

ATIVIDADE OBSERVACIONAL

MOVIMENTO APARENTE DE UM ASTERÓIDE INSPECIONANDO IMAGENS ASTRONÔMICAS IMPRESSAS

Dr. André Milone (INPE/MCT)

Objetivos

Acessar remotamente um telescópio óptico de pequeno porte para capturar imagens de uma dada região do céu (ao longo da Eclíptica¹) no decorrer de poucas horas, usando uma câmera digital astronômica, a fim de identificar a presença de um asteróide a partir da percepção de seu movimento relativo às estrelas presentes no campo das imagens. Sugere-se, também, medir o deslocamento aparente do asteróide e calcular suas velocidades angular e linear.

Justificativas

Realizar uma observação científica de um fenômeno astronômico real que incorpora a realização de medidas de posição aparente de um astro como função do tempo.

Contexto e conceitos envolvidos

Propor aos estudantes realizar em grupo uma atividade didático-científica extracurricular utilizando recursos da tecnologia da informação para que eles possam assimilar conceitos físicos como deslocamento relativo de um corpo, intervalo de tempo, velocidade angular, distância e velocidade linear, e astronômicos como movimento rápido aparente de um corpo do Sistema Solar (asteróide), movimento orbital, Leis de Kepler, entre outros.

Metodologia e processos

A atividade envolve a manipulação de um sistema computacional que possibilita controlar remotamente instrumentos científicos (telescópio e CCD) por meio do acesso a uma página web usando “login” e senha. Não são requeridos conhecimentos aprofundados em Astronomia e Informática. É preciso visualizar, manipular e imprimir imagens em formato GIF (qualquer programa de visualização de imagens digitais pode ser utilizado). Empregam-se conceitos fundamentais em aritmética, geometria e álgebra vetorial.

Resultados esperados

O fundamental é compreender que uma observação científica é dividida em várias etapas.

- Definição do problema e objeto de estudo: movimento aparente dum asteróide.
- Programação das observações (de responsabilidade da equipe do observatório da rede Telescópios na Escola – TnE).
- Coleta dos dados: captura de imagens usando um telescópio e câmera astronômica, controlados a distância pelo professor ou estudante.
- Tratamento dos dados brutos (não é necessário corrigir as imagens digitais brutas de efeitos instrumentais para esta atividade).
- Análise dos dados ou realização de medidas: medição do deslocamento aparente do asteróide e de sua velocidade angular relativa ao observatório.
- Interpretação dos resultados: cálculo de uma componente da velocidade linear do asteróide (relativa também).
- Confrontação dos resultados com previsões teóricas ou outras observações.

¹ Consulte o glossário de termos técnicos e astronômicos fornecido.

Em resumo, propõe-se exercitar o empirismo científico de um modo contemporâneo, participativo e lúdico abordando conceitos em Física, Matemática e Astronomia.

Materiais necessários

São utilizados, além de um computador com acesso à Internet e programa de navegação de páginas web:

- um programa de visualização de imagens digitais (sugestão: MS Photo Editor),
- uma impressora e 2 folhas de papel sulfite ou de transparência,
- uma caneta vermelha de ponta fina,
- uma régua milimetrada com subdivisões de ½ mm (aquelas metálicas),
- uma calculadora com operações trigonométricas (a do computador serve), e
- talvez, um programa de visualização de imagens FITS (FITSview ou DS9 para Windows).

