sobre a outra?

Em uma região onde um objeto (desde a maçã até a Lua, por exemplo) é atraído pela força gravitacional dizemos que existe um *campo gravitacional*. Desta maneira, a força de atração entre a Terra e a Lua, conforme vimos no exemplo da Figura 5, é o resultado da interação entre o campo gravitacional gerado pela Terra e pela Lua. Simultaneamente a Lua sente a força que a Terra exerce sobre ela e vice-versa.

### Quanto vale o campo gravitacional de um planeta?

Vamos retomar a expressão da força gravitacional  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ , sendo  $m_1$  a massa da Terra e  $m_2$  é a massa de um outro corpo. O valor de  $r$  será o raio da Terra, uma vez que qualquer distância entre um objeto e a superfície da Terra é desprezível se comparada ao raio da Terra.

Se quisermos calcular a força de atração entre a Terra e um urubu, apenas o valor de  $m$  é que muda na expressão anterior. Em ambos os casos, a força  $F$  é o que chamamos de peso do objeto (da maçã no primeiro caso e do urubu no segundo). Para facilitar nossos cálculos agruparemos os valores que não variam na expressão acima e chamaremos o agrupamento de  $g$ .

$$g = G \frac{M_T}{r^2}, \text{ assim teremos } F = m \cdot g$$

A relação que chamamos de  $g$  mede a intensidade do campo gravitacional do planeta. Perceba que  $g$  é tanto maior quanto maior a massa do planeta e quanto menor seu raio. Se formos avaliar o valor do campo gravitacional terrestre próximo à Lua, em lugar de  $r$  usaremos a distância entre a Lua e o centro da Terra. Queremos dizer com isso que quando estamos falando de grandes distâncias, o valor de  $g$  é tanto menor quanto mais longe do planeta estiver o ponto em questão.

É importante você perceber que a intensidade do campo gravitacional  $g$  num determinado ponto do espaço é dado pela relação entre a força gravitacional que atua neste ponto sobre o objeto e sua massa. Se quisermos saber com que força uma maçã colocada naquele ponto é atraída pelo planeta em questão, devemos apenas multiplicar o valor de  $g$  naquele ponto pela massa da maçã.

**PARA VOCÊ PENSAR!**

Se a Lei da Gravitação diz que todos os corpos são atraídos uns pelos outros, por que, por exemplo, dois carros parados, um de frente para o outro, não colidem? Estime valores para a massa de cada carro e para a distância entre eles e calcule a atração entre eles.

**PARA VOCÊ PENSAR AINDA!**

*Exercício*

1.1 (Fuvest 1995) A melhor explicação para o fato de a Lua não cair sobre a Terra é que:

- a) a gravidade da Terra não chega até a Lua.
- b) A Lua gira em torno da Terra.
- c) A Terra gira em torno de seu eixo.
- d) A Lua também é atraída pelo Sol.
- e) A gravidade da Lua é menor que a da Terra.

Para tentar exemplificar, vamos imaginar duas pessoas de 100 kg cada uma e separadas por uma distância de 100 m. Então temos:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \Rightarrow F = 6,67 \times 10^{-11} N$$

O valor da força  $F$  pode ser escrito como

$$F = 0,000000000667 \text{ N}$$

Este resultado mostra que a intensidade da força gravitacional entre dois corpos é desprezível quando os valores das massas são muito pequenos – comparados à massa da Terra. Agora você é capaz de explicar o problema dos dois carros acima?

O campo gravitacional pode ser representado como na Figura 7: Quando falamos de atração gravitacional, podemos também falar de **aceleração da gravidade**. Estes são conceitos equivalentes. Pensando na Terra, quando soltamos um objeto de massa  $m$  de uma certa altura, este objeto vai ser atraído pelo campo da Terra. Esta atração provoca nele uma aceleração durante a queda. Esta é aceleração da gravidade (vamos discutir este assunto com mais detalhes mais adiante).

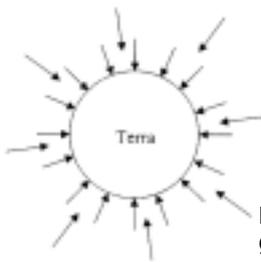


Figura 1.7: As setas representam a direção e o sentido do campo gravitacional e também da força sobre os objetos naquelas posições.

Na superfície da Terra o valor de  $g$  muda dependendo do local. Como a Terra não é uma esfera perfeita (ela é levemente achatada nos pólos), o valor de seu raio é ligeiramente menor nos pólos do que no equador. Como  $g$  é proporcional a  $1/r^2$ , isto nos leva a dizer que para  $r$  menor  $g$ , será maior.

$$r(\text{equador}) > r(\text{nos pólos}) \Rightarrow g(\text{equador}) < g(\text{nos pólos})$$

Por exemplo, o valor de  $g$  no equador é  $9,780 \text{ N/Kg}$  enquanto nos pólos é  $9,832 \text{ N/Kg}$ , ambos os valores ao nível do mar. Porém, vamos considerar um valor médio de  $9,8 \text{ N/Kg}$ . A definição da unidade de  $g$  no Sistema Internacional (S.I.) é dada pela unidade de força, dividida pela unidade de massa  $\text{Kg}$ . Esta unidade é equivalente a unidade de aceleração,  $\text{m/s}^2$ .

O valor de  $g$  também muda quando varia a altitude. A uma altura de  $1000 \text{ Km}$ , por exemplo,  $g = 7,33 \text{ N/Kg}$ . E a uma altura de  $10000 \text{ Km}$ ,  $g = 1,49 \text{ N/Kg}$ .

Em outros lugares também é possível calcular o valor de  $g$ . No caso de uma massa maior que a massa da Terra o valor do campo neste local será maior. E no caso de uma massa menor que a da Terra, o campo será menor. Júpiter possui uma massa 300 vezes maior que a da Terra e  $g$  é aproximadamente 3 vezes maior que o  $g$  do nosso planeta. A Lua possui uma massa 81 vezes menor que a massa da Terra, e por isso, o seu campo é em torno de  $1/6$  do campo da Terra.

### Exercício

1.2 (Fuvest) No sistema solar, o planeta Saturno tem massa cerca de 100 vezes maior que a Terra e descreve uma órbita, em torno do Sol, a uma distância média 10 vezes maior do que a distância média da Terra ao Sol (valores aproximados). Qual é a razão ( $F_{\text{sat}} / F_T$ ) entre a força gravitacional com que o Sol atrai a Terra.

#### PARA VOCÊ PENSAR!

Imagine aquela maçã de Newton. No campo gravitacional da Terra ela é atraída com  $10 \text{ N/Kg}$ , que é também o valor aproximado de aceleração da gravidade. Vamos supor que da árvore de onde ela se desprendeu até o chão ela levou um tempo de  $t$  (em segundos) qualquer. Se a mesma maçã caísse da mesma altura em Júpiter e na Lua, o tempo de queda seria maior, menor ou igual em cada um deles, comparado com o tempo de queda na Terra? Explique o porquê de sua resposta.

## RESUMO

Nesta unidade você estudou um pouco sobre a gravitação universal. Aprendeu sobre a passagem do modelo de mundo geocêntrico para o heliocêntrico e sobre as Leis de Kepler que descrevem os movimentos dos planetas. Na seqüência, aprendeu também sobre a força e o campo gravitacional e como ele influi no peso dos objetos.

Na internet há muitos sites interessantes sobre a astronomia, visite o site da Universidade Federal do Rio Grande do Sul <http://astro.if.ufrgs.br>

## Unidade 2

# Leis de Newton e aplicações

### Organizadores

Maurício Pietrocola

Nobuko Ueta

### Elaboradores

Anibal Figueiredo

Glauco S. F. da Silva

Viviane S. M. Piassi

## LEIS DE NEWTON

Galileu já dizia que os movimentos podem se manter sem a ação de forças, mas foi Isaac Newton quem refinou e divulgou esse conceito, com a tão conhecida *Lei da Inércia*. Nessa lei, também chamada de Primeira Lei de Newton, ele afirma que um objeto permanece parado ou em movimento uniforme, e sem fazer curvas, a não ser que uma força altere esse estado.

Mas o que é essa tal de força? Um empurrão ou um puxão, simplesmente. Podem vir de esforço muscular ou do sistema de freios de um automóvel, por exemplo. Mas podem ter outras origens, como a gravidade que origina a força entre os planetas ou que nos mantém presos aqui na Terra, conforme já vimos anteriormente. Podem ser elétricas ou magnéticas, como as forças que provocam o movimento nos motores.

Muitas vezes existe mais de uma força agindo em um objeto ao mesmo tempo. Quando empurramos uma caixa, por exemplo, a força que precisamos fazer para movimentá-la depende do tipo de piso sobre o qual ela está. Se for um assoalho lisinho, com uma pequena força podemos movimentar a caixa facilmente, mas se ela estiver sobre um cimentado rústico, teremos maior dificuldade.



Figura 2.1 Empurrando caixas.

Isso acontece porque, além da força que fazemos para empurrar a caixa, há também uma força sobre ela, que depende da superfície, tentando segurá-la. Quanto mais áspero o chão, mais força é feita sobre a caixa. Então ela vai continuar em seu estado de repouso, parada, até que a combinação entre a força do empurrão e a outra força consiga mudar esse estado de repouso. A essa combinação de forças daremos o nome de *resultante*.

Assim, para alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo, não basta que existam forças agindo nele, e sim que a combinação delas seja a favor dessa alteração.

