

Queda Livre de Corpos

Relatório Parcial

Aluno Caio Henrique Coutinho
Orientador Varlei Rodrigues
Co-orientador Goes

O Projeto

Descrição:

...A Experiência de Galileu...

Na época de Galileu, acreditava-se que o tempo de queda dos corpos diminuía conforme sua massa aumentava (princípio conhecido como Princípio de Aristóteles). No entanto, Galileu atestava que isto não era verdade, e dizia que corpos de massas diferentes tomavam o mesmo tempo para cair uma mesma distância. Alguns historiadores dizem que Galileu subiu no alto da torre de Pisa e soltou vários corpos esféricos de massas diferentes, mostrando que os corpos levavam o mesmo tempo para cair, e contrariando o que acreditavam os cientistas da época.

...O Objetivo do Projeto...

Apesar de Galileu ter comprovado que o tempo de queda livre dos corpos depende apenas da aceleração da gravidade, isto não é de forma alguma intuitivo, pois se uma pena e uma esfera de metal são abandonadas em queda livre de uma mesma altura, a pena claramente chega ao chão após a esfera de metal. Sabe-se hoje que o que faz com que a medida destes tempos seja diferente é a resistência do ar, que retarda a queda da pena e a queda da esfera de formas diferentes, fazendo com que os tempos sejam divergentes. O objetivo do projeto é mostrar que este pensamento realmente é válido, estudando a queda livre e a resistência do ar. É um desafio porém, realizar o experimento com materiais de baixo custo e resistentes, para que um professor possa utilizar do experimento ao menos para exposição aos alunos, pois para isso precisamos realizar a queda livre no vácuo. Ao fim, é interessante analisar também, a viabilidade da aplicação do experimento ao curso de Física Experimental 1 da Unicamp.

...O Projeto...

O projeto consiste num tubo de plástico preso a um suporte que permite que o tubo gire em torno de um eixo. O tubo de PVC é reforçado por um mola de aço ao longo de seu comprimento (Figura 1).

Uma esfera de metal é colocada dentro do tubo, e é presa à uma das extremidades do tubo devido à um ímã que fica do lado de fora do tubo. Com o tubo de PVC na vertical, o ímã é retirado e a esfera de metal cai.

O tempo de sua queda é medido através de dois fotogates instalados no lado de fora do tubo. O tubo então é girado em torno do eixo e a esfera desliza pelo tubo chegando novamente à extremidade que contém o ímã. Ela fica presa pelo ímã, o tubo volta à sua posição inicial, e o ímã é solto, fazendo outra medida no fotogate. O mesmo procedimento é tomado com a esfera de isopor, que tem o mesmo diâmetro da esfera de metal e contém um pequeno corpo metálico em seu interior para que ela possa ser atraída pelo ímã.

Serão feitas então 50 medidas deste tempo de queda em quatro situações diferentes: com a esfera de metal no vácuo, com a esfera de isopor no vácuo, com a esfera de metal com ar, e com a esfera de isopor com o tubo arejado. Os valores medidos pelos fotogates são referentes ao tempo que cada uma das esferas percorre a distância entre os fotogates, que é mantida constante durante todo o experimento.

Analizando estes dados, é esperado que:

- O tempo de queda de cada esfera no vácuo deve ser inferior ao seu respectivo tempo de queda com a resistência do ar;

- A resistência do ar deve influenciar mais a esfera de isopor do que a esfera de metal, fazendo com que o tempo de queda da esfera de metal seja inferior ao tempo de queda da esfera de isopor;
- O tempo de queda das duas esferas deve ser igual no vácuo.