Procedimento

(esta atividade também pode ser realizada no projeto *Um passeio pelo céu)**

1 Aquisição das imagens astronômicas

- 1.1 Em primeiro lugar, na noite de observação, acesse a página web do sistema de observações astronômicas pela Internet do projeto TnE utilizando o endereço URL fornecido pela equipe do observatório. Digite o nome de usuário e senha fornecidos para efetuar seu login no sistema web.
- 1.2 A partir do 'Menu' principal do Sistema, é recomendável acessar o link 'Bate-Papo' para se comunicar em tempo real com a equipe do observatório e resolver dúvidas que porventura ocorram durante a sessão remota.
- 1.3 Do 'Menu', vá para a página 'Apontar e Expor', onde você deve selecionar 'Outros – digitar RA e DEC (do dia)' a fim de perfazer o apontamento do telescópio usando as coordenadas celestes equatoriais fornecidas para o campo do asteróide (RA: "Right Ascension" ou Ascensão Reta, DEC: "Declination" ou Declinação) e adquirir as imagens.
- 1.4 Na página 'Apontar e Expor', você precisa digitar corretamente os valores das coordenadas: apenas números para 'Ascensão Reta', e números e sinal para 'Declinação'. Informe o 'Número de exposições' como sendo 5 e o 'Tempo de exposições' como sendo 10.00 (segundos). Confira todos os valores digitados e clique em 'Observar' (***Em Um passeio pelo céu são apenas 5 exposições no início e final da sessão**).
- 1.5 Aguarde enquanto o telescópio seja apontado e as imagens sejam feitas (isto pode durar até 2 minutos no primeiro apontamento).
- 1.6 Após a aquisição das imagens do campo do asteróide, seu acesso é automaticamente direcionado à página 'Arquivo das Imagens', onde você precisa transferir as 5 imagens feitas (adquiridas em tons de cinza ou preto-e-branco mesmo) para seu computador. Na coluna 'Visualizar', clique em cada um dos seus links respectivos. Cada uma das imagens em formato GIF é apresentada na janela do navegador. Transfira, também, as imagens em formato FITS usando os links da coluna 'Download' (você precisa ter um programa manipulador de imagens FITS em seu computador para poder visualizá-las). Todas são ditas imagens brutas porque não estão corrigidas dos efeitos instrumentais do detector CCD e do padrão de iluminação do plano focal do telescópio.
- 1.7 Retorne ao 'Menu' do Sistema.
- 1.8 Aguarde 20 minutos e repita os passos 1.3 a 1.6 até o final de sua sessão remota a fim de capturar mais imagens do mesmo campo do céu (nas proximidades da Eclíptica porque as órbitas dos asteróides do Cinturão Principal têm planos próximos ao plano orbital da Terra).

1.9 Por volta das 22h, hora local do observatório, a sessão é encerrada. Você terá adquirido até 9 conjuntos de 5 imagens do campo do asteróide, intercalados em cerca de 20 minutos. São feitas 5 exposições de cada vez para assegurar que pelo menos uma tenha qualidade útil à atividade observacional (verifique quão puntiformes aparecem as estrelas). Adiante, um exemplo de imagem em positivo é apresentado.



Figura 1 – Campo de RA = $20^{\text{h}} 06^{\text{min}} 54^{\text{s}}$ e DEC = $-13^{\circ} 33' 31''$, imageado em 25/08/2006 às 19h41min (hora local) no Miniobservatório Astronômico do INPE.

2 Realização de medidas nas imagens obtidas (ou Manipulação das imagens obtidas)

Faça esta parte da atividade com calma em um dia posterior à noite de observações.

2.1 Adotando o programa- visualizador de imagens digitais de sua preferência, abra cada uma das 5 imagens GIF adquiridas de cada conjunto e selecione a de melhor qualidade. Assim, você terá escolhido até 9 imagens (brutas). Não se esqueça de identificar cada uma delas prestando atenção na seqüência com que foram tomadas.

2.2 Escolha uma imagem do início da sessão observacional e outra do fim.

2.3 Visualize as duas imagens GIF selecionadas, inverta sua escala de tons de cinza para que as estrelas apareçam como pontos pretos e o fundo de céu seja branco (em negativo mesmo). Imprima- as com o mesmo tamanho (sugestão: 24 cm por 16 cm) e em separado em duas folhas de papel ou transparência.

