

Determinação da distância à Pequena Nuvem de Magalhães pela observação de uma estrela cefeida

Este exercício é uma cópia levemente modificada do exercício Determinação de distâncias no Universo, originalmente desenvolvido por Weronika Sliwa no âmbito do programa Hands-on Universe, e obtida através do link (<http://www.pt.euhou.net/index.php/exercicios-mainmenu-13>); uma versão em inglês, com título “How to determine astronomical distances using cepheids”, é disponível no link (<http://www.euhou.net/index.php/exercises-mainmenu-13/astronomy-with-salsaj-mainmenu-185/265-how-to-determine-astronomical-distances-using-cepheids>).

As modificações presentes nesta versão foram desenvolvidas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), por Caroline Lacerda dos Santos, Maria de Fátima Oliveira Saraiva e Cássio Murilo Ávila.

INTRODUÇÃO

Medir distâncias a objetos astronômicos é um problema fundamental em Astronomia e um grande desafio aos astrônomos. Ao longo do tempo, vários métodos foram surgindo. As primeiras medições pelo método da paralaxe realizaram-se no século XIX e constituíram as primeiras determinações de distâncias a estrelas, provando que estas são sóis distantes. Mas o método da paralaxe só é útil para estrelas próximas do Sol, até cerca de 500 anos-luz.

No início do século XX, uma astrônoma norte-americana chamada Henrietta Leavitt levou a cabo um estudo detalhado de estrelas Cefeidas - estrelas gigantes muito mais massivas e muitíssimo mais luminosas do que o Sol. Além de poderem ser observadas a distâncias extremamente grandes, essas estrelas possuem uma característica muito especial: seu brilho varia periodicamente e de forma muito regular. Estudando essas variações, Leavitt conseguiu determinar uma relação entre o período de variabilidade e o brilho intrínscico dessas estrelas, que permite determinar a distância a que se encontram. O método descoberto por Henrietta Leavitt é utilizado ainda hoje pelos astrônomos para determinar a distância de estrelas distantes na nossa galáxia (a Via Láctea) e a distância de galáxias próximas.

Neste exercício, vamos aplicar esse método para determinar a distância à Pequena Nuvem de Magalhães (ver figura 1), com base nas observações de uma estrela cefeida localizada nessa galáxia. A Pequena Nuvem de Magalhães é uma das duas pequenas galáxias de forma irregular que orbitam a Via Láctea. Tanto ela quanto sua companheira maior, a Grande Nuvem de Magalhães, são visíveis a olho nu.



Figura 1. Fotografia mostrando a Pequena Nuvem de Magalhães (canto inferior esquerdo) e a Grande Nuvem de Magalhães (canto superior direito). Crédito: Anglo-Australian Observatory

Para determinar a distância à Pequena Nuvem de Magalhães analisaremos uma série de imagens de uma pequena região dessa galáxia onde se encontra uma estrela cefeida (figura 2.) A análise das imagens será feita com o software SALSA J.