Vejam os exemplos de você sentado(a) em sua cadeira. Existe a força gravitacional agindo em você, a força peso – aquilo que te segura preso à Terra. Se só ela estivesse agindo em você o que aconteceria? Provavelmente você estaria caindo e não aí, sentadinho(a) lendo tranqüilamente. Você está em repouso, o que quer dizer que existe outra força que, combinada com a *força peso*, não permite a alteração em seu estado de repouso. Assim, a resultante das forças é zero!

Qual será essa força? Se a força peso o faria cair, então a outra força deve ser para cima, certo? Sim, é algo que está te segurando. Com certeza uma força exercida pela cadeira em você. Chamamos essa força de *força normal*: aquela que a cadeira ou o próprio chão faz em você para que você não caia.

Na verdade, essa força aparece toda vez que um corpo se apóia em algo. Um tijolo apoiado no carrinho de mão do pedreiro tem agindo sobre ele a força normal que o carrinho exerce sobre ele para segurá-lo.

Quando nos encostamos em uma parede para descansar um pouco, a força normal também aparece. Só que nesse caso a força normal não está para cima. A força normal é sempre perpendicular à superfície de apoio de um corpo.

Uma outra lei enunciada pelo Isaac Newton foi a *Lei da Ação e Reação*, ou Terceira Lei de Newton. Essa lei explica que a reação que um corpo produz em resposta a uma força exercida sobre ele tem a mesma intensidade e está na mesma direção dessa força, mas em sentido contrário.

**PARA VOCÊ PENSAR!**

Vamos imaginar uma situação em que um caminhão colide com um fusca. Durante a colisão, quem exerce uma força maior sobre o outro, o caminhão ou o fusca?

Se você resolver bater em uma parede com a mão, estará exercendo sobre a parede uma certa força. Em reação, a parede exerce uma força em você, com mesma intensidade, com mesma direção e em sentido oposto, provavelmente fazendo sua mão doer um pouco.

Toda vez que dois objetos interagem entre si, podemos perceber a validade dessa lei. Por exemplo, se um cavalo puxa uma carroça para frente, também a carroça puxa o cavalo para trás, com a mesma intensidade. Como então o cavalo consegue puxar a carroça?

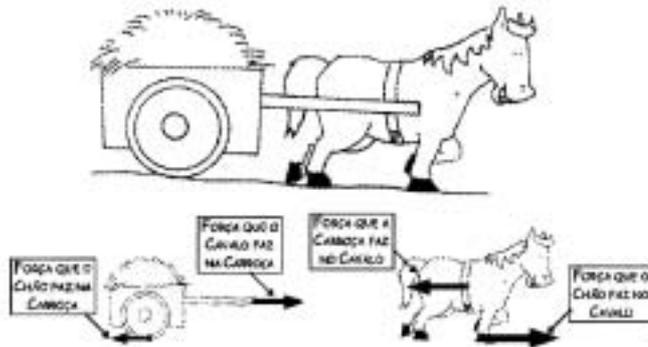
Vamos então imaginar um pneu pendurado em uma árvore por uma corda, como um balanço. Porque o pneu não cai?

Ele não cai porque a corda o está segurando, certo? O pneu exerce uma força sobre a corda, puxando-a para baixo, mas a corda reage, exercendo sobre o pneu uma força para cima, que o segura. A essa força que a corda exerce sobre o pneu damos o nome de *força de tração* (T).

Mas até agora só tratamos de situações onde os corpos permanecem parados. E as situações onde as forças não se compensam e a resultante não é nula? Para estudar esses casos, temos que entender qual o efeito que uma força pode provocar em um objeto.

## PRA VOCE PENSAR

## O cavalo consegue puxar a carroça?



2.2 – Fonte: apostila do GREF de mecânica

Não podemos esquecer que, além de puxar a carroça, o cavalo também empurra o chão para trás e, portanto, tem sobre ele a reação do chão que o empurra para frente. Com isso, a resultante sobre o cavalo é a combinação entre essas forças: a que o chão faz sobre ele e a que a carroça faz sobre ele. Você saberia desenhar qual a resultante sobre o cavalo? E sobre a carroça?

Se colocarmos um objeto para deslizar sobre uma superfície, o que acontece com ele? Se a resultante das forças fosse nula ele continuaria deslizando, como nos diz a lei da Inércia. Mas quem já viu isso acontecer? Não acontece porque no mundo em que vivemos existe algo que é fundamental para nossas vidas: o atrito.

O atrito oferece uma resistência a esse objeto que está deslizando, fazendo-o parar. Mas ele não pára instantaneamente, mas gradativamente. O efeito da força de atrito nesse objeto que desliza é uma aceleração, ou melhor, uma desaceleração, que vai reduzindo sua velocidade ao longo do tempo. Medindo o valor da aceleração, é possível descobrir o valor da força de atrito.

A força normal é igual ao valor do peso quando o objeto se encontra em uma superfície plana, sem nenhuma inclinação. Isto não significa que a força peso e a força normal sejam pares ação e reação.

Mas se o objeto é empurrado com uma força maior que a força de atrito, então a resultante será diferente de zero, e ela estará a favor do movimento. Acontece então um aumento da velocidade do objeto, devido a uma aceleração.

Estamos falando de uma outra lei tão famosa **Segunda Lei de Newton**. Essa lei nos diz que a resultante que age sobre um corpo provoca nele uma aceleração de acordo com a massa que esse corpo tem, ou matematicamente:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

No S.I., a unidade de força é o Newton ( $N$ ), a unidade de massa é o  $kg$  e a aceleração é dada em  $m/s^2$ .

Veja que se a força tem direção, sentido e intensidade, também a aceleração precisa ter direção, sentido e intensidade. É importante saber se ela se dá contra ou a favor do movimento e, é claro, se está na mesma direção.

**Só existe força de atrito com o corpo em movimento?**

Se uma pessoa empurra um piano e este não sai do lugar, é porque a força de atrito equilibra a força que está sendo feita pela pessoa; sendo assim, a força de atrito é igual à força exercida pela pessoa. Você poderia pensar que o piano não sai do lugar porque a força de atrito é maior do que a força que a pessoa faz empurrando; entretanto, se isto fosse verdade, a resultante das forças teria o sentido da força de atrito, devendo assim o piano empurrar a pessoa!

Se por ventura uma segunda pessoa resolve ajudar a primeira empurrando o piano, e este permanece parado, isto quer dizer que a força de atrito agora é igual à soma das forças exercidas pelas duas pessoas. Mas e se de repente o piano é arrastado, isto é, entra em movimento? Se o movimento se dá com velocidade constante, isto indica que o movimento não possui aceleração, entretanto, nesta situação, a força de atrito assume seu valor máximo. Nestes casos a força de atrito pode ser calculada pela expressão  $F_{\text{atrito}} = \mu \cdot N$ , onde  $\mu$  é o coeficiente de atrito, característico das superfícies em questão, e  $N$  é a força normal,  $N$  é igual ao valor peso do mesmo.

**Atenção:** nos exercícios sobre leis de Newton, antes de iniciar a sua resolução, tente escrever para cada objeto do problema os pares ação e reação!

**Leis de Newton****1ª Lei**

Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme numa linha reta, a menos que seja obrigado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

**2ª Lei**

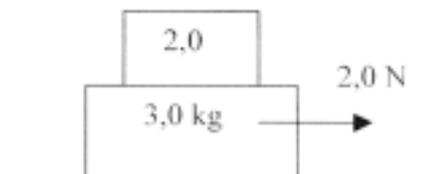
A ação de uma força (resultante) em um corpo provoca nele uma mudança em seu estado de movimento. Matematicamente  $F = m \cdot a$ .

**3ª Lei**

Se um corpo A exerce uma força sobre um corpo B, o corpo B exerce sobre o corpo A uma força de mesma intensidade e direção, mas em sentido contrário.

**Exercício**

2.1 (Vunesp-2004) Um bloco de massa 2,0 kg repousa sobre outro de massa 3,0 kg, que pode deslizar sem atrito sobre uma superfície plana e horizontal. Quando uma força de intensidade 2,0 N, agindo na direção horizontal, é aplicada ao bloco inferior, como mostra a figura, o conjunto passa a se movimentar sem que o bloco superior escorregue sobre o inferior. Nessas condições, determine (a) a aceleração do conjunto e (b) a intensidade da força de atrito entre os dois blocos.



## QUEDA LIVRE

Lembrando da maçã de Newton, durante a sua queda a resultante das forças que agem sobre ela tem direção vertical e sentido para baixo.

As forças envolvidas são a força peso e a força de resistência exercida pelo ar, que surge sempre na direção oposta ao movimento, como o atrito. Entretanto, para as situações que abordaremos aqui podemos considerá-la desprezível.

Chamamos de queda livre um caso especial de corpo em queda onde desprezamos a força de resistência do ar, analisando a queda como se ela acontecesse no vácuo, ou em uma região onde não existe ar. Assim, a única força que age sobre o objeto em queda é a força peso.

A aceleração de um corpo em queda livre é chamada de aceleração da gravidade ( $g$ ). Quando um objeto está nas proximidades da superfície da Terra a força gravitacional é praticamente constante. Então, neste caso especial chamamos de força peso. A aceleração da gravidade (ou o campo gravitacional) é expresso por:

$$g = \frac{F}{m} = \frac{P}{m} \Rightarrow P = m \cdot g$$

Como a força peso tem direção vertical e sentido para baixo, também a aceleração da gravidade tem essa mesma direção e esse mesmo sentido. Mas vamos tratar um pouco dela analisando apenas sua intensidade. Para simplificar nossas contas iremos utilizar sempre o valor aproximado de  $10 \text{ m/s}^2$ .

