

# MOVIMENTO DE REVOLUÇÃO DAS LUAS DE JÚPITER <sup>1</sup>

## Objetivos:

1. Aplicar as leis do movimento (ou 3ª lei de Kepler) para calcular a massa de Júpiter.
2. Estimar o período orbital e o raio orbital para as luas galileanas de Júpiter.

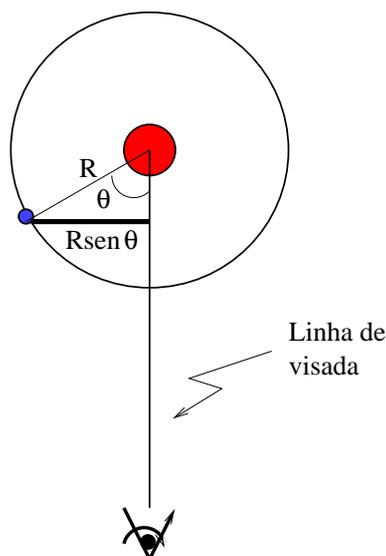
## Equipamento:

Computador com programa CLEA “The revolutions of the moons of Jupiter”, lápis, régua, papel milimetrado, calculadora.

## Introdução:

Neste exercício você irá simular a observação das quatro maiores luas de Júpiter, as quais Galileu observou com seu telescópio no ano de 1610. Seus nomes são Io, Europa, Ganimedes e Calisto, em ordem de distância ao planeta.

Olhando através de um pequeno telescópio, vemos as luas alinhadas, porque estamos enxergando o seu plano orbital de lado. À medida que o tempo passa, as luas se movem em torno de Júpiter em órbitas quase circulares. Mas nós conseguimos ver apenas a componente do raio orbital que está perpendicular à linha de visada entre Terra e Júpiter, como na figura abaixo.



## Procedimento:

### 1. Inicializar o programa e entrar as informações do estudante

- Clique em **Log In**, entre seu nome em **Student#**, e os dos seus colegas de grupo (até 4 se necessário). Clique **OK**, e clique **Yes** quando perguntar “Have you finished logging in”? Clique **Start**. Vai aparecer uma tabela com alguns dados sobre a data e o período de observação. Para alterar qualquer dado, clique duas vezes na caixa correspondente e então entre com o valor correto. Comece selecionando o intervalo entre as observações de 3 horas. Quando todas as informações estiverem de acordo, clique **OK**.
- Aparecerá uma tela onde Júpiter está no centro, e as luas aparecem como pequenos pontos em ambos os lados. Pode acontecer de alguma lua estar atrás de Júpiter, caso em que não pode ser vista. Os dados U.T. (tempo universal) e J.D. (dia juliano) são listados no canto esquerdo da tela. Os dados sobre a Lua selecionada (clicando o mouse em cima dela) se encontram no canto inferior direito: na linha de cima aparecem coordenadas X e Y do ponto da tela onde está o cursor na tela, em pixels; na linha de baixo aparece a componente perpendicular à linha de visada da distância da Lua a Júpiter, que também está representada por **X**, em unidades de diâmetros de Júpiter (é o que você vai anotar!), e a distância total da lua a Júpiter, representada pela letra R. As letras E e W ao lado de X indicam se a lua está a leste ou oeste de Júpiter. Registre os dados da primeira observação na folha de dados:

Coluna 1: Data

Coluna 2: Hora, em tempo universal

Coluna 3; Dia, em ordem numérica. Exemplo: 1, 2, 3, 4, etc, se o intervalo de tempo entre as medidas for de 24 h; ou 1, 1.5, 2, 2.5, etc, se o intervalo de tempo entre as medidas for 12h; 1,1.25,1.5,1.75, 2, 2.25, 2.5, etc, se o intervalo for de 6 h; 1, 1.125, 1.25, 1.375, 1.5, etc, se o intervalo for de 3 h. Coluna 4 - 7: posição (**X** = ) de cada lua. Use o sinal “+” para indicar oeste, e “-” para indicar leste. Exemplo, se Europa foi selecionada e tem  $X = 2.75W$ , na coluna “Europa” voce escreve “+2,75”.