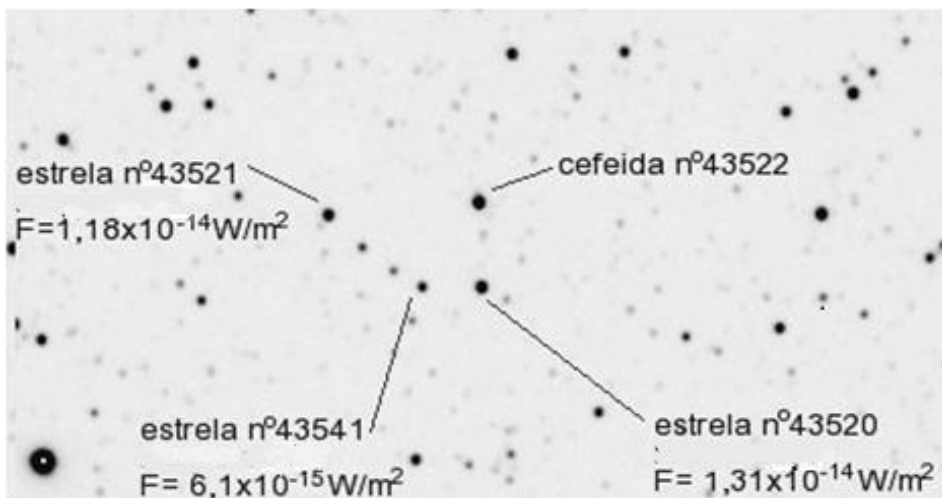


Fig.2. A localização da cefeida em estudo e das estrelas de referência usadas para comparação, cujos fluxos (F, na figura) são conhecidos.

Usando as imagens e o software:

- Efetuaremos fotometria da cefeida e de uma outra estrela, próxima da cefeida, que será a nossa estrela de comparação.
- Construiremos a curva de luz da cefeida e ajustaremos uma função de onda à curva de luz da cefeida.
- Aplicaremos a conhecida relação Período-Luminosidade para obter a luminosidade da cefeida.
- Usaremos a relação entre luminosidade e fluxo para determinar a distância da cefeida.

PROCEDIMENTO:

PRIMEIRO PASSO	Iniciar SalsaJ e abrir Imagens
----------------	--------------------------------

1. Fazer download do programa SalsaJ através do link pt.euhou.net. Sugestão: Baixar a versão **sem** as imagens associadas.
2. Abrir o programa SalsaJ.

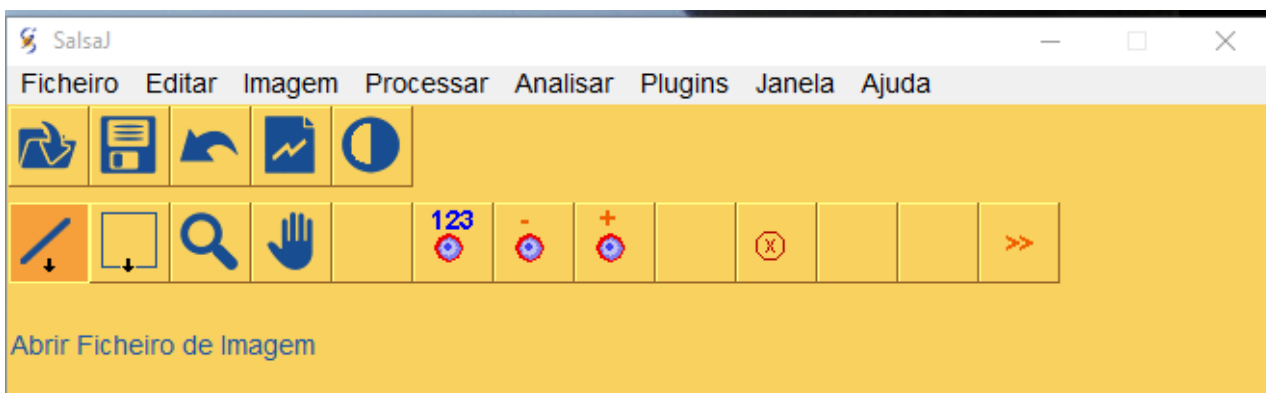


Figura 3: Menu do Salsa J.

3. Baixar o arquivo [Imagens](#) (.zip 1.68MB) na mesma área onde foi salvo o SalsaJ. Baixará uma pasta chamada “cefeidas.zip” que contém 20 imagens da mesma região da galáxia SMC (a região mostrada na figura 2, mas em diferentes dias e diferentes horários).
4. Abrir as imagens: Na barra de ferramentas do Salsa J:
 - Clicar em Ficheiro -> Abrir