Vamos imaginar que você suba no telhado de um prédio, desprezando a resistência do ar, e lá de cima solte uma bola de gude. O movimento da bola começa então com uma velocidade inicial ( $v_0$ ) que depende de como você soltou a bola. A velocidade da bola vai, então, aumentando em função do tempo de acordo com a função horária da velocidade:

$$v = v_0 - g \cdot t$$

O sinal de menos aparece aí porque consideramos a direção para cima positiva. Lembre-se que a aceleração da gravidade tem direção para baixo.

A altura da bola ( $h$ ) vai diminuindo em função do tempo de acordo com outra função horária da posição:

$$h = h_0 + v_0 \cdot t - (1/2) \cdot g \cdot t^2$$

Nessa relação a altura de onde você solta a bola está representada por  $h_0$ .

### PARA VOCÊ PENSAR!

Como varia a velocidade de um objeto quando ele está caindo em queda livre? E o que acontece quando ele é lançado para cima?

### Exercício

2.2 Suponha que um corpo é abandonado (parte do repouso) do alto de um penhasco e gasta  $3,0 \text{ s}$  para tocar o chão, desprezando a resistência do ar e considerando  $g=10 \text{ m/s}^2$ . diga qual é altura do penhasco e com que velocidade o corpo chega ao solo.

## LANÇAMENTOS

Podemos ter diversas situações de lançamentos. Se em lugar de largar a bola de gude do alto do telhado, você atirá-la para baixo, na direção vertical, teremos aí um caso de lançamento vertical. Na verdade o que caracteriza o lançamento é o fato do objeto possuir uma certa velocidade inicial.

Existe uma outra categoria de lançamentos; aqueles em que os corpos lançados têm velocidade inicial em uma direção outra que não a vertical. Entre estes destacamos dois: Os lançamentos horizontais e os oblíquos. Vejamos.

Se você ao invés de soltar a bola do alto do prédio na vertical a jogasse para frente, então poderemos tratar esse movimento como um lançamento.

A direção da velocidade nesse movimento vai mudando em função do tempo fazendo com que a trajetória do objeto (no caso a bola) seja parabólica. Para estudar esse movimento, no entanto, é mais fácil separa-lo em dois. A bola terá um movimento de queda, na vertical, e terá um movimento horizontal a medida em que ela se afasta do prédio.

O movimento vertical pode ser tratado da mesma forma que tratamos a queda livre. Lembrando agora que a velocidade inicial a ser considerada é apenas a componente vertical que chamaremos de  $v_{y0}$ . Apenas a componente vertical da velocidade será alterada de acordo com a queda livre.

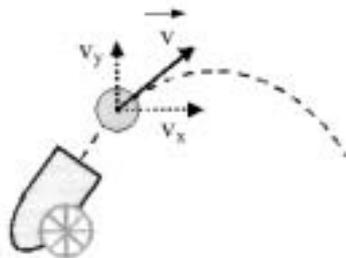
Mas na horizontal o movimento é ainda mais simples. Depois que você empurrou a bola, e já que desprezamos a força de resistência do ar, não existe nenhuma força agindo sobre ela na direção horizontal. Lembrando novamente de Newton, a lei da inércia nos diz que nesses casos o movimento do objeto não muda, ou seja é uniforme.

Sendo assim a componente horizontal da velocidade não muda e a bola se afasta segundo a função horária

$$x = x_0 + v_x t$$

A velocidade total do objeto em um lançamento é dada pela combinação das duas componentes de velocidade da seguinte forma:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$



2.3: Uma bala de canhão possui tanto movimento na vertical como na horizontal.

### Exercício Resolvido

(Unicamp 2002) Até os experimentos de Galileu Galilei, pensava-se que quando um projétil era arremessado, o seu movimento devia-se ao ímpetus, o qual mantinha o projétil em linha reta e com velocidade constante. Quando o ímpetus acabasse, o projétil cairia verticalmente até atingir o chão. Galileu demonstrou que a noção de ímpetus era equivocada. Consideremos que um canhão

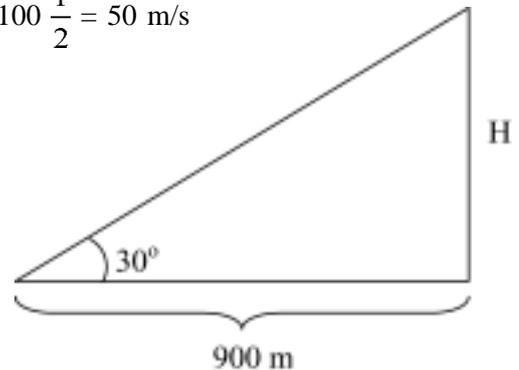
dispara projéteis com uma velocidade inicial de 100 m/s, fazendo um ângulo de  $30^\circ$  com a horizontal. Dois artilheiros calcularam a trajetória de um projétil: um deles, Simplício, utilizou a noção de ímpetus, o outro, Salviati, as idéias de Galileu. Os dois artilheiros concordavam apenas em uma coisa: o alcance do projétil. Considere  $\sqrt{3} \cong 1,8$ . Despreze o atrito com o ar. a) Qual o alcance do projétil? b) Qual a altura máxima alcançada pelo projétil, segundo os cálculos de Salviati? c) Qual a altura máxima calculada por Simplício?

### Resolução

a) A componente da velocidade inicial importante para sabermos o alcance do projétil é a vertical dada por:

$$V_{0y} = V_0 \sin \theta = 100 \cdot \sin(30^\circ) = 100 \cdot \frac{1}{2} = 50 \text{ m/s}$$

Para encontrarmos o tempo de subida utilizamos a relação horária da velocidade lembrando que o projétil sobe diminuindo sua velocidade até que ela seja zero e está sujeito a aceleração da gravidade. É claro que ele leva para cair o mesmo tempo que leva para subir.



$$V_y = V_{0y} + g \cdot t \Rightarrow 0 = 50 - 10 t_s \Rightarrow t_s = 5 \text{ s}$$

A velocidade horizontal do projétil é dado por:

$$V_{0x} = V_0 \cos \theta = 100 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cong 90 \text{ m/s}$$

O tempo de vôo é dado por:

$$T = t_s + t_q = 2t_s = 10 \text{ s}$$

e o alcance é dado pela relação horária

$$D = V_{0x} \cdot T \text{ que nos dá } D = 900 \text{ m.}$$

b) A altura máxima, segundo Salviati pode ser encontrada pela relação a seguir, também conhecida como equação de Torricelli.

$$V_y^2 = V_{0y}^2 - 2gH$$

Então

$$0 = (50)^2 - 2 \cdot 10 \cdot H \Rightarrow 20H = 2500 \Rightarrow H = 125 \text{ m.}$$

c) De acordo com Simplício, o projétil sobe em linha reta e, em seguida, cai verticalmente, porém com o mesmo alcance de Salviati.

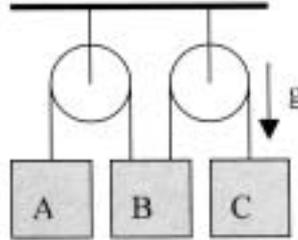
$$\text{Da figura } \operatorname{tg} 30^\circ = \frac{H'}{D}$$

$$H' = D \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 900 \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} \Rightarrow H' = 540 \text{ m}$$

### Exercícios

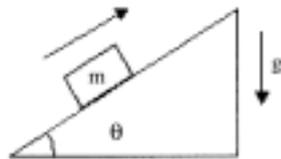
2.3 (Fuvest 1999) Um sistema mecânico é formado por duas polias ideais que suportam três grupos A, B e C de mesma massa  $m$ , suspensos por fios ideais como representado na figura. O corpo B está suspenso simultaneamente por dois fios, um ligado a A e outro a C. Podemos afirmar que a aceleração do corpo B será:

- zero;
- $g/3$  para baixo;
- $g/3$  para cima;
- $2g/3$  para baixo;
- $2g/3$  para cima.

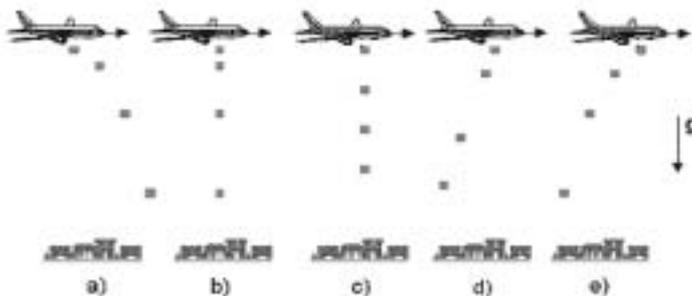


2.4 (Vunesp 2004) A figura mostra um bloco de massa  $m$  subindo uma rampa sem atrito, inclinada de um ângulo  $\theta$  depois de ter sido lançado com uma certa velocidade inicial. Desprezando a resistência do ar,

- faça um diagrama vetorial das forças que atuam no bloco e especifique a natureza de cada uma delas.
- determine o módulo da força resultante no bloco, em termos da massa  $m$ , da aceleração  $g$  da gravidade e do ângulo  $\theta$ . Dê a direção e o sentido dessa força.



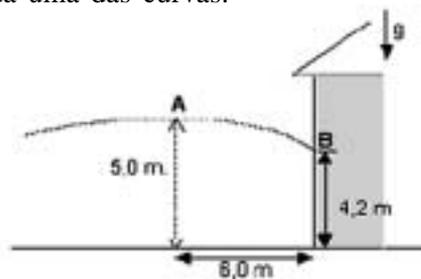
2.5 (Fuvest 2002) Em decorrência de fortes chuvas, uma cidade do interior paulista ficou isolada. Um avião sobrevoou a cidade, com velocidade horizontal constante, largando 4 pacotes de alimentos, em intervalos de tempos iguais. No caso ideal, em que a resistência do ar pode ser desprezada a figura que melhor poderia representar as posições aproximadas do avião e dos pacotes, em um mesmo instante, é



2.6 (Fuvest 2004) Durante um jogo de futebol, um chute forte, a partir do chão, lança a bola contra uma parede próxima. Com auxílio de uma câmera digital, foi possível reconstituir a trajetória da bola, desde o ponto em que ela atingiu sua altura máxima (ponto A) até o ponto em que bateu na parede (ponto B). As posições de A e B estão representadas na figura. Após o choque, que é elástico, a bola retorna ao chão e o jogo prossegue.