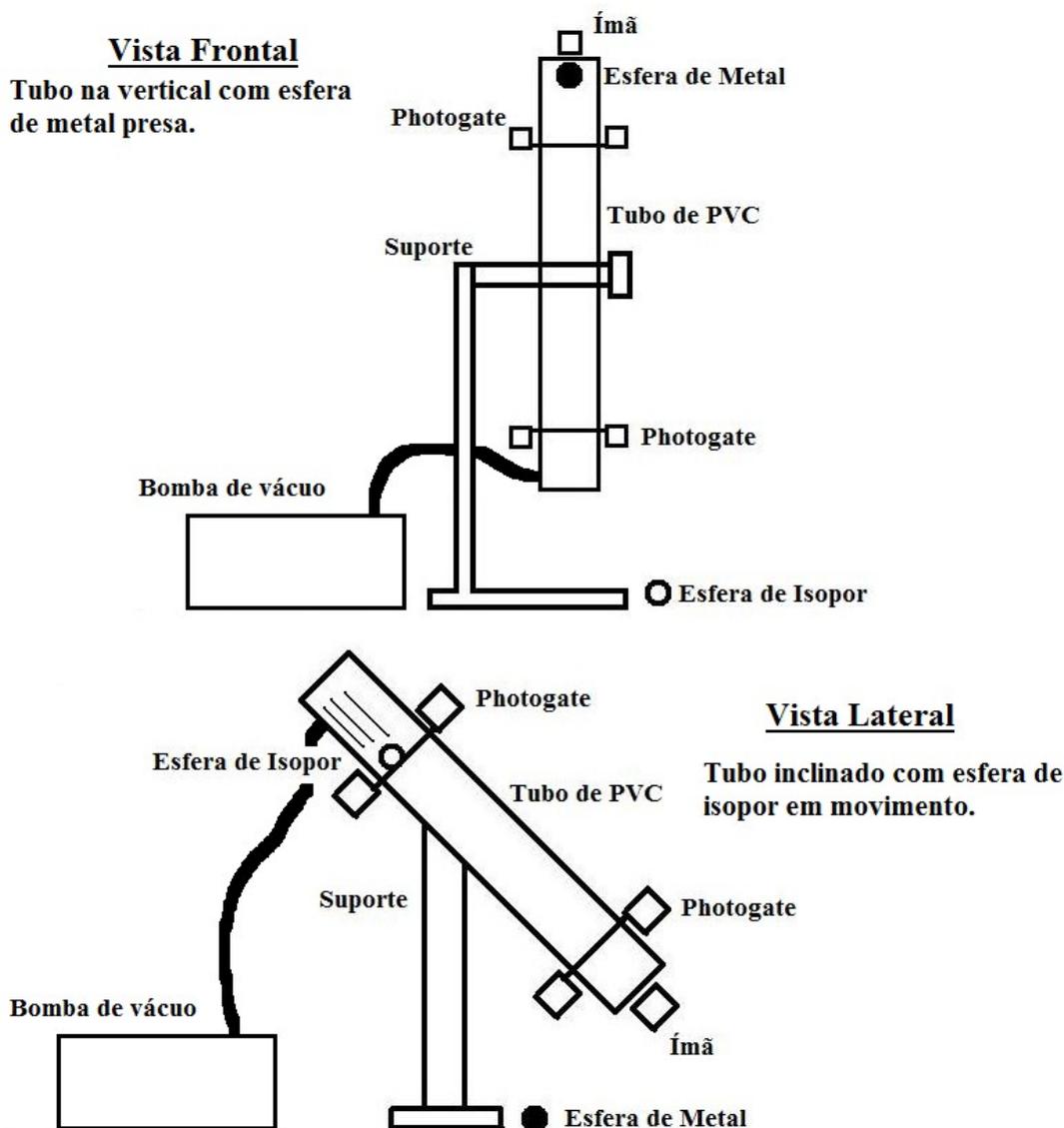


Figura 1

Importância Didática do Projeto:

Como já foi dito, a constatação de que o tempo de queda não se altera com a massa não é intuitiva, pois a aerodinâmica dos objetos influencia a sua queda na nossa atmosfera. É interessante então, realizar esta constatação num ambiente no vácuo, que exemplificaria o princípio proposto por Galileu de forma mais palpável para os alunos.