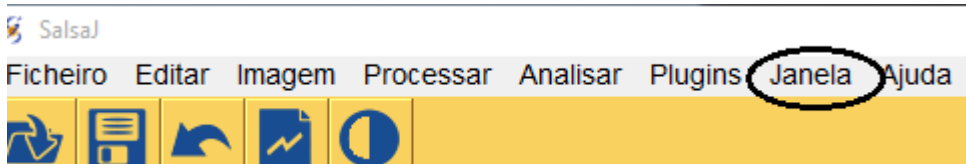


(ou clicar diretamente no ícone “Abrir Ficheiro”) para abrir a pasta “Cepheids”

- Selecionar todos os arquivos com extensão .fts: De Cep-43522-1999-10-24-03-23-25.fts até Cep-43522-1999-12-19-03-23-16.fts. (As imagens todas aparecerão umas em cima das outras na tela. Algumas são maiores e outras menores, não tem problema com isso).

5. Ordenar as imagens:

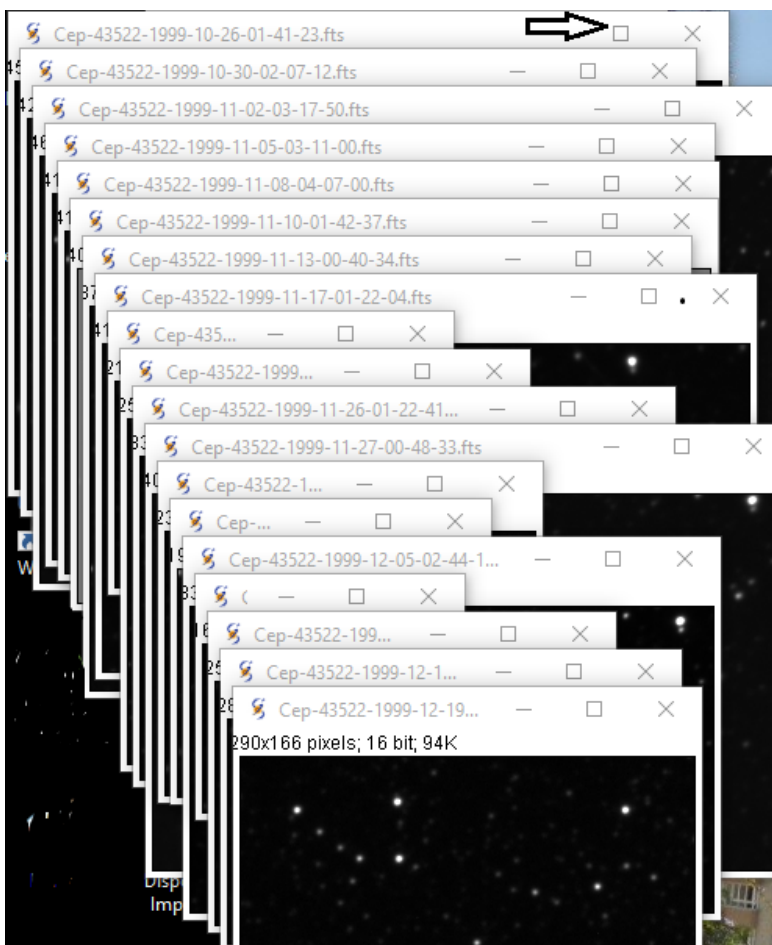
- No menu, clicar em Janela, o comando em destaque na figura abaixo



- Selecionar a terceira opção, Cascata.

(As imagens ficarão ordenadas em cascata, com as mais atrás acima das mais à frente, de forma que os cabeçalhos ficam aparecendo em ordem, de cima para baixo. A primeira imagem (Cep-43522-1999-10-24-03-23-25.fts) tem o cabeçalho mais em cima; a segunda é o segundo cabeçalho, e assim por diante. A única imagem que aparece inteira é a última (Cep-43522-1999-12-19-03-23-16.fts).

- Clique no quadradinho que aparece no cabeçalho da primeira imagem (o quadradinho está indicado na figura abaixo, que mostra as imagens em cascata).