- Estime o intervalo de tempo  $t_1$ , em segundos, que a bola levou para ir do ponto A ao ponto B.
- Estime o intervalo de tempo  $t_2$ , em segundos, durante o qual a bola permaneceu no ar, do instante do chute até atingir o chão após o choque.

c) Represente, no sistema de eixos da folha de resposta, em função do tempo, as velocidades horizontal  $V_x$  e vertical  $V_y$  da bola em sua trajetória, do instante do chute inicial até o instante em que atinge o chão, identificando por  $V_x$  e  $V_y$ , respectivamente, cada uma das curvas.



NOTE E ADOTE  
 $V_y$  é positivo quando a bola sobe  
 $V_x$  é positivo quando a bola se move para a direita

## RESUMO

Nesta unidade você estudou as leis de Newton e algumas aplicações. Aprendeu sobre a força normal e sobre a força de atrito. E ainda estudou os movimentos de queda livre e de lançamentos.

## Unidade 3

# Equilíbrio e fluidos

**Organizadores**  
Maurício Pietrocola  
Nobuko Ueta

**Elaboradores**  
Anibal Figueiredo  
Glauco S. F. da  
Silva  
Viviane S. M. Piassi

### *CORPOS RÍGIDOS*

Você já deve ter ouvido o termo equilíbrio em muitas situações. Com certeza, todas elas se referem a situações em que a soma das forças se dá de forma que a resultante seja nula e, assim, o objeto não altera seu estado de repouso. Vamos analisar um pouco melhor essas situações.

Vejam um balanço, por exemplo. Quais são as forças que agem sobre o balanço parado? Temos aí a força peso e as forças de tração exercidas pelas correntes que prendem o balanço ao teto ou à trave. As forças de tração compensam a força peso, fazendo com que o balanço não caia. Quando uma pessoa senta no balanço, a força peso da pessoa também empurra o balanço para baixo. Para que o equilíbrio permaneça, as forças de tração também precisam dar conta desse peso extra.

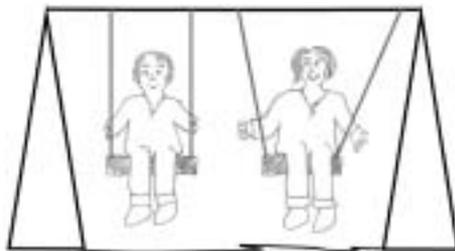


Figura 3.1

Se as correntes que prendem o balanço são idênticas, então as duas exercem uma força de tração com a mesma intensidade, dividindo igualmente a tarefa de compensar as forças que agem no sentido contrário. Mas atenção: só há equilíbrio entre as forças que estão na mesma direção. Se alguém empurrar o balanço na direção perpendicular a essas forças, está desfeita a situação de equilíbrio; teremos, então, uma resultante na direção desta última força, o que se percebe pela oscilação adquirida pelo balanço.

Vamos imaginar que a criança sentada no balanço e o próprio balanço têm 300 N de peso. Considerando que as correntes são verticais, elas dividem essa carga igualmente, ou seja, cada corrente exerce uma força de tração de 150 N. Mas o que acontece se as correntes estiverem inclinadas? Ainda assim elas dividem a tarefa igualmente, mas 150 N passa a ser apenas a componente vertical da força de tração.

## PARA VOCÊ PENSAR!

Imagine uma placa de massa 14 kg sustentada por dois cabos verticais. Sendo  $g = 10 \text{ m/s}^2$  (a) desenhe a placa e as forças que agem sobre ela; (b) determine o valor dessas forças e (c) encontre o valor da resultante.

## CONDIÇÕES DE EQUILÍBRIO DE UM CORPO RÍGIDO

Normalmente pensamos que, se duas forças de mesma intensidade e sentidos contrários atuam sobre um determinado corpo, ele ficará em equilíbrio e imóvel. Entretanto, isto não é sempre verdade. Imagine a situação em que você e um amigo empurram uma mesa, sendo que você faz a força no canto direito da mesa e seu amigo no canto esquerdo e em sentido contrário. Supondo que as forças sejam de mesma intensidade, o que você acha que acontecerá com a mesa. Ela ficará parada?

Submetida a esta situação, a mesa certamente irá girar. Ou seja, o conjunto de forças opostas de mesma intensidade e direção, atuando em sentidos contrários, não é condição suficiente para manter um corpo em equilíbrio. Dependendo do ponto de aplicação das forças, elas podem provocar um *torque* no corpo.

Para entendermos melhor o que é torque, vamos a uma situação mais simples: tente abrir a porta empurrando-a por um ponto próximo da dobradiça. Será que você consegue? Tente abrir agora empurrando-a o mais distante possível da dobradiça; será que agora fica mais fácil? Você saberia responder porque a maçaneta de uma porta é colocada distante da dobradiça? É porque quanto mais distante do eixo de rotação (no caso representado pelas dobradiças) se aplica a força, mais facilmente se consegue uma rotação.

Vamos melhorar isso? A distância entre o ponto de aplicação da força e o eixo de rotação é chamado *braço* da força (usaremos para representá-lo a letra  $b$ ). O produto entre o braço de uma força e a própria força (perpendicular ao braço) é chamado de *momento* de uma força ou torque ( $T$ ).

$$\text{Torque} = F \cdot b$$

Esse torque também tem direção e sentido. Para saber qual é, você vai precisar de sua mão direita. Estique o polegar e mova os outros dedos acompanhando a força aplicada (em torno do eixo de rotação). Seu polegar está apontando na direção e no sentido do torque.



Figura 3.2

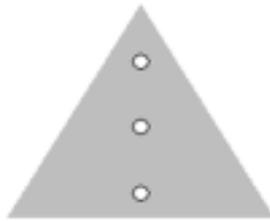
Objetos como estes de que tratamos até aqui são chamados também de corpos rígidos. Isso porque eles mantêm sua forma e volume, ou seja, não se deformam. Para que um corpo rígido esteja realmente em equilíbrio estático,

além da resultante das forças ser zero, também precisa ser zero a resultante dos torques.

A última condição que um corpo rígido tem que satisfazer para ficar em equilíbrio estático diz respeito ao *centro de massa* do corpo. Para entendermos o que é o centro de massa de um corpo, faremos a seguinte experiência: tente deixar uma raquete equilibrada na ponta do dedo. Será mais fácil conseguir isto apoiando-a por um ponto mais próximo ao cabo ou mais próximo à parte circular? Centro de massa de um corpo é o ponto em torno do qual a massa do corpo fica igualmente distribuída. Uma das condições de equilíbrio de um corpo é que o centro de massa do corpo fique abaixo do ponto de apoio desse corpo.

#### EXPERIMENTE!

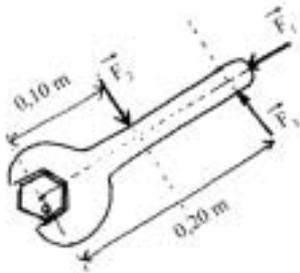
Para você entender melhor esta condição, faça a seguinte experiência: construa um triângulo de cartolina e faça três orifícios, conforme mostra a figura a seguir.



Experimente deixar o triângulo equilibrado apoiado por um alfinete. Ao ficar equilibrado, em qualquer que seja o orifício usado, a parte maior do triângulo fica abaixo do ponto de apoio.

#### Exercício

3.1 Determine o módulo dos torques para cada uma das forças aplicadas na ferramenta ilustrada na figura, em relação ao eixo que passa pelo ponto O. Todas as forças têm módulo igual a 20 N.



## FLUIDOS

Chamamos de fluido todo material que possui a capacidade de escoar; são eles líquidos, como a água ou o óleo, ou gases, como o próprio ar. Uma das propriedades dos fluidos que mais usaremos é sua densidade. Você já reparou que quando colocamos óleo numa panela com água o óleo fica flutuando na água? Isto acontece porque a densidade do óleo é inferior à densidade da água. A densidade de um corpo é a concentração de massa em um determinado volume. Por exemplo; um litro de água tem 1,0 kg de massa. Já um litro de óleo tem em média 0,8 kg de massa. A densidade é definida matematicamente como:

$$\text{densidade} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \Rightarrow d = \frac{m}{V}$$

Embora estejamos definindo densidade para o caso de fluidos, ela é uma importante característica de todos os materiais existentes.

Outra característica muito importante é que, quando exercemos uma força sobre um fluido contido em uma garrafa, por exemplo, essa força se distribui por toda a superfície de contato, ou seja, a superfície interior da garrafa. Para tratar dessa interação, introduzimos o conceito de pressão:

$$\text{pressão} = \frac{\text{força}}{\text{área}} \Rightarrow p = \frac{F}{A}$$

Quando você mergulha em uma piscina, pode sentir a pressão da água em seus ouvidos. Quanto mais fundo você mergulhar, maior será a pressão a que ficará submetido(a). A origem dessa pressão é o peso do fluido que está acima de você, ou seja, a água mais o ar. É claro que o efeito do ar age sobre você mesmo fora da água, então a pressão que você sente apenas relativa à coluna de água. A pressão também depende, é claro, de qual é o fluido. Qual seria a diferença se a piscina estivesse cheia de óleo, ao invés de água?