Este é um dos experimentos mais importantes de Galileu, pois introduziu a noção de gravidade, e junto com outros experimentos compõe a obra *De Motu (1590)*. Galileu propôs que a física deveria evoluir através da experimentação, e com este experimento, os alunos podem conhecer um pouco sobre os complicados momentos da física em que há a ruptura de um paradigma, além de utilizar dos seus próprios

sentidos para se apropriar de conceitos de gravidade, vácuo, movimento uniformemente acelerado e queda livre.

Referências:

Experimentos semelhantes

Na disciplina de F609 da Unicamp foi realizado um experimento semelhante à este pela aluna Regina Célia Batista Moretti. O objetivo dela, porém, era trabalhar com o conceito de queda livre de diferentes formas, e uma delas era através da construção de um tubo de vidro que pudesse manter o vácuo após ser fechado e funcionasse sem a bomba de vácuo. O objetivo deste experimento é calcular o tempo de queda e avaliar a diferença no tempo de queda das esferas, para isto, é necessária a obtenção de uma quantidade maior de medições para minimizar o erro estatístico. Utilizando a bomba de vácuo, é possível obter estes valores com maior precisão. A construção do tubo então, é projetada para que os lançamentos possam ser feitos de maneira semelhante, visando conservar as condições iniciais em todos os lançamentos.

Relatório Final:

http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2008/ReginaC-DirceuSilva_RF3.pdf

Teoria:

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos da Física 1: Mecânica**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

Outros experimentos:

"Corpos no interior de um recipiente fechado e transparente em queda livre"
Autores: Jose Joaquin Lunazzi, Leandro Aparecido Nogueira de Paula
<http://arxiv.org/pdf/0809.1471>

O objetivo deste experimento é estudar a queda livre dos corpos através de um experimento bem simples que pudesse ser realizado em sala sem dificuldades. De início, os autores propõe que seja estudada a queda de um pedaço de papel sobre uma moeda e então, a queda de uma garrafa com uma pedra e uma pena. Em ambas as etapas, os dois objetos de massas diferentes chegam juntos ao solo. No entanto, é feita apenas uma argumentação para que fossem desconsideradas os efeitos da dinâmica do ar (apesar de não influenciar no resultado aparentemente). Neste experimento, o vácuo é utilizado para que a influência do ar seja minimizada de fato, aproximando o experimento de uma real queda livre.

<http://www.upscale.utoronto.ca/IYearLab/Intros/FreeFall/FreeFall.html>

Página com informações sobre um experimento realizado em Toronto muito semelhante à este. Foram utilizadas uma esfera de metal e uma de plástico caindo dentro de um longo tubo. A página mostra também a teoria e o tratamento estatístico dados aos resultados.

<http://jedlik.phy.bme.hu/~hartlein/www.mip.berkeley.edu/images/physics/A+0+0.gif>

Imagem ilustrativa de um outro experimento semelhante.

Aplets em Java

<http://www.scribd.com/doc/7844448/Queda-Livre>

Algumas questões para alunos do ensino fundamental que envolvem a queda livre de objetos. No entanto, nenhuma experimentação é realizada, as questões

acompanham apenas um pouco de teoria.

http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/ProjectileMotion/jar_applet.html

Pequeno arquivo em flash que permite que sejam simuladas situações de lançamento de projéteis considerando ou não a resistência do ar. Este programa não demonstra a hipótese proposta por Galileu, mas permite que um aluno observe como a resistência do ar atua dependendo da massa, da velocidade, etc.

Importância da experiência de Galileu

<http://cienciatube.blogspot.com/2008/10/queda-livre-experincia-de-galileu.html>

Experimento realizado na lua abandonando uma pena e um martelo.

<http://www.if.ufrgs.br/historia/galileu.html>

Pequena descrição do que teria sido a experiência de Galileu.