6. A imagem vai saltar para a frente e ficar maior. Se a imagem estiver muito escura ou muito clara, pode-se ajustá-la de forma a distinguir perfeitamente as estrelas. Para isso usar o botão



“Ajustar Brilho/Contraste” indicado pelo ícone . No menu que aparece, clicar na opção “Auto”.

7. Localizar a cefeida e as três estrelas que estão identificadas por números na figura 2. Escolher uma das estrelas para ser a sua estrela de referência (cuidando para não esquecer qual foi escolhida!). No passo seguinte, você vai fazer a fotometria da cefeida e de sua estrela de referência.

SEGUNDO PASSO	Fotometria
---------------	------------

1. Abrir a planilha auxiliar [Fotometria_cefeidaxref](#). Nessa planilha você vai ver que várias colunas estão preenchidas, mas algumas estão por preencher. As colunas *Data* e *Hora* se referem, respectivamente, à data e à hora da observação, conforme consta no nome do arquivo de cada imagem imagem. Por exemplo: na imagem Cep-43522-1999-10-24-03-23-25.fts, 43522 é o número da cefeida, 1999 é o ano, 10 é o mês, 24 é o dia, 03h23min25s é o horário.

As colunas X e Y se referem às coordenadas da cefeida em cada imagem.

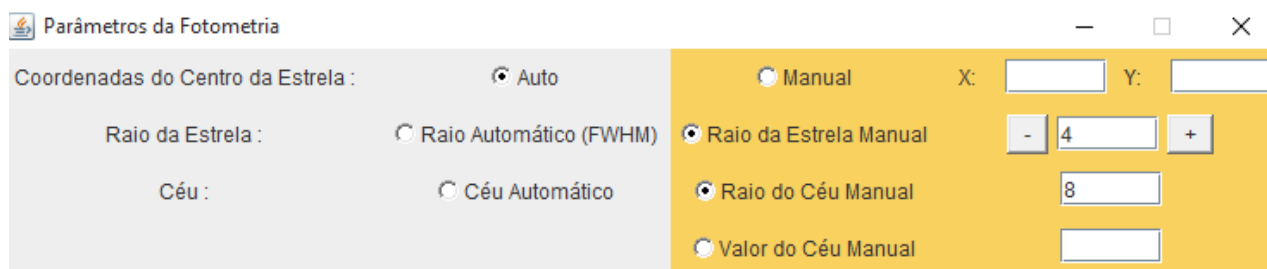
Anote nessa planilha o número da sua estrela de referência.

2. Ajustar os parâmetros para fotometria:



Clicar no ícone [Parâmetros da Fotometria]:

No menu que abre, marcar a opção “Raio da Estrela Manual” e colocar o valor 4, marcar também a opção “Raio do Céu Manual” e colocar o valor 8. Esse menu deve ficar como a figura abaixo:



3. Realizar a fotometria:



- Clicar no ícone Fotometria:
- Clicar, primeiramente, sobre a cefeida e depois sobre a estrela de referência.

Os resultados aparecerão em outra janela (onde serão acumulados, na ordem em que foi feita a fotometria, após a análise de cada imagem).

- Fechar a imagem.

- Copie os valores da coluna Intensidade para as colunas apropriadas na planilha Fotometria-cefeidaxref.xls, tendo o cuidado de observar que os resultados estão anotados na ordem em que foi feita a fotometria. Se você ficar em dúvida sobre qual resultado corresponde à cefeida e qual à estrela de referência, preste atenção nas coordenadas X e Y, pois as coordenadas da cefeida estão listadas na planilha Fotometria_cefeidaxref.xls.

4. Repetir o procedimento para as outras imagens tendo muito cuidado para não alterar a ordem e não pular nenhuma imagem, e sempre fechando a imagem analisada ao final da medida para não poluir a tela. As medidas das últimas seis imagens já estão colocadas na planilha, mas é aconselhável fazer para essas também para você conferir se seus resultados estão iguais aos que estão anotados ali.