Material	Densidade (kg/l)
Água	1,00
Óleo	0,80
Ferro	7,85
Cortiça	0,22

Para calcular a pressão em um líquido, podemos utilizar a relação a seguir, conhecida como *equação fundamental da hidrostática*.

$$p = h \cdot d \cdot g$$

onde  $h$  representa a profundidade (ou altura da coluna de fluido) e  $g$  a gravidade. **Note que a pressão no líquido não depende da quantidade, apenas da altura da coluna de líquido!**



Figura 3.3. Vasos comunicantes

## EMPUXO

Todos nós sabemos pela experiência do dia-a-dia que, quando mergulhamos um objeto na água, seu peso parece diminuir. Isso acontece porque parte do peso do corpo é equilibrada pela força que a água exerce sobre ele. Esta força é igual ao peso de líquido deslocado, e recebe o nome de empuxo.

Definimos então o Princípio de Arquimedes: todo corpo imerso em um fluido sofre a ação de uma força de empuxo que é numericamente igual ao peso do fluido deslocado. Isto pode ser traduzido matematicamente como:

$$E = d_{\text{fluido}} \cdot V_{\text{deslocado}} \cdot g$$

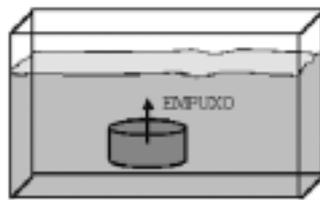


Figura 3.4

## PRINCÍPIO DE PASCAL

Um outro fato muito importante sobre os fluidos foi enunciado por Pascal já no século XVII: *uma variação de pressão em qualquer ponto de um fluido em repouso em um vasilhame se transmite integralmente a todos os pontos do fluido.*

Imagine que a tubulação de água de sua casa de repente receba um aumento de pressão, por algum erro na distribuição de água da cidade. Se a pressão de entrada da tubulação aumentar em cinco vezes, também a pressão em todos os pontos da tubulação, incluindo chuveiro, torneiras etc., aumentará em cinco vezes.

Esse princípio é que permite a utilização de prensas hidráulicas. Imagine um tubo em U com as duas extremidades iguais. Se você aplicar uma pressão no lado direito do tubo, uma pressão igual poderá ser sentida do lado esquerdo do tubo. O cálculo da pressão pode ser feito através da expressão:

$$p = \frac{F}{A}$$

onde  $F$  é a intensidade da força exercida e  $A$  a área sobre a qual atua a força.

### PARA VOCÊ PENSAR!

Imagine agora que escolhamos um tubo onde a área transversal do lado direito é o dobro da área transversal do lado esquerdo. Se aplicarmos uma força de 100 N do lado esquerdo, qual será a força sentida do lado direito? Lembre-se de que a pressão será a mesma.

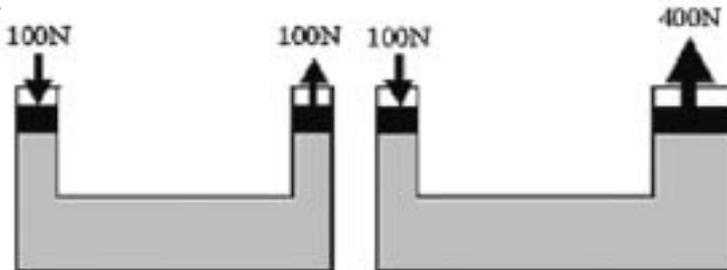
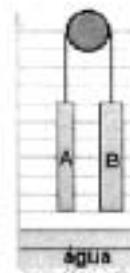


Figura 3.5: Princípio da prensa hidráulica

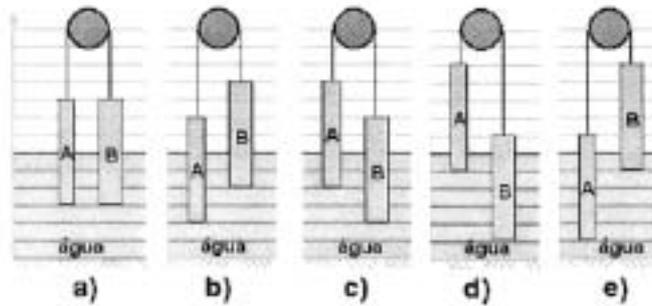
## Exercícios

3.2 (Fuvest 2003) Considere dois objetos cilíndricos maciços A e B, de mesma altura e mesma massa e com seções transversais de áreas, respectivamente,  $S_A$  e  $S_B = 2.S_A$ . Os blocos, suspensos verticalmente por fios que passam por uma polia sem atrito, estão em equilíbrio acima do nível da água de uma piscina, conforme mostra a figura ao lado. A seguir, o nível da água da piscina sobe até que os cilindros, cujas densidades têm valor superior à da água, fiquem em nova posição de equilíbrio, parcialmente imersos. A figura que melhor representa esta nova posição de equilíbrio é



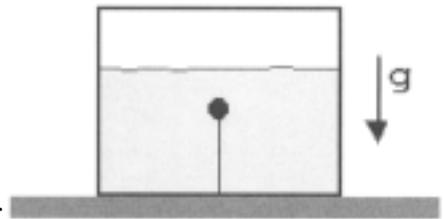
## Para você pensar!

Se você mergulha na água um objeto com densidade menor que a água, ele vai afundar? Por quê? Dê exemplos de materiais que você sabe que não afundam na água. Quais afundam?



3.3(Fuvest 2000) Um objeto menos denso que a água está preso por um fio fino, fixado no fundo de um aquário cheio de água, conforme a figura. Sobre esse objeto atuam as forças peso, empuxo e tensão no fio. Imagine que tal aquário seja transportado para a superfície de Marte, onde a aceleração gravitacional é de aproximadamente  $g/3$ , sendo  $g$  a aceleração da gravidade na Terra. Em relação aos valores das forças observadas na Terra, pode-se concluir que, em Marte,

- a) o empuxo é igual e a tensão é igual
- b) o empuxo é igual e a tensão aumenta
- c) o empuxo diminui e a tensão é igual
- d) o empuxo diminui e a tensão diminui
- e) o empuxo diminui e a tensão aumenta.



## RESUMO

Nesta unidade você aprendeu duas partes muito importantes da Mecânica relacionadas com equilíbrio. Para entender o equilíbrio de corpos rígidos, você estudou sobre o centro de massa e o torque (ou momento) de uma força. Para aprender sobre o equilíbrio em fluidos, você entrou em contato com o conceito de pressão e conheceu a força de empuxo.

## Unidade 4

# Movimento circular

### CINEMÁTICA ANGULAR

O estudo do movimento na Física é de importância fundamental, pois é difícil imaginar um mundo em que nada se mova. Os tipos de movimentos estudados são variados: vão desde movimentos de partículas microscópicas até movimentos planetários, conforme já estudamos. A partir de agora, vamos iniciar o estudo de objetos que têm uma trajetória circular.

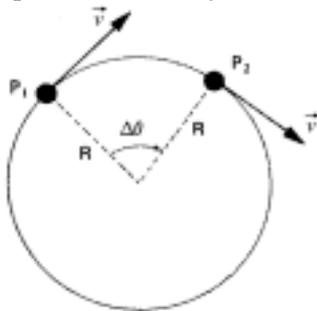


Figura 4.1; Trajetória circular de uma partícula, onde  $R$  é o raio da circunferência,  $s$  é o comprimento de arco,  $\Delta\theta$  variação angular.

Chamamos de movimento circular uniforme (MCU) um tipo de movimento em que a trajetória de um objeto é um círculo e o módulo (valor) de sua velocidade é constante. Deste modo, o objeto descreve arcos de círculo iguais em intervalos de tempo iguais.

Na figura anterior, o ponto A indica a posição inicial da partícula. Após um intervalo de tempo  $\Delta t$ , ela se encontra no ponto B descrevendo um comprimento de arco  $s$ .

Vamos chamar de *deslocamento angular* a variação do ângulo entre o local em que a partícula se encontrava inicialmente e o local em que se encontra após um intervalo de tempo  $\Delta t$ . Isto pode ser escrito como  $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ , onde  $\theta$  é a posição angular final e  $\theta_0$  é a posição angular inicial. Na figura,  $\theta_0 = 0$  representa a partícula em A e  $\theta$  representa a partícula em B. Podemos obter uma relação entre o comprimento de arco  $s$  e a variação angular  $\Delta s = r\Delta\theta$ , onde,  $s$  é o comprimento de arco e  $r$  é raio da circunferência.

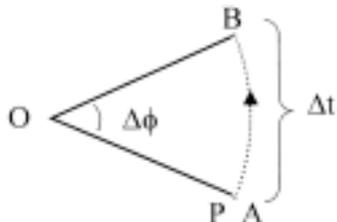


Figura 4.2: Arco de circunferência.

Organizadores

Maurício Pietrocola

Nobuko Ueta

Elaboradores

Anibal Figueiredo

Glauco S. F. da  
Silva

Viviane S. M. Piassi

A Figura 4.2 mostra uma partícula que descreve um ângulo  $\Delta\theta$  em um intervalo de tempo  $\Delta t$ . A relação entre o ângulo descrito pela partícula e o intervalo de tempo é chamada de *velocidade angular*. Esta relação é expressa matematicamente por:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

onde  $\omega$  é a velocidade angular.

A velocidade angular nos dá informações da rapidez com que um corpo está girando. Isto significa que quanto maior for o ângulo que a partícula descreve por unidade de tempo, mais rapidamente estará girando. A unidade de  $\omega$  no Sistema Internacional é expressa em *rad/s*, onde *rad* radiano é a unidade angular e *s* (segundo) é a unidade de tempo.