<http://www.coladaweb.com/fisica/queda.htm>

Um pouco de teoria sobre a queda livre de corpos e um pouco sobre a história de Galileu e Aristóteles.

<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/GalileGa.html>

Uma biografia mais a fundo sobre a vida de Galileu.

Lista de Materiais:

Tubo de plástico, photogates, esferas de isopor e metal, ímã, suporte, bomba de vácuo.

Aprovação do orientador:

“Meu orientador, o professor Varlei Rodrigues concorda com os termos aqui estabelecidos para o projeto e declara que poderá dispor de todos os elementos necessários a menos de exceções indicadas abaixo.”

Não há exceções.

Não exige sigilo.

Estimativa dos resultados

Considerando a fórmula da força de araste dada na referência (HALLIDAY) e utilizando a velocidade terminal também dada, podemos encontrar a posição da partícula em função do tempo resolvendo uma equação diferencial.

Sabemos então que a velocidade da partícula (em m/s) em função do tempo (em segundos) é:

$$v(t) = -v_1 \left\{ \frac{[1 - \exp(-2gt/v_1)]}{[1 + \exp(-2gt/v_1)]} \right\}$$
$$v_1 = (mg/K)^{1/2}$$
$$K = \delta\rho\pi R^2/2$$

onde g é a aceleração da gravidade (usaremos $9,81\text{m/s}^2$), m é a massa da esfera, δ é um coeficiente adimensional associado à forma do objeto (aproximadamente 0,4 para esferas), ρ é a densidade do ar (usaremos $1,293\text{kg/m}^3$), R é o raio da esfera, K é chamado constante de proporcionalidade e v_1 é a velocidade terminal.

A partir daí então, temos que a altura x da partícula em relação ao fundo do tubo é (em metros):

$$x(t) = (v_1^2 \ln[D(t)]/2g) + 0,99$$

$$D(t) = (v_1^2 - v(t)^2)/v_1^2$$

o termo constante é adicionado pois o tubo tem altura de 99cm.

Os photogates estão posicionados à alturas de 93cm e 7cm do fundo do tubo.

Para a esfera de metal (massa igual à 41,71g e raio de 22mm), os photogates são acionados nos tempos 0,1192s e 0,4360s de acordo com a fórmula, e então, a esfera de metal leva aproximadamente 0,3168s.

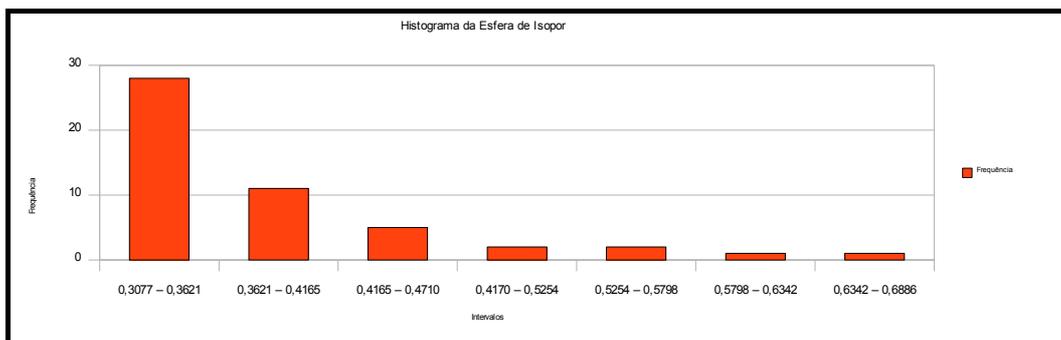
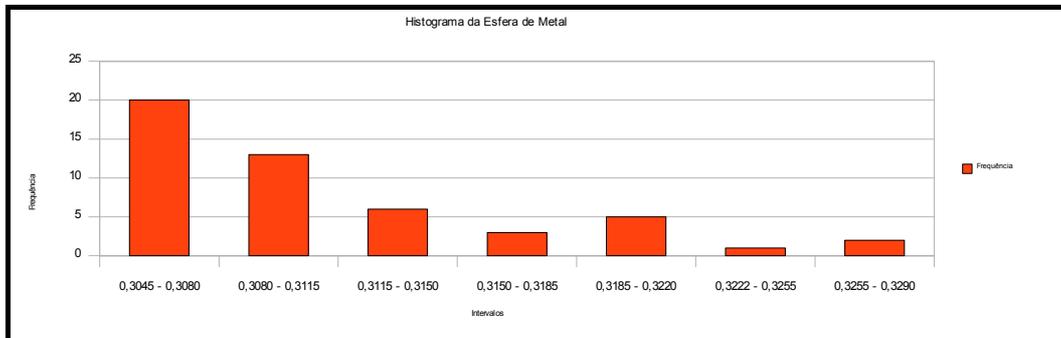
Já a esfera de isopor tem massa de aproximadamente 1g e raio de 20mm, e então, os tempos de ativação dos photogates previstos pela teoria são de 0,1200s e 0,4576s, sendo então a diferença de aproximadamente 0,3376s.