2.4 Identificação do asteróide no campo da imagem

Sobreponha a imagem final à inicial, fazendo com que as estrelas de uma imagem coincidam com as da outra (em anexo estão duas imagens negativas como exemplo). Se for necessário, gire uma delas em 180 graus. Tente reconhecer um ponto que na primeira exposição esteja num dado local e na segunda imagem esteja em outro. Este ponto é o asteróide, um corpo do Sistema Solar que apresentou um deslocamento rápido com respeito às estrelas, as quais estão muito mais distantes do que ele e são consideradas imóveis neste caso. A visão humana é adaptada para reconhecer objetos que se movam com relação a outros de referência ou imóveis.

2.5 Medição do deslocamento do asteróide

Tendo reconhecido o objeto pontual que se deslocou como sendo um asteróide, assinale com a caneta vermelha a posição inicial dele na segunda exposição, ou sua posição final na primeira. Numa das imagens, trace com auxílio duma régua um segmento de reta, o qual representa o deslocamento aparente realizado pelo asteróide. Siga os passos adiante.

- **Deslocamento da posição aparente do asteróide na imagem impressa, Δp =**

_____ milímetros (*mm*), uma casa decimal é suficiente!

- **Comprimento angular da imagem** (em *segundos-de-arco* ou *arcsec*) =

[comprimento angular em *arcmin*] \times 60 *arcsec/arcmin* (1 *arcmin* = 60 *arcsec*) =

_____ *arcmin* \times 60 *arcsec/arcmin* = _____ *arcsec* (1 casa decimal!).

(Nota importante: atualmente no Miniobservatório Astronômico do INPE a dimensão do campo é igual a 12 *minutos-de-arco* ou *arcmin* por 8 *arcmin*, e no Telescópio Argus do Observatório de Valinhos da USP a 13,2 *arcmin* \times 8,8 *arcmin*)

- **Escala espacial da imagem** ou **conversão de coordenada de imagem para ângulo** (relação ângulo no céu *versus* unidade de comprimento da imagem) =

[seu comprimento angular em *arcsec*] \div [seu comprimento linear em *mm*] =

_____ *arcsec* \div _____ *mm* = _____ *arcsec/mm* (1 casa decimal!).

- **Deslocamento angular aparente do asteróide** (em *arcsec*), $\theta = \Delta p(mm) \times \text{escala} =$

[seu deslocamento na imagem em *mm*] \times [escala espacial da imagem em *arcsec/mm*] =

_____ *mm* \times _____ *arcsec/mm* =

_____ *arcsec* (uma casa decimal no máximo!).

2.6 Determinação da direção e sentido do deslocamento aparente do asteróide

A orientação Norte- Leste do campo nas imagens deve ter sido informada pela equipe do observatório. Tendo esta informação em mãos, afirme em qual direção e sentido o asteróide se deslocou aproximadamente no céu:

- () direção Norte- Sul, sentido Sul
- () direção Norte- Sul, sentido Norte
- () direção Leste- Oeste, sentido Leste
- () direção Leste- Oeste, sentido Oeste
- () direção Nordeste- Sudoeste, sentido Sudoeste
- () direção Nordeste- Sudoeste, sentido Nordeste
- () direção Noroeste- Sudeste, sentido Sudeste
- () direção Noroeste- Sudeste, sentido Noroeste

3 Cálculo da velocidade angular do asteróide (relativa ao observador terrestre)

3.1 A fim de se calcular a velocidade angular do asteróide, que possui unidade de ângulo por unidade de tempo, você vai precisar conhecer o intervalo de tempo transcorrido entre as duas exposições escolhidas. Velocidade é uma medida do deslocamento espacial ou angular de um corpo com relação a um ou mais pontos de referência durante um dado intervalo de tempo. Tal velocidade angular é uma velocidade relativa porque não só o asteróide se movimenta em sua órbita como, também, a Terra gira em torno de si e tem um deslocamento orbital. Portanto, a velocidade angular a ser calculada do asteróide é instantânea e relativa ao observatório utilizado. Siga os passos adiante, tendo em seu computador os arquivos FITS das duas imagens.