TERCEIRO PASSO	Preenchimento da Planilha Cefeidas-planilha.xls e construção da curva de luz
----------------	--

1. Abrir o arquivo [Cefeidas-planilha.xls](#) na página do exercício.

As colunas *Data* e *Hora* já estão preenchidas. A coluna Tempo foi calculada automaticamente de forma a corresponder ao tempo, em dias, que passa desde a primeira observação.

2. Na primeira linha da planilha, registrar o número da estrela de referência escolhida na célula em branco abaixo de “Fref”.

3. Copiar da planilha auxiliar “Fotometria_cefeidaxref” os resultados da fotometria das duas estrelas, preenchendo os campos F_{cef} (Fluxo da cefeida) e F_{ref} (Fluxo da estrela de referência) para todas as imagens analisadas. Você pode fazer isso copiando da planilha auxiliar e colando diretamente na coluna correspondente na cefeida-planilha. À medida que se preenche os campos das colunas F_{cef} e F_{ref} , a coluna F_{cef}/F_{ref} é calculada automaticamente como a razão entre o fluxo da cefeida e o da estrela de referência. Ao mesmo tempo, os pontos são automaticamente plotados no gráfico Fluxo Relativo vs Tempo (que aparece abaixo da tabela, na planilha). Esses pontos definem a *curva de luz da cefeida*.

QUARTO PASSO	Ajuste da Curva de Luz
--------------	------------------------

A curva de luz da cefeida tem a forma de uma função senoidal:

$$\frac{F_c}{F_r} = B + A \sin\left(2\pi \frac{t}{P} + \Delta\varphi\right)$$

Onde:

B = intensidade relativa média ($I_{cef}/I_{ref} = F_{cef}/F_{ref}$)

A = amplitude da variação na intensidade relativa $\Delta\phi$ = fase inicial da função senoidal, com valores entre $-\pi$ (-3,14) e π (3,14)

P = período da variação

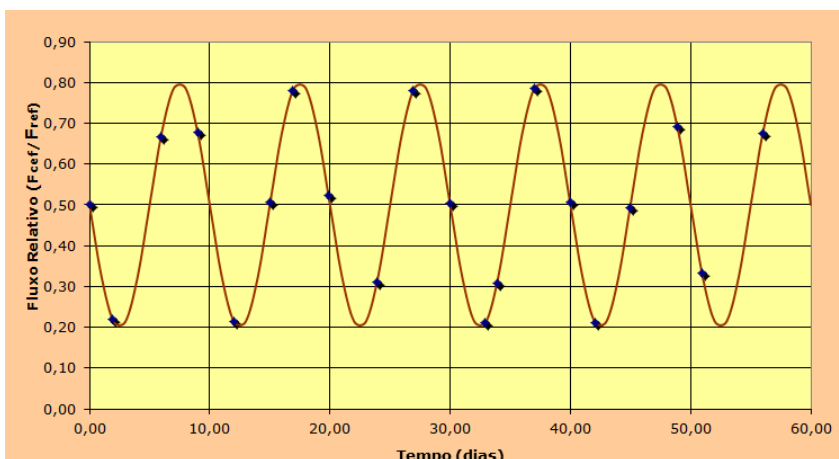


Figura 4: Senoidal com parâmetros $B=0,5$, $A=0,30$, $P=10$ e $\Delta\phi=3,14$.

1. Observando a curva de luz em sua planilha estime os valores de B , A , P e fase, preenchendo as células respectivas (ao lado do gráfico, na planilha) com esses valores. Você pode estimar B como o valor médio entre o fluxo relativo dos pontos máximos e mínimos do gráfico; A será a diferença entre o fluxo relativo do ponto máximo e o valor de B ; P será o tempo decorrido entre dois máximos sucessivos, ou entre dois mínimos sucessivos. Como fase inicial escolha 3,14.

2. Verificar se a função **Solver** está ativa no Excel: Menu: Dados – Solver. Caso não esteja ativa, realizar o seguinte procedimento para instalá-la.