<sup>1</sup>CLEA - Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy - Department of Physics, Gettysburg College, Gettysburg, PA 17325, <http://www.gettysburg.edu/academics/physics/clea/CLEAhome.htm>

Texto adaptado pelos professores Maria de Fátima Saraiva e Kepler Oliveira

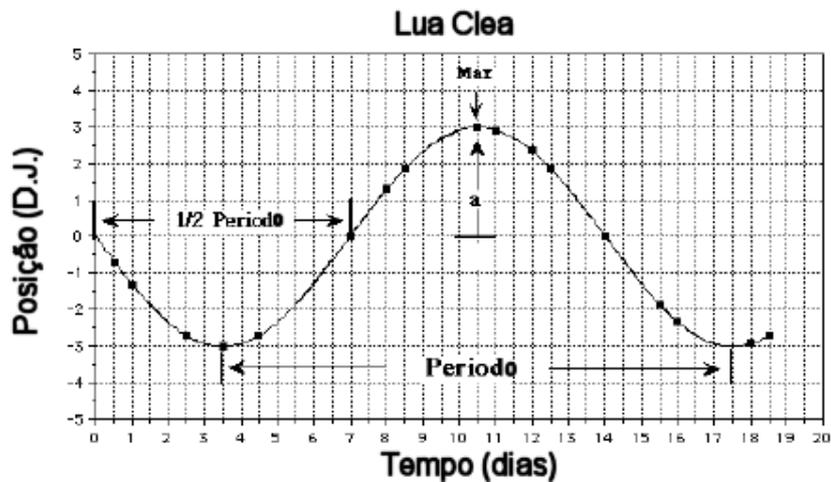
- Quando tiver registrado os dados das luas, clique no botão **NEXT** para ir para a próxima observação. Faça 8 observações com intervalo de 3 horas, depois 12 observações com intervalo de 6 horas, mais 12 observações com intervalo de 12 horas e finalmente mais 8 observações com intervalo de 24 horas. Nas observações com intervalo de 24 h meça apenas Ganimedes e Calisto. Para mudar o intervalo entre as observações use o botão **Start**. Registre os dados na folha em anexo, de acordo com o exemplo abaixo.

### Exemplo:

****(1)****	****(2)****	****(3)****	***** (4)*****	***** (5)*****	***** (6)*****	***** (7)*****
Data	Hora	Dia	Io	Europa	Ganimedes	Calisto
20/abril	0.0	1.0	+2.95	+2.75	-7.43	+13.15
20/abril	12.0	1.5	-0.86	+4.70	-6.30	+13.15

## 2. Análise dos dados

Plotando para cada lua sua posição em função do tempo, você deve obter um gráfico como o abaixo (feito para uma lua imaginária chamada CLEA).



Cada ponto na figura é uma observação da lua CLEA. Observe os espaçamentos irregulares entre os pontos, devido a noites nubladas ou outros problemas. A curva suave obtida passando uma linha entre os pontos é a curva senóide que se obteria se a observação fosse feita a intervalos de tempo suficientemente pequenos.

Para determinar as propriedades orbitais de cada lua, você precisa determinar a curva senóide que melhor ajusta seus pontos. Lembre que as órbitas das luas são regulares, portanto a forma da curva *de uma dada lua* deve ser regular, passando por todos os pontos, mantendo a mesma forma de um período para outro, mantendo o mesmo máximo e a mesma largura.

O **período** da lua é o tempo que ela leva para voltar ao mesmo ponto da órbita, portanto é o tempo entre dois máximos. O tempo entre dois pontos com J.D. = 0 é **meio período**, portanto se para alguma lua você não conseguir observar uma órbita completa, você pode usar o meio-período para determinar o período total. Se você, pelo contrário, tiver vários períodos em sua curva, você pode melhorar a precisão no valor do período fazendo a média entre eles.