Se quisermos contar o número de vezes que o objeto em trajetória circular passa por um ponto em um determinado  $\Delta t$ , temos que calcular a sua *freqüência*. Assim, a freqüência  $f$  deste objeto é definida como:

$$f = \frac{\text{número de voltas}}{\text{tempo gasto}}$$

Por exemplo, um objeto efetua em seu movimento circular 30 voltas em 10 segundos. Sua freqüência  $f$  será:

$$f = \frac{30}{10} = 3 \text{ voltas/s}$$

A unidade de  $f$  é 1 volta/s  $\Rightarrow$  1Hz (Hertz).

Assim, no exemplo anterior, a freqüência do objeto é de 3Hz. É o mesmo que dizer que ele efetua três voltas a cada 1 s.

O tempo que um objeto gasta para efetuar uma volta completa é chamado de período, e é representado por  $T$ . Há uma relação entre o período e a freqüência da seguinte forma:

$$f = \frac{1}{T}$$

Quando um objeto percorre uma trajetória circular, além da velocidade angular  $\omega$ , ele possui uma velocidade linear, que durante o MCU tem módulo constante; sua direção muda a cada instante. O seu módulo é dado por

$$v = \omega r$$

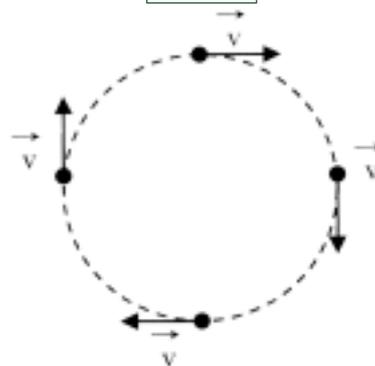


Figura 4.3 - A cada instante a direção de  $\vec{v}$  muda, mas seu módulo permanece constante (MCU).

**PARA VOCÊ PENSAR!**

Vamos usar como exemplo algo a que estamos acostumados no cotidiano. Tente calcular a velocidade angular dos ponteiros (das horas, dos minutos e dos segundos) de um relógio. Lembre-se de que você precisa saber o período de cada um deles.

## ACELERAÇÃO CENTRÍPETA

Quando o módulo da velocidade linear muda a cada instante, o movimento deixa de ser uniforme (MCU). Surge devido a esta variação uma *aceleração linear*. No entanto, em todo movimento circular, sempre há uma variação da direção da velocidade linear. Devido a esta variação, surge a *aceleração centrípeta*  $a_c$ . Esta aceleração tem uma direção que é perpendicular à direção da velocidade  $\vec{v}$ .

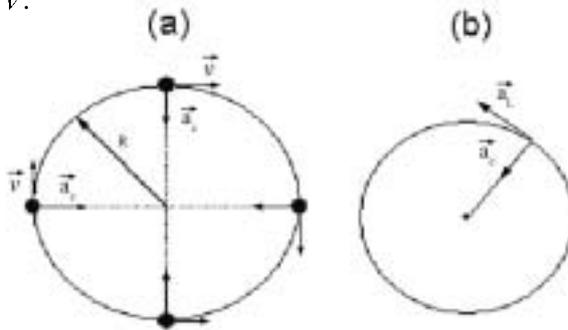


Figura 4.4 (a) No caso do MCU, a aceleração linear é nula e o objeto tem a aceleração centrípeta. (b) Quando a velocidade linear não é constante no tempo, surge também a aceleração linear.

O módulo da aceleração centrípeta é dado por:

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega r^2$$

## FORÇAS NO MOVIMENTO CIRCULAR

No movimento circular, vimos que há dois tipos de aceleração: a linear (quando a velocidade linear não é constante) e centrípeta (devido à mudança de direção de  $\vec{v}$ ). Vamos estudar as forças no segundo caso, quando temos o MCU. Aplicando a segunda Lei de Newton, temos:  $F_r = m \cdot a$ . No caso do nosso estudo, a aceleração que temos é a aceleração centrípeta. Então, neste caso, dizemos que um objeto que realiza um MCU sente uma força centrípeta,  $F_c$ , que é expressa da seguinte forma:

$$F_c = m \cdot a_c \quad \Rightarrow \quad F_c = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

**Concluindo:** Sempre que um objeto descreve um MCU, atua sobre ele uma força centrípeta  $F_c$  fazendo com que a direção da velocidade seja alterada.

## MOVIMENTO DE SATÉLITES

Existem cerca de 750 satélites artificiais em operação em torno da Terra. Como é que estes satélites orbitam em torno da Terra?

Um satélite é levado até uma certa altura  $h$  que costuma ser cerca de 150 km da superfície da Terra, onde a atmosfera é muito rarefeita e a resistência do

Você pode encontrar informações interessantes sobre satélites no site da Agência Espacial Brasileira [www.aeb.gov.br](http://www.aeb.gov.br).

ar não atrapalha o movimento do satélite. Devido à ação do campo gravitacional da Terra, o satélite sente uma força atrativa  $\vec{F}$ . Esta força gravitacional é responsável pela mudança na direção da velocidade linear do satélite. Uma vez colocado no espaço, ele permanece girando em torno da Terra indefinidamente, não havendo nenhuma perturbação.

**Exemplo:** satélite de massa  $m$  em uma órbita circular.  $R$  é o raio da Terra,  $r=R+h$ ,  $r$  é a distância do satélite ao centro da Terra.

Como estamos considerando este movimento de satélite um MCU, a única força que atua sobre ele é a força gravitacional. Assim, podemos escrever:

$$F_c = F \Rightarrow F_c = G \frac{Mm}{r^2} \Rightarrow \frac{mv^2}{r} = G \frac{Mm}{r^2}$$

$$\frac{mv^2}{r} = GM \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

A velocidade  $v$  é a velocidade linear do satélite para que ele permaneça em órbita.

É possível calcularmos o período de um satélite, lembrando que o comprimento de um círculo é  $2\pi r$ , temos que :

$$v = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v}$$

### Exercícios

4.1 (Fuvest 2002) Satélites utilizados para telecomunicações são colocados em órbitas geoestacionárias ao redor da Terra, ou seja, de tal forma que permaneçam sempre acima de um mesmo ponto da superfície da Terra. Considere algumas condições que poderiam corresponder a esses satélites:

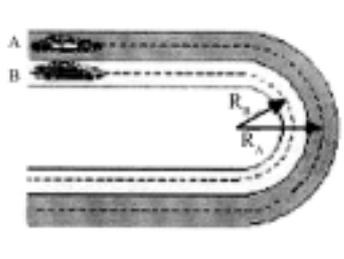
- I – ter o mesmo período, de cerca de 24 horas
- II – ter aproximadamente a mesma massa
- III – estar aproximadamente à mesma altitude
- IV – manter-se num plano que contenha o círculo do equador terrestre.

O conjunto de todas as condições que satélites em órbitas geoestacionárias devem necessariamente obedecer corresponde a:

- a) I e III
- b) I, II, III
- c) I, III, IV
- d) II e III
- e) II e IV

4.2 (Fuvest 2002) Em uma estrada, dois carros, A e B, entram simultaneamente em curvas paralelas, com raios  $R_A$  e  $R_B$ . Os velocímetros de ambos os carros indicam, ao longo de todo o trecho curvo, valores constantes  $V_A$  e  $V_B$ . Se os carros saem das curvas ao mesmo tempo, a relação entre  $V_A$  e  $V_B$  é:

- a)  $V_A = V_B$
- b)  $V_A/V_B = R_A/R_B$
- c)  $V_A/V_B = (R_A/R_B)^2$
- d)  $V_A/V_B = R_B/R_A$
- e)  $V_A/V_B = (R_B/R_A)^2$



### Resumo

Nesta última unidade, você estudou os movimentos circulares. Tomou contato com o conceito de frequência e aprendeu a diferenciar velocidade angular e tangencial no movimento circular. Também estudou as forças nos movimentos circulares e a presença da aceleração centrípeta. Por fim, conheceu um pouco sobre os movimentos dos satélites.

## Unidade 5

# Seção de exercícios

### Organizadores

Maurício Pietrocola

Nobuko Ueta

### Elaboradores

Anibal Figueiredo

Glauco S. F. da Silva

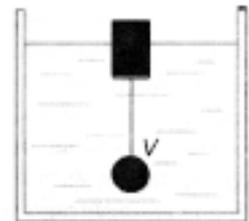
Viviane S. M. Piassi

5.1. (Mackenzie 2004) Um paralelepípedo homogêneo, de massa 4,00 kg, tem volume igual a 5,00 litros. Quando colocado num tanque com água de massa específica igual a  $10 \text{ g/cm}^3$ , **esse paralelepípedo:**

- a) afunda.
- b) flutua, ficando totalmente imerso.
- c) flutua, e a massa da parte imersa é de 3,20 kg.
- d) flutua, e a massa da parte imersa é de 3,00 kg.
- e) flutua, e a massa da parte imersa é de 1,00 kg.

5.2. (Vunesp 2003) O volume de líquido deslocado pela porção submersa de um bloco que nele está flutuando é  $V_0$ . A seguir, ata-se ao bloco uma esfera mais densa que o líquido, por meio de um fio muito fino, como mostra a figura. Verifica-se que o bloco continua flutuando, mas o volume total de líquido deslocado passa a ser  $V_0 + 2V$ . Sabendo-se que a massa específica do líquido é  $r_L$ , que o volume da esfera é  $V$ , e representando a aceleração da gravidade por  $g$ , encontre, em função dos dados apresentados,

- a) a massa específica  $r$  da esfera;
- b) a tensão  $T$  no fio.