- No cabeçalho do arquivo FITS da **imagem inicial**, identifique:

- **Data da observação** : ____/____/____
- **Instante de tempo local da exposição**: ____h ____min ____s
(caso seja UTC, subtraia 3 horas!)

- **Transformação do instante de tempo local em horas decimais** :

$$[horas] + [minutos] \div 60 \text{ min/h} + [segundos] \div 3.600 \text{ s/h} =$$

$$\text{____ h} + \text{____ min} \div 60 \text{ min/h} + \text{____ s} \div 3.600 \text{ s/h} =$$

$$\text{_____ horas decimais (4 casas decimais bastam!).}$$

- No cabeçalho do arquivo FITS da **imagem final**, identifique:

- **Data da observação** : ____/____/____
- **Instante de tempo local da exposição**: ____h ____min ____s
(caso seja UTC, subtraia 3 horas!)

- **Transformação do instante de tempo local em horas decimais** :

$$[horas] + [minutos] \div 60 \text{ min/h} + [segundos] \div 3.600 \text{ s/h} =$$

$$\text{____ h} + \text{____ min} \div 60 \text{ min/h} + \text{____ s} \div 3.600 \text{ s/h} =$$

$$\text{_____ horas decimais (4 casas decimais bastam!).}$$

- **Cálculo do intervalo de tempo transcorrido em segundos (s), $\Delta t =$**

[horas decimais da imagem final] – [horas decimais da imagem inicial] =

_____ horas decimais – _____ horas decimais =

_____ horas decimais (4 casas decimais são suficientes!),

[intervalo de tempo em horas decimais] \times 3.600 segundos/hora =

_____ horas decimais \times 3.600 segundos/hora =

_____ segundos (1 casa decimal no máximo!).

- **Velocidade angular do asteróide em arcsec por segundo (de tempo), $\mu = \theta \div \Delta t =$**

[deslocamento angular do asteróide em arcsec] \div [intervalo de tempo em segundos] =

_____ arcsec \div _____ s = _____ arcsec/s (6 casas decimais!).

4 Cálculo da velocidade linear relativa do asteróide (componente tangencial ao plano do céu equivalente à componente transversal à linha-de-visada observatório-asteróide)

4.1 A fim de analisar o resultado obtido para a velocidade angular do asteróide, propõe-se calcular a componente tangencial ao plano do céu de sua velocidade linear, a qual possui unidade de comprimento por unidade de tempo. *Em qual unidade seria mais apropriado representar a velocidade linear dum asteróide (km/h, km/s, m/h, m/s, ...)?* Tal velocidade linear é também uma velocidade relativa ou aparente não só porque o asteróide se movimenta em sua órbita como, também, a Terra gira e translada. Portanto, a velocidade linear a ser calculada do asteróide é relativa ao instante e local de observação. É imprescindível conhecer a distância do asteróide a Terra a fim de transformar a velocidade angular relativa calculada em velocidade linear tangencial ao plano do céu. Tal distância é fornecida pela equipe do observatório ou obtida em um programa de efemérides (como Cartes du Ciel para Windows e XEphem para Linux). Siga os passos adiante.

- **Velocidade linear relativa do asteróide tangencial ao plano do céu (transversal à linha-de-visada) em km/s =**

([velocidade angular em arcsec/segundos] \times [distância em km]) \div 206.265 arcsec =

(_____ arcsec/s \times _____ km) \div 206.265 arcsec =

_____ km/s (1 casa decimal é suficiente!);

visto que VELOCIDADE LINEAR = VELOCIDADE ANGULAR \times DISTÂNCIA, ou $v = \omega \times d$.

