

RELAÇÃO DE HUBBLE ENTRE DESVIO PARA O VERMELHO E DISTÂNCIA¹

Conceitos envolvidos: espectros, deslocamento Doppler, magnitude aparente, magnitude absoluta, módulo de distância, lei de Hubble.

Objetivos:

1. Usar um espectrógrafo simulado para adquirir espectros e magnitudes aparentes
2. Determinar distâncias usando a relação entre magnitude aparente e magnitude absoluta
3. Medir o deslocamento Doppler das linhas K e H do Cálcio para determinar velocidades
4. Calcular a taxa de expansão do universo
5. Calcular a idade do universo

Equipamento:

Computador com programa Vireo.exe

http://public.gettysburg.edu/~marschal/clea/CLEA-ZIP/CLEA_Vireo.zip

lápiz, régua, papel milimetrado ou quadriculado, calculadora.

Introdução:

A parte computacional deste exercício é uma simulação realista de um espectrômetro astronômico acoplado a um telescópio profissional, que você vai usar para obter espectros de galáxias distantes.

Procedimento:

1. Inicializar o programa e entrar as informações do estudante

- Clique em **Log In**. Entre seu nome em **Student#**. Clique **OK**, e clique **Yes** quando perguntar "Have you finished logging in"?
- Selecione: **File** → **Run Exercise** → **The Hubble Redshift-Distance Relation**
- Selecione: **Telescopes** → **Optical** → **Access 4.0 Meter**

2. Obtenção dos dados:

- Abra a cúpula clicando o botão **Dome**, de forma que acenda a luz **Open**. Clique no botão **Telescope Control Panel** para mostrar a janela com coordenadas. Clique no botão **Tracking** (acompanhamento do movimento de rotação da Terra), de forma que no quadrado amarelo a seu lado apareça **On**.
- Posicione a fenda vermelha no centro de uma galáxia qualquer, usando as teclas **N**, **S**, **E**, **W**. Se o movimento estiver muito lento, podes clicar no botão **Slew Rate** para aumentar a velocidade (o número que aparece no quadrado branco ao lado). Da mesma maneira, podes diminuir a velocidade de movimento do telescópio clicando sucessivamente esse botão.
- Posicione a fenda do espectrógrafo (barras vermelhas) no centro da galáxia escolhida (usando novamente as teclas **N**, **S**, **E**, **W**).
- Uma lista de galáxias está em **Slew** → **Observation Hot List** → **View Select from List**. Use click duplo para selecionar.

¹CLEA - Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy - Department of Physics, Gettysburg College, Gettysburg, PA 17325
Texto adaptado pelos professores Maria de Fátima Saraiva e Kepler Oliveira

- Para abrir a janela de leitura do espectrógrafo clique em **Telescope** e depois em **Access**. Clique em **Go** para adquirir o espectro. Abaixo do espectro vão aparecer as informações:

Object: (Nome do objeto)

Apparent Magnitude : (Magnitude aparente)

Photon Counting : (Contagem de fótons)

Integration: (tempo de integração, em segundos) Signal/Noise: (Razão Sinal/Ruído)

- Deixe integrar até a razão sinal/ruído (**Signal/Noise**) atingir no mínimo o valor **20**, então clique em **Stop Count**. As duas linhas bem visíveis no espectro da maioria das galáxias são as duas linhas do cálcio, as linhas K (a da esquerda) e H (a da direita), por que a maioria das estrelas é tipo GV, como o Sol. Clique em **File**→**Data**→**Save Spectrum**. Anote o nome e a magnitude na Tabela 1.
- Feche a janela do VIREO Reticon Spectrometer Reading. Clique na janela **VIREO Exercise** → **Tools** → **Spectrum Measuring**. Clique em **File** → **Data** → **Load Saved Spectrum** e selecione o arquivo salvo no item anterior. Use o Zoom para expandir em volta das duas linhas H e K do cálcio. Posicione o cursor no ponto mais baixo de cada uma delas e clique o botão da **esquerda** do mouse. Abaixo do espectro, acima de **Signal/Noise**, vão aparecer as informações sobre as coordenadas do cursor, comprimento de onda na posição do cursor (Wavelength), e intensidade no ponto onde está o cursor (Intensity). Anote o Wavelength da linha H (a de comprimento de onda maior) e da linha K (a de comprimento de onda menor) na Tabela 2.

- Preencha, na Tabela 1, os campos e .

Na Tabela 2 preencha os campos e . λ é o comprimento de onda.

- **Escolha outra galáxia deste campo (imagem) e posicione a fenda no seu centro.** Repita as medidas para essa galáxia, anotando os dados (Nome, Magnitude aparentes, comprimentos de onda K e H) nas tabelas 1 e 2. Clique em **Return** e **OK** para voltar ao telescópio.
- Mude de campo clicando em **Change Field** no topo do painel de Clique **OK**. Faça medidas para duas galáxias desse novo campo, da mesma maneira como fizeste para as duas primeiras. Mude novamente de campo e repita o procedimento para duas galáxias desse novo campo. Faça isso até ter dados de **duas galáxias de cada campo** para obter uma boa distribuição de distâncias. Quando terminar, as duas tabelas devem estar com as três primeiras colunas totalmente preenchidas.
- A etapa de aquisição de dados termina aqui. Podes sair do programa, não esquecendo de antes desligar o acompanhamento (Tracking) e de fechar a cúpula (Dome).
- Agora utilize as relações listadas abaixo das tabelas 1 e 2 para calcular os valores das outras colunas dessas tabelas:

, , , , ,
, e (média das duas velocidade H e K).

Edwin Hubble calculou a distância das galáxias usando as estrelas Cefeidas que ele encontrou nelas e a relação Período×Luminosidade destas para calcular a magnitude absoluta, M, que não é igual para galáxias anãs, normais e gigantes. Neste exercício vamos assumir que todas as galáxias medidas têm M=-21.

Tabela 1

Nome da galáxia	Mag absoluta M	Mag aparente m	Distância em pc	Distância em Mpc
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			
	-21			

$$d(\text{pc}) = 10^{(m-M+5)/5}$$

$$1 \text{ Mpc} = 1 \times 10^6 \text{ pc}$$

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ anos-luz}$$

3. Cálculo da taxa de expansão do universo:

- Na folha milimetrada ou quadriculada, faça um gráfico da velocidade da galáxia em km/s (eixo Y) versus a distância em Mpc (eixo X). Desenhe uma linha reta passando pela origem que ajuste os pontos. A declinação desse reta é a constante de Hubble H. Calcule o valor dessa constante usando a relação.

$$H = \frac{v}{D}$$

onde H é a constante de Hubble em km/(s Mpc).

Valor médio de H =km/s/Mpc

- Anexe o gráfico à folha de dados para entregar.

4. Determinação da idade do universo:

- Usando o seu valor médio de H, calcule a velocidade de recessão de uma galáxia que está a 800 Mpc de distância.

Velocidade de recessão de uma galáxia a 800 Mpc:km/s

- Usando a relação

$$t = \frac{D}{v}$$

onde t é o tempo, podemos calcular quanto tempo essa galáxia levou para, a essa velocidade, atingir a distância de 800 Mpc.

t = s

Asumindo que na origem do universo todas as galáxias estavam juntas, esse é o tempo durante o qual o universo tem se expandido (assumindo que ele se expandiu com velocidade constante), ou seja, é a idade do Universo. Converta esse tempo para anos.

A idade do Universo é anos