Resultados

De início foram realizadas medições do tempo de queda da esfera de metal e de uma esfera de isopor sem a utilização da bomba de vácuo. A esfera de isopor foi aberta e um percevejo foi colocado dentro da esfera para que ela fosse atraída pelo ímã. Foram então realizadas 50 medidas do tempo de queda utilizando os photogates e foram feitos os cálculos do erro:

	Tempo de Queda (segundos)	
	Metal	Isopor
1	0,3218	0,3617
2	0,3047	0,3204
3	0,3150	0,5263
4	0,3054	0,3636
5	0,3123	0,3863
6	0,3050	0,3194
7	0,3046	0,3686
8	0,3082	0,3148
9	0,3097	0,3131
10	0,3107	0,4531
11	0,3045	0,3151
12	0,3045	0,3606
13	0,3070	0,3599
14	0,3047	0,3911
15	0,3075	0,3077
16	0,3089	0,3150
17	0,3076	0,5069
18	0,3271	0,3821
19	0,3102	0,3158
20	0,3116	0,3188
21	0,3053	0,3529
22	0,3051	0,3480
23	0,3218	0,6342
24	0,3185	0,4004
25	0,3207	0,3188

	Tempo de Queda (segundos)	
	Metal	Isopor
26	0,3162	0,3561
27	0,3290	0,3226
28	0,3225	0,5966
29	0,3133	0,3305
30	0,3110	0,4089
31	0,3128	0,5393
32	0,3061	0,4580
33	0,3084	0,3857
34	0,3075	0,3791
35	0,3135	0,3235
36	0,3090	0,4874
37	0,3104	0,4396
38	0,3056	0,3189
39	0,3070	0,3186
40	0,3064	0,3969
41	0,3084	0,3551
42	0,3121	0,3158
43	0,3066	0,3595
44	0,3072	0,3198
45	0,3065	0,4515
46	0,3109	0,3152
47	0,3086	0,4551
48	0,3163	0,3263
49	0,3086	0,3688
50	0,3218	0,3188



	Metal	Isopor
Média (s)	0,3110	0,3800
Desvio Padrão (s)	0,0062	0,0775
Erro Estatístico (s)	0,0009	0,0110
Erro Instrumental (s)	0,0001	0,0001
Erro Total (s)	0,0009	0,0110
Valor (s)	0,3110±0,0009	0,38±0,01

Os gráficos acima são chamados “histogramas”, eles mostram como os resultados se acumulam em função dos diferentes períodos. Neste caso, a partir do maior e do menor valor de tempo obtido, foram feitas 7 divisões do intervalo e foi contado quantos lançamentos se enquadravam em cada período.

Os valores obtidos não foram satisfatórios, pois este gráfico de histograma deve apresentar a forma de uma curva “Gaussiana”, aparentando um pico de frequência em torno do valor médio e frequências cada vez mais baixas quando os valores se afastam da média, isto será resolvido obtendo um número maior de dados.