Se preferirem, calcule a velocidade linear transversal do modo abaixo.

$$[\text{percurso espacial transversal}] \cong 2 \times [\text{dist\~{a}ncia}] \times \text{tangente} (\text{deslocamento angular} \div 2)$$

sendo que,

$$\text{tangente} (\text{deslocamento angular} \div 2, \text{ em graus}) =$$

$$\text{tangente} \left(\frac{\text{arcsec}}{3.600 \text{ arcsec/grau}} \div 2 \right) = \text{tg}(\text{graus}) =$$

_____ (4 casas decimais para o \~{a}ngulo e 8 para sua tangente!)

$$[\text{percurso espacial transversal}] \cong \text{_____ km} \times \text{_____} =$$

$$[\text{velocidade linear transversal}] \cong [\text{percurso espacial transversal}] \div [\text{intervalo de tempo}] =$$

$$\text{_____ km} \div \text{_____ s} = \text{_____ km/s}$$

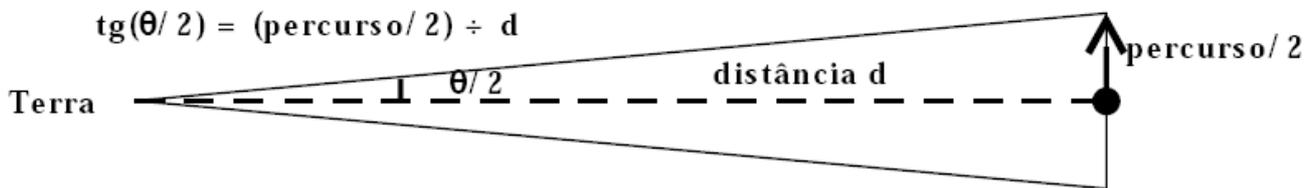


Figura 2 – Ilustração dos deslocamentos angular e espacial do asteroide relativos a Terra.

- **Aproveite para discutir a diferença entre as definições de velocidades linear e angular de um corpo, bem como os conceitos de movimento aparente e velocidade relativa.**
 - *De onde veio a quantidade 206.265 na primeira expressão da página anterior?*

4.2 Liste as dificuldades encontradas em relação à identificação do asteroide no campo das imagens, à medição de seu deslocamento aparente e aos cálculos correspondentes das velocidades angular e linear. Toda medida tem um erro associado. Sugira como poderíamos refinar a medição do deslocamento aparente do asteroide. Pense sobre as possíveis fontes de erro desta medida. Valeria a pena calcular uma média de valores?

4.3 Compare a velocidade linear calculada do asteróide (mesmo sabendo que é relativa a Terra representando apenas uma componente de sua velocidade orbital) com a velocidade de translação ou orbital da Terra, que é de cerca 30 km/s ou 108.000 km/h . *Você saberia como estimar esta velocidade?* Se o asteróide está numa órbita em torno do Sol mais distante que a da Terra, ele deveria ter uma velocidade orbital maior ou menor que a da Terra? Justifique sua resposta.

4.4 Estime qual realmente seria o valor da velocidade orbital do asteróide transversal à linha-de-visada impondo as seguintes simplificações: órbitas da Terra e do asteróide coplanares e circulares estando o Sol, a Terra e o asteróide alinhados durante as observações. Assim o asteróide apresentaria o vetor da componente transversal de sua velocidade orbital na mesma direção e sentido da velocidade orbital da Terra (de 30 km/s). Você deverá então aplicar conhecimentos de álgebra vetorial (subtração de vetores). Use o espaço abaixo para ilustrar e resolver o problema

5 Confrontação dos resultados com previsões teóricas (ou outras observações)

5.1 Se for de interesse do professor e os estudantes tiverem conhecimentos mais aprofundados acerca das Leis de Kepler, por exemplo e especialmente da Terceira Lei ($[\text{Período-de-translação}]^2 = \text{constante} \times [\text{distância-média-ao-Sol}]^3$), pode-se adotar o resultado referente à velocidade orbital do asteróide (transversal à linha-de-visada) para ir mais além do que é proposto nesta atividade observacional. Conhecimentos quanto à posição do asteróide em sua órbita em relação à da Terra serão necessários e a equipe do observatório astronômico poderá ser contatada para tal fim. Considerações sobre as órbitas do asteróide e da Terra serem co-planares e/ou circulares poderão ser feitas.