Menu: Arquivo – Opções – Suplementos – escolher Solver e clicar em “Ir”, marcar a caixa de diálogo na opção Solver.

Se não for possível instalar a função Solver, pule para o passo 6.

3. Se tiver instalado a função Solver, selecione a célula ao lado da célula Soma do quadrado do erro.

4. Menu: Dados – Solver:

Escolher Mínimo - Colocar em “Alterando as células” os campos com as variáveis da função (os valores de B , A , fase e P) clicando e segurando da primeira célula (o valor de B) até a última (o valor de P). Clicar “ Resolver”.

5. Automaticamente, os valores de B, A, fase e P serão ajustados; a coluna Modelo será recalculada e o gráfico atualizado.

6. Caso não seja possível ativar a função Solver, realizar o seguinte procedimento:

Altere, cuidadosamente, não variando muito os valores das quatro variáveis, uma de cada vez, de maneira que o gráfico desenhado pela planilha se encaixe nos pontos e que o valor que aparece na célula “Soma do quadrado do erro” fique menor do que 0,1.

QUINTO PASSO	Determinar a Luminosidade da Cefeida
--------------	--------------------------------------

As cefeidas não têm todas o mesmo período de variação, pois esse período depende da luminosidade média da cefeida – a quantidade de energia emitida por ela em todas as direções por unidade de tempo. A maneira como o período se relaciona com a luminosidade média foi determinada no início do século XX por Henrietta Leavitt, sendo conhecida como relação Período – Luminosidade das cefeidas. Essa relação está mostrada no gráfico da figura 5. No eixo vertical está graficada a luminosidade em comparação com a luminosidade solar (Luminosidade da cefeida /luminosidade do Sol ou L_{cef}/L_{sol}) e no eixo horizontal está o período, em dias.