O resultado da esfera de isopor provavelmente é devido à distribuição de massa irregular no interior da esfera, pois esta distribuição fazia com que a esfera desse “rodopios” dentro do tubo, o que aumentava consideravelmente seu tempo de queda. Para isto, será providenciada uma esfera de isopor com um pequeno ímã em seu centro, para que a esfera possa ser atraída mas não prejudique a distribuição de massa da esfera.

Fotos





Dificuldades encontradas

Ao tentar fazer as primeiras medidas do experimento, alguns photogates apresentaram comportamentos problemáticos, então modelos diferentes foram testados para se assegurar que o photogate estava funcionando como deveria. Além disso, devido ao material do tubo, é necessário que o photogate esteja precisamente posicionado entre os arcos de metal que sustentam o tubo para que a medição seja feita.

A esfera de isopor utilizada tinha uma distribuição de massa em seu interior de forma muito irregular, o que fazia com que (sob a força de atrito com o ar) ela desse rodopios dentro do tubo e demorasse muito para chegar ao fim do tubo. Para contornar este problema tentamos montar esferas de isopor com pequenos rolamentos em seu centro.

Escolhendo e desmontando alguns rolamentos abandonados, pudemos encontrar esferas de metal de tamanhos diversos, mas para que a esfera de isopor fosse atraída pelo ímã a esfera de metal deveria ter um tamanho considerável, o que

diminuía a área de isopor que receberia a cola. Estas esferas não resistiam a sequência de quedas e se partiam dentro do tubo.

Como nova tentativa, construiremos esferas de isopor com pequenos ímãs dentro delas, para que possam ser atraídas de forma satisfatória, e para aumentar a durabilidade das esferas, ao invés de cola para isopor será utilizado Araldite.

O tamanho do corte transversal da esfera também é uma dificuldade, pois se a esfera for muito grande ela se prende na entrada do tubo, e se for muito pequena seu corte transversal não se assemelha com o da esfera de metal que temos no laboratório, fazendo com que a resistência do ar atue de formas diferentes nas duas.

Pesquisa

Durante o desenvolvimento do experimento, foi necessário buscar informação sobre alguns temas. Entre eles:

- Proposta de Galileu da experiência da queda livre;
- Absorção óptica do PVC;
- Vácuo;
- Queda de objetos em meio viscoso.

As informações necessárias foram encontradas nas referências já citadas:

Importância da experiência de Galileu

<http://cienciatube.blogspot.com/2008/10/queda-livre-experincia-de-galileu.html>

<http://www.if.ufrgs.br/historia/galileu.html>

<http://www.coladaweb.com/fisica/queda.htm>

<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/GalileGa.html>

Teoria:

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos da Física 1: Mecânica**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

Descrição

Resumo:

O projeto consiste em observar a queda de objetos com massas diferentes e avaliar o tempo que eles levam para cair. No dia-a-dia, objetos com massas menores normalmente chegam ao chão mais lentamente, como uma folha de papel ou uma pena, enquanto que objetos mais “pesados” caem mais rapidamente, como uma maçã ou um martelo. No entanto, quando Neil Armstrong deixou cair um martelo e uma pena na Lua, eles chegaram ao chão ao mesmo tempo, indicando que talvez a diferença de tempo que observamos esteja relacionada com a presença do ar da nossa atmosfera. Assim, neste projeto, observamos a queda de uma esfera de isopor e de uma esfera de metal tanto quando o tubo está cheio de ar, quanto quando está sem ar (vácuo).

Descrição:

O objetivo principal do projeto é mostrar que a idéia que Galileu propôs estava correta, mostrando que dois objetos de massas diferentes abandonados de uma mesma altura não atingem o chão ao mesmo tempo devido à resistência do ar. Assim, abandonando duas esferas de mesmo tamanho, mas de massas diferentes, pretendo-se que o tempo que as duas tomem para chegar ao fim do tubo seja semelhante quando no vácuo e que a esfera de isopor demore um pouco mais do que a de metal quando o

tubo está cheio de ar.