Quando a lua está na máxima posição para o leste ou para oeste, ela está na maior distância aparente do planeta. Embora as órbitas sejam quase circulares, como nós as vemos de lado, só podemos determinar os seu raio nessas ocasiões de máximo afastamento para um lado ou para o outro.

## 3. Obtenção dos gráficos

- Entre os dados de cada lua nas folhas quadriculadas que o professor vai lhe dar (se preferir você pode fazer os gráficos em papel milimetrado). A escala vertical já está marcada com os valores de posição, em diâmetros de Júpiter (J.D.). Na escala horizontal escreva os números correspondentes aos dias das observações, começando com o primeiro dia (dia 1) para o qual você obteve dados, e usando a seguinte escala:
  - Io: cada intervalo entre dois riscos consecutivos do eixo X corresponde a 0,125 dias.
  - Europa: cada intervalo entre dois riscos consecutivos do eixo X corresponde a 0,25 dias.
  - Ganimede: cada intervalo entre dois riscos consecutivos do eixo X corresponde a 0,25 dias.
  - Calisto: cada intervalo entre dois riscos consecutivos do eixo X corresponde a 0,5 dias.

- Para cada lua, trace uma curva suave entre os pontos. Marque os máximos e mínimos com cruces. Eles não cairão necessariamente em uma das linhas da grade. A curva deve ser simétrica em relação ao eixo horizontal. Os máximos e mínimos devem ter o mesmo valor, exceto pelo sinal.
- Calcule o período ( $P$ ) e o raio orbital ( $a$ ). Os valores de  $P$  estarão em unidades de dias, e os de  $a$  em diâmetros de Júpiter. Anote esses valores nos lugares indicados abaixo de cada gráfico. Converta os valores de  $P$  para anos, dividindo por 365,25 (número de dias no ano), e de  $a$  para unidades astronômicas (UA), dividindo por 1049 (número de diâmetros de Júpiter em uma unidade astronômica). Anote esses valores nos lugares indicados abaixo de cada curva.

#### 4. Cálculo da massa de Júpiter através do movimento de cada lua.

Use a 3ª lei de Kepler para obter a massa de Júpiter, em massas solares:

$$M_J(M_\odot) = \frac{[a(UA)]^3}{[P(anos)]^2}$$

Faça o cálculo da massa de Júpiter através do movimento de cada lua. Coloque seus cálculos na tabela a seguir.

<p>Io</p> <hr/>          <p><math>M_J =</math> _____ <math>M_\odot</math></p>	<p>Europa</p> <hr/>          <p><math>M_J =</math> _____ <math>M_\odot</math></p>
<p>Ganimede</p> <hr/>          <p><math>M_J =</math> _____ <math>M_\odot</math></p>	<p>Calisto</p> <hr/>          <p><math>M_J =</math> _____ <math>M_\odot</math></p>

Valor médio:  $M_J =$  \_\_\_\_\_  $M_\odot$ .

5. **Questões para responder:**

(a) O que causaria um erro maior no cálculo da massa de Júpiter: 1 erro de 10% no período ou um erro de 10% no semi-eixo maior da órbita? Por que?

(b) Expresse a massa de Júpiter em massas terrestres, sabendo que a massa da Terra é  $3 \times 10^{-6} M_{\odot}$ .

(c) Júpiter tem atualmente 63 satélites conhecidos. Quanto vale, aproximadamente, a razão  $\frac{[a(\text{UA})]^3}{[P(\text{anos})]^2}$  para eles? Quanto vale essa razão, expressando a em km e P em dias, sabendo que 1 UA tem  $1,5 \times 10^8$  km e 1 ano tem 365,25 dias?

(d) Os 22 satélites de Júpiter descobertos em 2003 têm períodos orbitais entre 760 e 808 dias. Qual a distância a Júpiter do mais próximo? E qual a distância do mais distante? Dê suas respostas em km.