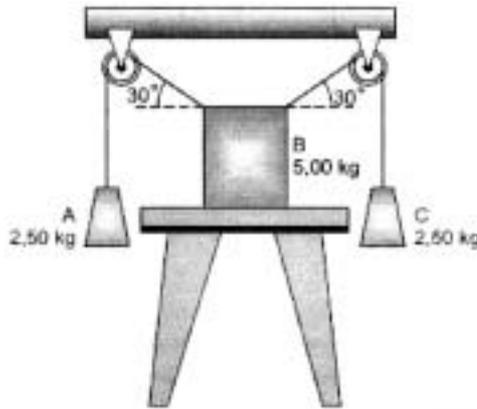


5.3. (Mackenzie 2004) Por uma superfície horizontal, um menino empurra um caixote de massa 15 kg, aplicando-lhe uma força constante e paralela à superfície de apoio; dessa forma, o caixote adquire uma velocidade constante. Se o coeficiente de atrito dinâmico entre o caixote e a superfície de apoio é igual a 0,4, a força aplicada pelo menino tem intensidade de: (Adote:  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

- a) 45 N
- b) 50 N
- c) 58 N
- d) 60 N
- e) 3 N

5.4. (Mackenzie 2004) No conjunto da figura, os fios e as polias são considerados ideais e o bloco B encontra-se apoiado sobre uma mesa plana e horizontal. Adotando-se  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , a força de reação normal, imposta pela mesa ao bloco B, tem intensidade:

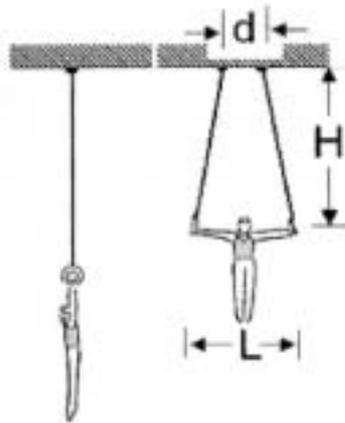
- nula
- 2,50 N
- 5,00 N
- 25,0 N
- 50,0 N



5.5. (Mackenzie 2004) Um menino prende, na extremidade A de uma barra rígida AB, um corpo de massa 4 kg e, na extremidade B, outro corpo, de massa 6 kg. A barra AB tem peso desprezível e comprimento de 1,2 m. O ponto da barra pelo qual nós a levantamos, mantendo o seu equilíbrio horizontal, está distante da extremidade A:

- 64 cm
- 66 cm
- 68 cm
- 70 cm
- 72 cm

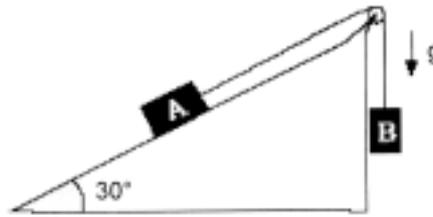
5.6. (Unicamp 2004) Uma das modalidades de ginástica olímpica é a das argolas. Nessa modalidade, os músculos mais solicitados são os dos braços, que suportam as cargas horizontais, e os da região dorsal, que suportam os esforços verticais. Considerando um atleta cuja massa é de 60 kg e sendo os comprimentos indicados na figura  $H = 3,0 \text{ m}$ ;  $L = 1,5 \text{ m}$  e  $d = 0,5 \text{ m}$ , responda:



- Qual a tensão em cada corda quando o atleta se encontra pendurado no início do exercício com os braços na vertical?
- Quando o atleta abre os braços na horizontal, qual a componente horizontal da tensão em cada corda?

5.7. (Vunesp 2003) Considere dois blocos A e B, com massas  $m_A$  e  $m_B$  respectivamente, em um plano inclinado, como apresentado na figura. Desprezando forças de atrito, representando a aceleração da gravidade por  $g$  e utilizando dados da tabela

- determine a razão  $m_A/m_B$  para que os blocos A e B permaneçam em equilíbrio estático.
- determine a razão  $m_A/m_B$  para que o bloco A desça o plano com aceleração  $g/4$ .



$\theta$	$\cos \theta$	$\text{sen } \theta$
$30^\circ$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$
$60^\circ$	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$

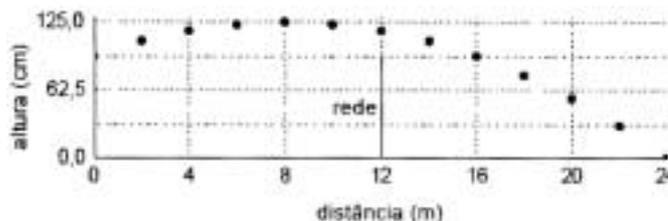
5.8. (Vunesp 2004) Em um levantador de carros, utilizado em postos de gasolina, o ar comprimido exerce uma força sobre um pequeno pistão cilíndrico circular de raio 5 cm. Essa pressão é transmitida a um segundo pistão de mesmo formato, mas de raio 15 cm, que levanta o carro. Dado  $\pi = 3,14$ , calcule:

- a pressão de ar capaz de produzir a força mínima suficiente para elevar um carro com peso de 1300 N;
- a intensidade mínima da força aplicada no primeiro pistão para elevar o carro citado no item (a).

5.9. (Vunesp 2004) Grande parte dos satélites de comunicação estão localizados em órbitas circulares que estão no mesmo plano do equador terrestre. Geralmente esses satélites são geoestacionários, isto é, possuem período orbital igual ao período de rotação da Terra, 24 horas. Considerando-se que a órbita de um satélite geoestacionário possui raio orbital de 42 000 km, um satélite em órbita circular no plano do equador terrestre, com raio orbital de 10 500 km, tem período orbital de

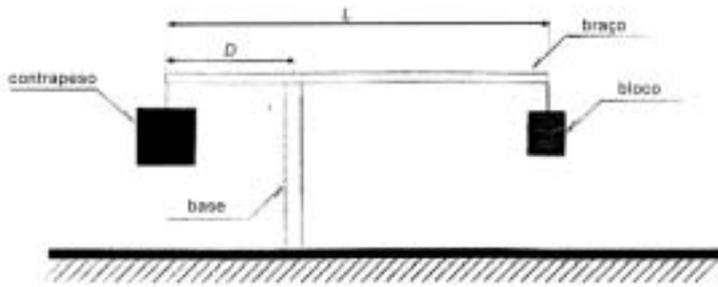
- 3 horas
- 4 horas
- 5 horas
- 6 horas
- 8 horas

5.10. (Unicamp 2004) Uma bola de tênis rebatida numa das extremidades da quadra descreve a trajetória representada na figura abaixo, atingindo o chão na outra extremidade da quadra. O comprimento da quadra é de 24 m.



- Calcule o tempo de voo da bola, antes de atingir o chão. Desconsidere a resistência do ar nesse caso.
- Qual é a velocidade horizontal da bola no caso acima?
- Quando a bola é rebatida com efeito, aparece uma força, FE, vertical, de cima para baixo e igual a 3 vezes o peso da bola. Qual será a velocidade horizontal da bola, rebatida com efeito para uma trajetória idêntica à da figura?

5.11. (UFMG 1998) Um guindaste é composto de um braço, apoiado em uma base vertical, e um contrapeso pendurado em uma de suas extremidades. A figura mostra esse guindaste ao sustentar um bloco na extremidade oposta.



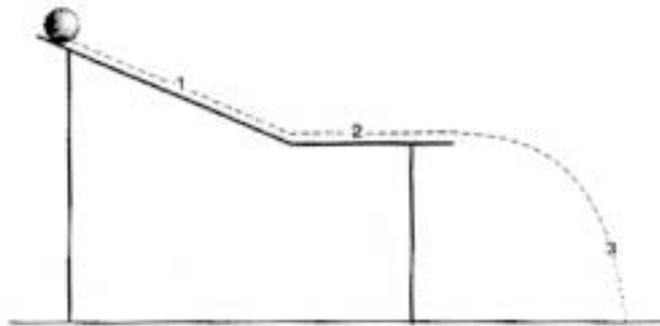
O braço do guindaste é homogêneo, tem uma massa  $M_{br} = 400$  kg e comprimento  $L = 15,0$  m. O contrapeso tem massa de  $M_{cp} = 2,0 \cdot 10^3$  kg e está pendurado a uma distância  $D = 5,0$  m da base. Nessas condições, o sistema se encontra em equilíbrio.

Considere  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>.

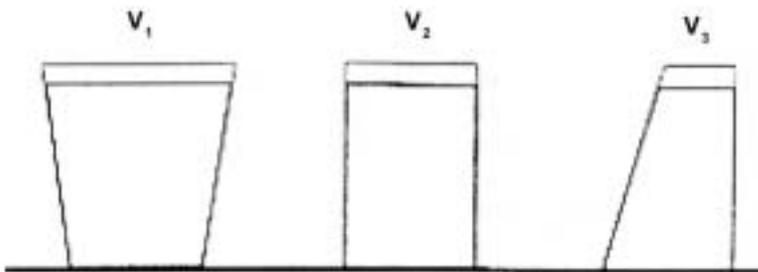
1. Calcule a massa  $M_{bl}$  do bloco.
2. Calcule a força exercida pela base sobre o braço do guindaste.