No entanto, o tempo de queda destes objetos oscila muito pouco, o que faz necessária a utilização de um aparelho eletrônico (o photogate) para que a medição seja feita com mais precisão do que se fosse feita através de um cronômetro, e que sejam feitas muitas medições, para que o valor médio se aproxime do real valor da medida.

Pretende-se então, após um tratamento simples dos dados obtidos, observar que o tempo de queda dos dois objetos não difere no vácuo, mas que o tempo de queda da esfera de isopor seja menor do que da de metal quando não se está no vácuo.

Observação do Orientador

“Meu orientador concorda com o expressado nesse relatório parcial e está satisfeito com o relatório.”

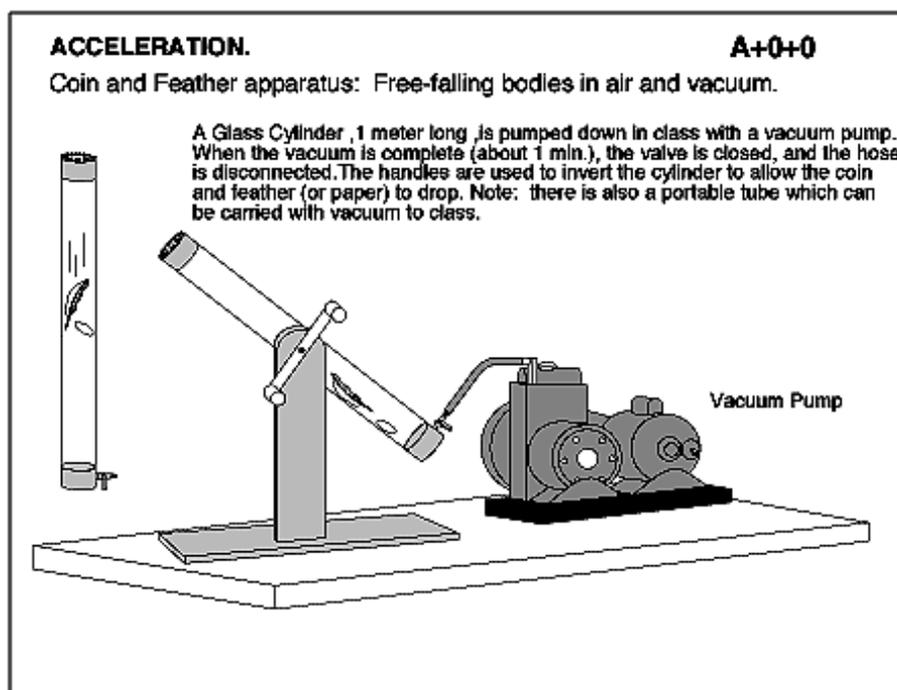
Horário de apresentação

Quarta-feira, 18 de Junho, primeiro ou segundo horário.

Apêndice:

Referências de websites:

<http://jedlik.phy.bme.hu/~hartlein/www.mip.berkeley.edu/images/physics/A+0+0.gif>



<http://www.if.ufrgs.br/historia/galileu.html>

“O segundo experimento entre os 10 mais da revista [Physics World](#) refere-se à queda dos corpos, e teria sido realizado por Galileu na torre de Pisa. Embora, de acordo com o historiador Alexandre Koyré, isso não passa de uma lenda, é interessante discutir o que pretendia Galileu com este tipo de experiência. O principal objetivo de Galileu era combater a hipótese de Aristóteles, segundo a qual a *velocidade de queda* de um corpo é proporcional a seu peso. Para Galileu, o peso não deveria ter qualquer influência na velocidade de queda. A comprovação seria simples: bastava jogar do alto da torre corpos com diferentes pesos e medir o tempo de queda. Há relatos na literatura de que bolas de 10 gramas e de 1 grama teriam sido lançadas, todas chegando ao solo ao mesmo tempo. Isso poderia ser facilmente observado se não houvesse a resistência do ar e outros fatores, como a forma e o material dos corpos lançados. Na verdade, a afirmação "todas chegando ao solo ao mesmo tempo" só seria rigorosamente verdadeira se a experiência fosse realizada no *vácuo*.