5.2 A fim de contextualizar a atividade observacional, colocações a respeito da possibilidade deste asteróide chocar-se com a Terra poderão ser levantadas. Questões históricas sobre como foram descobertos Urano, Netuno e Plutão (atualmente planeta anão) podem ser abordadas inclusive. Pode-se discutir, também, sobre como ainda são procurados e encontrados asteróides próximos (incluindo os NEOs, “Near Earth Objects”) e distantes, respectivamente, pertencentes ao Cinturão Principal (entre Marte e Júpiter) e Cinturão de Kuiper (onde se encontram os objetos transnetunianos).

Adiante, são fornecidas duas imagens em negativo de uma dada região do céu contendo o asteróide Eunomia (campo de $16 \text{ arcmin} \times 11 \text{ arcmin}$), obtidas na noite de 25/08/2006 no Miniobservatório Astronômico do INPE e correspondendo a 2 exposições separadas por 5.520 segundos de tempo (primeira às 19h41min, hora local). Elas foram impressas no tamanho $24 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$ com escala espacial equivalente a $0,67 \text{ arcmin}$ para cada 1 centímetro , ou seja, 4 arcsec/mm . A distância do asteróide era cerca de $226.900.000 \text{ km}$.

GABARITO referente às duas imagens fornecidas

Seção 2.5

$$\Delta p = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Comprimento angular da imagem} = 960 \text{ arcsec}$$

$$\text{Escala espacial da imagem} = 4 \text{ arcsec/mm}$$

$$\theta = 40 \text{ arcsec}$$

Seção 2.6

Direção Leste- Oeste e sentido Leste, porque Norte é para baixo e Leste para direita.

Seção 3.1

$$\mu = 0,007246 \text{ arcsec/s}$$

Seção 4.1

$$\text{Percurso espacial transversal à linha-de-visada (relativamente a Terra)} = 44.354 \text{ km.}$$

$$v = 8,0 \text{ km/s}$$

Seção 4.3

Velocidade orbital do asteróide deve ser e é menor que a da Terra, devido à 3ª Lei de Kepler.

$$\text{Percurso espacial da Terra em } 5.520 \text{ segundos} \cong 165.600 \text{ km}; V_{\text{orbital}} \cong (2\pi R) \div \text{Período}$$

Seção 4.4

$$\text{Componente transversal: } V_{\text{orbital}}(\text{asteróide}) = V_{\text{orbital}}(\text{Terra}) - V_{\text{aparente}}(\text{asteróide}) = 12 \text{ km/s}$$

Seção 5.1

$$[\text{Período}(\text{asteróide})/\text{Período}(\text{Terra})]^2 = [\text{Distância-Sol}(\text{asteróide})/\text{Distância-Sol}(\text{Terra})]^3$$

$$V_{\text{orbital}}(\text{asteróide})/V_{\text{orbital}}(\text{Terra}) \cong D(\text{asteróide-Sol})/D(\text{Terra-Sol}) \times P(\text{Terra})/P(\text{asteróide})$$

$$D(\text{asteróide-Sol}) \cong D(\text{Terra-Sol}) + 226.900.000 \text{ km} = 376.900.00 \text{ km}$$

$$\text{Período}(\text{asteróide})/\text{Período}(\text{Terra}) \cong 0,25 \quad \& \quad V_{\text{orbital}}(\text{asteróide})/V_{\text{orbital}}(\text{Terra}) \cong 0,63 \cong 19 \text{ km/s}$$