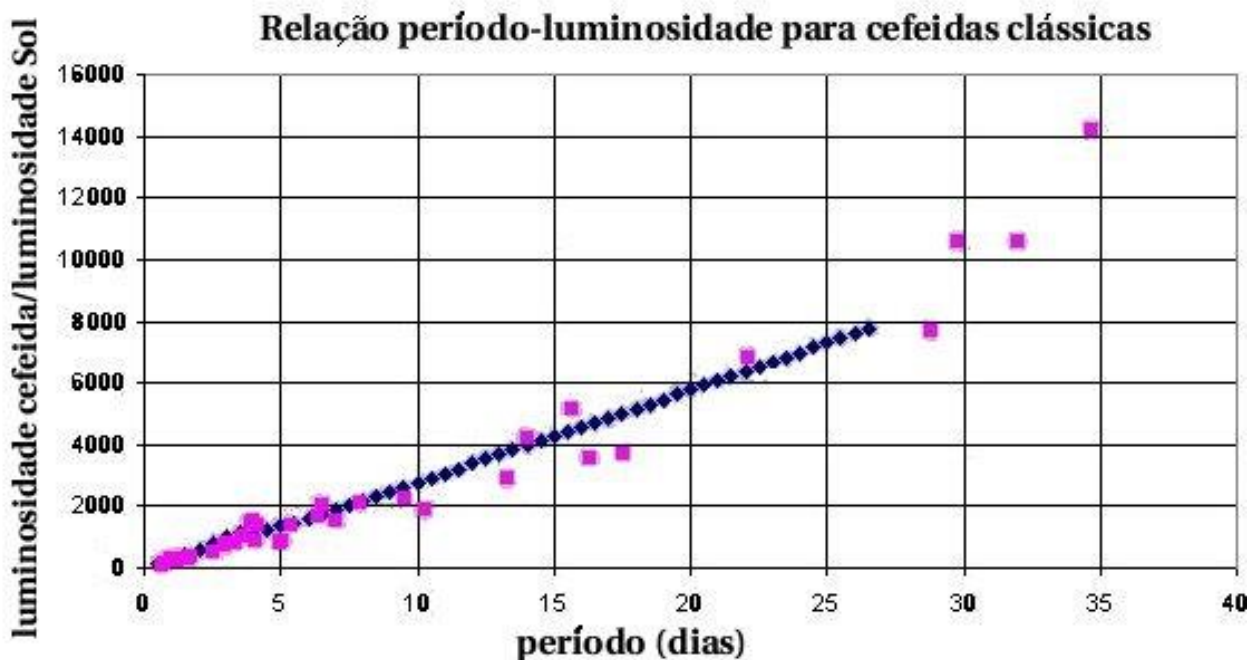


Figura 5. Relação entre o período de variabilidade e a luminosidade das cefeidas.

1. Use o valor do período calculado no passo anterior para determinar, utilizando o gráfico, a razão entre a luminosidade da cefeida 43522 e a luminosidade solar (L_{cef}/L_{sol}).

$$P = \underline{\hspace{10em}} \quad L_{cef}/L_{sol} = \underline{\hspace{10em}}$$

2. A luminosidade solar tem valor $L_{sol} = 3,85 \times 10^{26} \text{ W}$. Use esse valor para calcular a luminosidade da cefeida.

$$L_{cef} = \underline{\hspace{10em}} \text{ W}$$

SEXTO PASSO	Calcular o fluxo da cefeida
-------------	-----------------------------

1. Na figura 2 estão dados os fluxos das três estrelas de referência. Anote aqui o número e a magnitude aparente de sua estrela de referência

$$\text{N}^\circ \text{ Estrela Ref} = \underline{\hspace{10em}} \quad F_{ref} = \underline{\hspace{10em}}$$

2. Anote o fluxo relativo médio da cefeida (o valor do parâmetro B)

$$F_{cef}/F_{ref} = \underline{\hspace{10em}}$$

3. Calcule o fluxo da cefeida.

$$F_{cef} = F_{ref} \times (F_{cef}/F_{ref}) = \underline{\hspace{10em}} \text{ W/m}^2$$

SÉTIMO PASSO	Calcular a distância da cefeida
--------------	---------------------------------

Quando observamos uma cefeida (ou qualquer outra estrela), o fluxo que recebemos está relacionado à luminosidade total emitida pela estrela pela relação

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

em que F é o fluxo de energia da cefeida, L é a sua luminosidade e d é a distância a que ela se encontra

de nós.

Assim, uma vez conhecida a luminosidade (L) e o fluxo (F) da estrela podemos determinar sua distância (d) invertendo a equação acima:

$$d = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

1. Substitua os valores de F_{cef} e L_{cef} na equação acima para calcular a distância da cefeida, em metros.

d = _____ m

Como as distâncias em astronomia são muito grandes, costuma-se usar unidades específicas para expressá-las, como o ano-luz e o parsec, sendo que:

$$1 \text{ ano-luz} = 9,461 \times 10^{15} \text{ m}$$

$$1 \text{ parsec} = 3,086 \times 10^{16} \text{ m} = 3,26 \text{ anos-luz}$$

2. Converta a distância encontrada para a cefeida para essas unidades, e escreva os resultados abaixo:

d = _____ anos-luz

d = _____ parsec

Questões para discussão: (opcional)

1.. A distância atualmente aceita para a Pequena Nuvem de Magalhães é em torno de 61000 +/- 4000 parsecs. A distância que você encontrou está dentro desse intervalo? Se não está, o valor que você encontrou é maior ou menor?

2. A localização da cefeida dentro da Pequena Nuvem de Magalhães não é conhecida, mas o diâmetro dessa galáxia é em torno de 7000 anos-luz. O desconhecimento da posição da cefeida na galáxia pode afetar significativamente a determinação da distância da galáxia? Por que?

3. O espaço entre a pequena Nuvem de Magalhães e a Terra é cheio de pequenos grãos de poeira interestelar, que absorvem parcialmente a luz que o atravessa. Se o efeito dessa absorção for superestimado, como isso afeta a distância determinada? E se o efeito da absorção for superestimado?