Galileu vislumbrou uma alternativa ao *experimento da torre de Pisa* para investigar a relação entre o peso de um corpo e sua velocidade de queda. Esta alternativa constitui o oitavo experimento mais votado pelos leitores da [Physics World](#). Os experimentos sobre o movimento de corpos num plano inclinado são detalhadamente descritos por Galileu na sua famosa obra *Discursos sobre duas novas ciências*.”

<http://www.coladaweb.com/fisica/queda.htm>

Queda livre

Queda dos corpos

Entre os diversos movimentos que ocorre na natureza, ouvem sempre interesse no [estudo](#) do movimento de queda dos corpos próximos à superfície da terra. Quando abandonamos um objeto agora (uma pedra, por exemplo) de uma certa altura, podemos verificar que, ao cair, sua velocidade cresce, isto é, o seu movimento é acelerado. Se lançarmos o objeto para cima, sua velocidade diminui gradualmente até se anular no ponto mais alto, isto é, o movimento é retardado. As características destes movimentos de subida e descida foram objeto de estudo desde tempos bastante remotos.

Aristóteles e a queda dos corpos

O grande filósofo Aristóteles, aproximadamente 300 anos antes de cristo, acreditava que abandonando corpos leves e pesados de uma mesma altura, seus tempos de queda não seriam iguais: os corpos mas pesados alcançariam o solo antes dos mas leve. A crença nesta afirmação durante quase dois mil anos, sem que se tivesse procurado verificar veracidade através de medidas cuidadosas. Um estudo mas minucioso de queda de copos só veio a ser realizado pelo o grande físico Galileu Galilei, no século XVII.

Galileu e a queda dos corpos

Galileu e considerado o introdutor do método experimental da física, acreditando que qualquer afirmativa relacionada com um fenômeno deveria estar fundamentada em [experiências](#) e em observações cuidadosas . Este método de estudo dos fenômenos da natureza não era adotado até então e, por isso mesmo, varias conclusões de Galileu entraram em choque com os ensinamentos Aristóteles. Apesar das evidencias experiências realizadas por Galileu, muitos dos seguidores do [pensamento](#) Aristóteles

não se deixaram convencer, sendo Galileu alvo de perseguições por pregar ideais consideradas revolucionárias.

Queda Livre

Como você já deve ter visto muitas vezes, ao deixarmos cair uma pedra e uma pena, a pedra cai mais depressa, como afirmava Aristóteles. Entretanto, podemos mostrar que isso se dá porque o ar exerce um efeito retardador na queda de qualquer objeto e que este efeito exerce maior influência sobre o movimento da pena do que sobre o movimento da pedra. Observamos, entretanto, que a resistência do ar só retarda sensivelmente certos corpos, como uma pena, um pedaço de algodão ou uma folha de papel, sendo desprezível para outros, mais pesados, como uma pedra, uma esfera de metal ou até mesmo um pedaço de madeira. Então, para esses últimos, a queda no ar, estes corpos caem simultaneamente, como afirmava Galileu. O movimento de quedas dos corpos no vácuo ou no ar, quando a resistência do ar é desprezível, é denominado queda livre.

Aceleração da gravidade

Conforme já foi dito o movimento de queda livre é acelerado. Com suas experiências, Galileu conseguiu verificar que o movimento é uniformemente acelerado, isto é, durante a queda o corpo cai com aceleração constante. Esta aceleração, denominada aceleração da gravidade, é representado normalmente por g e, pelo que já vimos, podemos concluir é o mesmo para todos os corpos em queda livre.