5.12. (UFMG 1997) Uma bola desliza inicialmente sobre um plano inclinado (trecho 1), depois, sobre um plano horizontal (trecho 2) e, finalmente, cai livremente (trecho 3) como mostra a figura. Desconsidere as forças de atrito durante todo o movimento. Considere os módulos das acelerações da bola nos trechos 1, 2 e 3 como sendo  $a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$  respectivamente. Sobre os módulos dessas acelerações nos três trechos do movimento da bola, pode-se afirmar que

- a)  $a_1 < a_2 < a_3$ .
- b)  $a_1 < a_3$  e  $a_2 = 0$ .
- c)  $a_1 = a_2$  e  $a_3 = 0$ .
- d)  $a_1 = a_3$  e  $a_2 = 0$



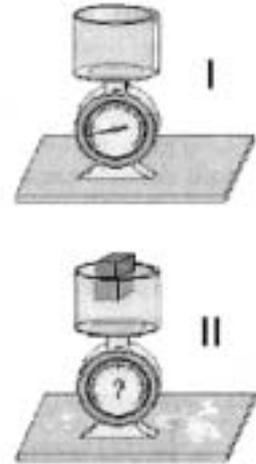
5.13. (UFMG 1997) A figura mostra três vasos V1, V2 e V3 cujas bases têm a mesma área. Os vasos estão cheios de líquidos I1, I2 e I3 até uma mesma altura. As pressões no fundo dos vasos são P1, P2 e P3, respectivamente.



Com relação a essa situação, é correto afirmar que

- a)  $P_1 = P_2 = P_3$  somente se os líquidos 11, 12 e 13 forem idênticos.
- b)  $P_1 = P_2 = P_3$  quaisquer que sejam os líquidos 11, 12 e 13.
- c)  $P_1 > P_2 > P_3$  somente se os líquidos 11, 12 e 13 forem idênticos.
- d)  $P_1 > P_2 > P_3$  quaisquer que sejam os líquidos 11, 12 e 13.

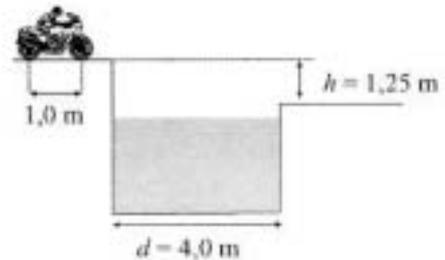
5.14. (UFMG-2000) A figura I mostra uma vasilha, cheia de água até a borda, sobre uma balança. Nessa situação, a balança registra um peso  $P_1$ . Um objeto de peso  $P_2$  é colocado nessa vasilha e flutua, ficando parcialmente submerso, como mostra a figura II. Um volume de água igual o volume da parte submersa do objeto cai para fora da vasilha. Com base nessas informações, é CORRETO afirmar que, na figura II, a leitura da balança é



- a) igual a  $P_1$ .
- b) igual a  $P_1 + P_2$ .
- c) maior que  $P_1$  e menor que  $P_1 + P_2$ .
- d) menor que  $P_1$ .

5.15. (Vunesp 2003) Um motociclista deseja saltar um fosso de largura  $d = 4,0$  m, que separa duas plataformas horizontais. As plataformas estão em níveis diferentes, sendo que a primeira encontra-se a uma altura  $h = 1,25$  m acima do nível da segunda, como mostra a figura. O motociclista salta o vão com certa velocidade  $u_0$  e alcança a plataforma inferior, tocando-a com as duas rodas da motocicleta ao mesmo tempo. Sabendo-se que a distância entre os eixos das rodas é  $1,0$  m e admitindo  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>, determine:

- a) o tempo gasto entre os instantes em que ele deixa a plataforma superior e atinge a inferior.
- b) qual é a menor velocidade com que o motociclista deve deixar a plataforma superior, para que não caia no fosso.



5.16. (UFMG 2001) Durante uma apresentação da Esquadrilha da Fumaça, um dos aviões descreve a trajetória circular representada nesta figura. Ao passar pelo ponto mais baixo da trajetória, a força que o assento do avião exerce sobre o piloto é

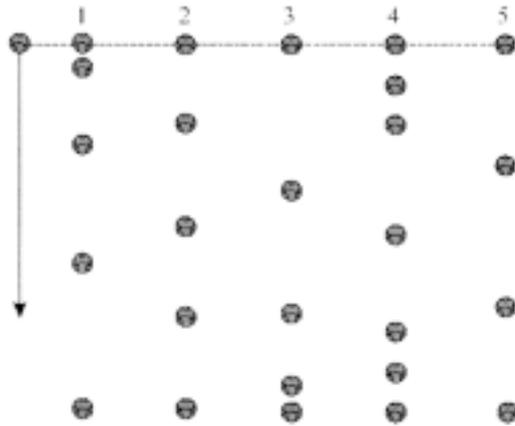


- a) igual ao peso do piloto.
- b) maior que o peso do piloto.
- c) menor que o peso do piloto.
- d) nula.



5.17. (UFSCar 2004) Uma pessoa larga uma bola de tênis da sacada de um prédio. Compare as cinco figuras verticais seguintes, de 1 a 5. A figura que melhor reproduz as posições sucessivas da bola em intervalos de tempo sucessivos iguais, antes de atingir o solo, é:

- a) 1.  
b) 2.  
c) 3.  
d) 4.  
e) 5.



## RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS

- 1.1) alternativa b  
1.2) 1  
2.1) (a)  $0,40\text{m/s}^2$ , direção horizontal, sentido para direita. (b)  $0,80\text{ N}$   
2.2) alternativa c.  
2.3) (b)  $R = mg \sin \theta$   
2.4) alternativa b  
2.5) (a)  $t_1 = 0,40\text{ s}$  (b)  $t_2 = 2,0\text{ s}$   
3.1) devido a  $F_1$ , Torque = 0; devido a  $F_2$ , Torque =  $2\text{ N.m}$ ; devido a  $F_3$ , Torque =  $4\text{ N.m}$   
3.2) alternativa b  
3.3) alternativa d  
4.1) alternativa c  
4.2) alternativa b  
5.1) alternativa c  
5.2) (a)  $r = r_L$ , (b)  $T = 2 r_L Vg$   
5.3) alternativa d  
5.4) alternativa d  
5.5) alternativa e  
5.6) (a) Em cada corda  $T = 300\text{ N}$  para cima, (b) em cada corda  $T_{\text{hor}} = 50\text{ N}$ .  
5.7) (a)  $m_A/m_B = 2$  (b)  $m_A/m_B = 5$ .  
5.8) (a)  $p = 188252\text{ N/m}^2$ , (b)  $F = 1478\text{ N}$   
5.9) alternativa a  
5.10) (a)  $t = 0,75\text{ s}$ , (b)  $v_x = 32\text{ m/s}$ , (c)  $v'_x = 64\text{ m/s}$

5.11) (a) 900 kg, (b)  $3,3 \cdot 10^4$  N para cima.

5.12) alternativa B.

5.13) alternativa A.

5.14) alternativa D.

5.15) (a)  $t = 0,50$  s, (b)  $v = 10$  m/s

5.16) alternativa B

5.17) alternativa A

## Bibliografia

Alvarenga, B., Máximo A., *Curso de Física*, Volume 1, Editora Scipione, 4ª edição, São Paulo, 1997.

Blackwood, O. H., Herron, W. B., Kelly, W. C., *Física na escola secundária*, INEP, São Paulo, 2ª edição, 1962. Disponível em <http://www4.prossiga.br/Lopes/index2.html>, ver “produção científica” – “tradução”.

Feynman, R. P, *Física em seis lições*, p139-167, Ediouro, Rio de Janeiro, 6ª edição 2001.

Gaspar, A., *Física volume 1 Mecânica*, Editora Ática, São Paulo, 2001.

Gonçalves Filho, A., Toscano, C. *Física e Realidade volume 1: Mecânica*, Editora Scipione, São Paulo, 1997.

GRAF, *Física 1 mecânica*, Edusp, São Paulo, 1990.

Hewitt, Paul G., *Física Conceitual*, Editora Bookman, Porto Alegre, 2002.

Nussenzveig, H. M., *Curso de Física Básica 1-Mecânica*, Ed. Edgard Blücher Ltda, 3ª edição, São Paulo, 1996

[www.fuvest.br](http://www.fuvest.br) e [www.unicamp.br](http://www.unicamp.br) – Nesses sites você encontra as provas de anos anteriores, além das informações sobre o vestibular.

[www.scite.pro.br](http://www.scite.pro.br) – Nesse site você vai encontrar dicas de outros sites, textos, atividades práticas e exercícios para se aprofundar no conteúdo de Mecânica e também em outras partes da Física.

## Sobre os autores

### *Anibal Figueiredo*

Licenciado em Física e mestre em Ensino de Ciências pela USP. É professor de Ciências e Física desde 1982. Participou de vários projetos de formação de professores, de exposições científicas e de assessoria na área de educação científica. Autor de livros didáticos e paradidáticos de Ciências e Física; é diretor do Atelier de Brinquedos Científicos e do Espaço *Ciência Prima*.

### *Glauco S. F. da Silva*

Bacharel e licenciado em Física pela UFJF, participa de projetos de pesquisa em ensino de Física desde a graduação. É professor da rede estadual de Minas Gerais desde 2002. É aluno de mestrado em Ensino de Ciências na USP e

desenvolve atividades didáticas junto a disciplinas de Mecânica do primeiro ano do curso de licenciatura em Física nessa universidade.

### ***Viviane S. M. Piassi***

Licenciada em Física pela USP. Foi professora da rede estadual de São Paulo de 1994 a 2000. Trabalhou junto ao projeto de formação continuada de professores (PEC) da rede pública de São Paulo. No Instituto de Física da USP vem desenvolvendo atividades didáticas junto a disciplinas práticas e teóricas do curso de licenciatura em Física. Mestre em Ciências pela USP, faz atualmente Doutorado em Física na mesma universidade.

# Anotações