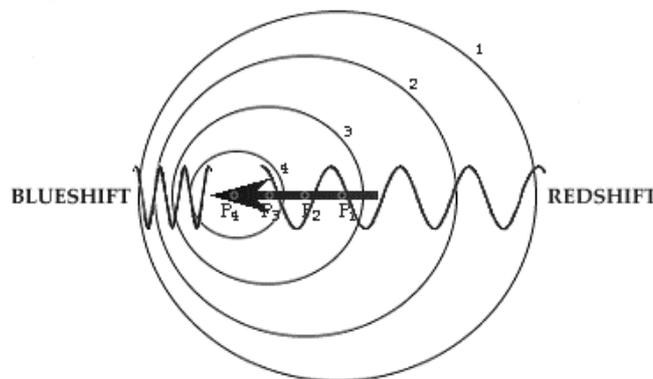


Redshift e Lei de Hubble

Eduardo Brescansin de Amôres, Isabel Guerra Aleman (IAG-USP)

Redshift

O "redshift" - em português "desvio para o vermelho" - é uma medida da velocidade relativa a nós de um objeto. Se você alguma vez conseguiu identificar se um carro na estrada estava se aproximando ou se afastando e se ele estava rápido ou não só pelo som, você já fez uma "medida" do redshift. A mudança da frequência do som conforme seu movimento relativo é devida ao efeito Doppler. Conforme o carro se aproxima de você as ondas sonoras são comprimidas (som mais agudo, maior frequência), se ele se afasta as ondas sonoras são expandidas (som mais grave, menor frequência). Veja a figura a seguir:



O mesmo efeito acontece com a luz: se um objeto se afasta de nós, o comprimento de onda da luz que ele emite aumenta, ou seja, é desviado para o vermelho (redshift). Se ele se aproxima, o comprimento de onda aumenta, ou seja, é desviado para o azul (blueshift). O desvio é maior se a velocidade for maior.

Definimos o redshift (z) como

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

onde λ é o comprimento de onda da luz observada e λ_0 é o comprimento de onda da luz se o objeto estivesse em repouso. Para desvios pequenos, ou seja, velocidades pequenas ($z \ll 1$), relacionamos z com a velocidade v do objeto através da seguinte expressão aproximada:

$$z = \frac{v}{c}$$

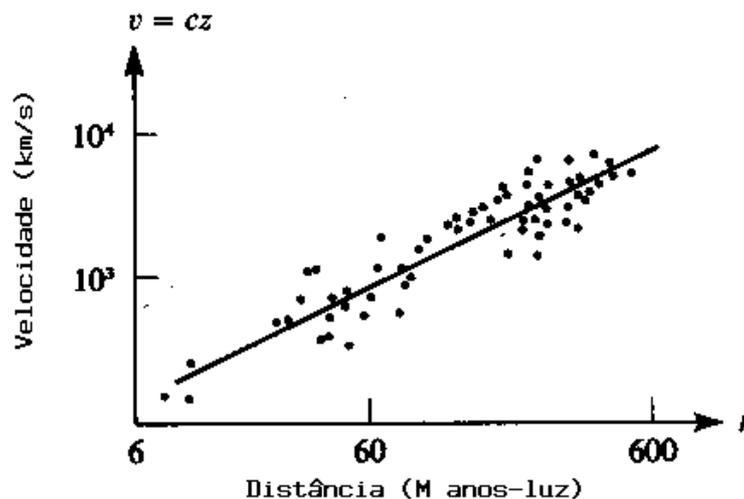
onde c é a velocidade da luz ($c = 3 \times 10^5$ km/s). Se o objeto tiver um desvio muito grande, devemos usar a expressão com a correção relativística:

$$z = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} - 1$$

Para um objeto astronômico que produz linhas espectrais, podemos comparar o espectro observado com o obtido em laboratório (repouso) na Terra e assim determinar o redshift e, portanto, sua velocidade. Isso é o que vamos fazer nessa próxima atividade.

Lei de Hubble - O Universo em Expansão

A idéia de que vivemos num universo em expansão foi uma das mais inesperadas e importantes descobertas da ciência século XX. Até então a idéia de Universo era a de um sistema estático. Quando Einstein aplicou sua teoria da Relatividade Geral para o nosso Universo, ele fez uma estranha predição de que o Universo deveria estar ou se contraindo ou se expandindo, mas ele se recusou a acreditar nisso e inseriu uma constante corretiva em suas equações de campo gravitacional para tornar o universo estático. Mas E. Hubble verificou observacionalmente que realmente estávamos num universo em expansão. Em 1929 Hubble, observando o deslocamento para o vermelho nas linhas espectrais das galáxias observadas por Milton La Salle Humason (1891-1972), e medindo ele próprio suas distâncias (usando estrelas cefeidas), descobriu que as galáxias estavam se afastando com velocidades proporcionais à sua distância, isto é, **quanto mais distante a galáxia, maior sua velocidade de afastamento**. Isso constituiu a **primeira evidência para a expansão do Universo**.



A lei de Hubble é a expressão matemática do gráfico que Hubble obteve e é mostrado acima, ou seja:

$$v = H \times d$$

onde a constante de Hubble, H , é dada pela tangente do gráfico.

Se o Universo está se expandindo é razoável imaginar que, em algum ponto no passado, ele deve ter começado como um ponto. Essa é a idéia original da famosa teoria do "big bang".

Podemos estimar a idade máxima do Universo t_0 , calculando o tempo que as galáxias distantes, movendo-se à mesma velocidade de hoje, levaram para chegar onde estão. Como a lei de Hubble, que relaciona a velocidade de expansão da galáxia, v , com a distância a esta, d , é dada por:

$$v = H \times d \quad \text{e} \quad v = d/t_0 \quad \longrightarrow \quad t_0 = H^{-1}$$

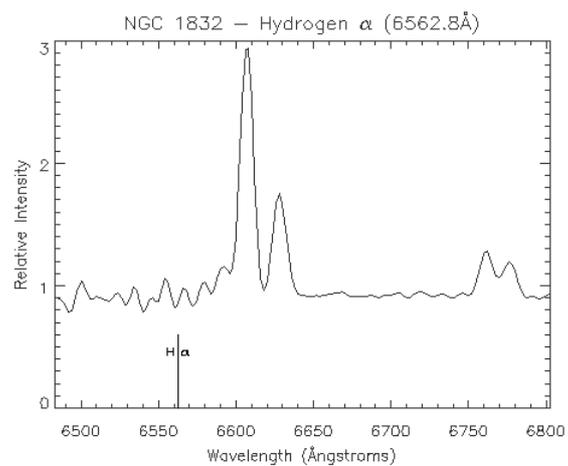
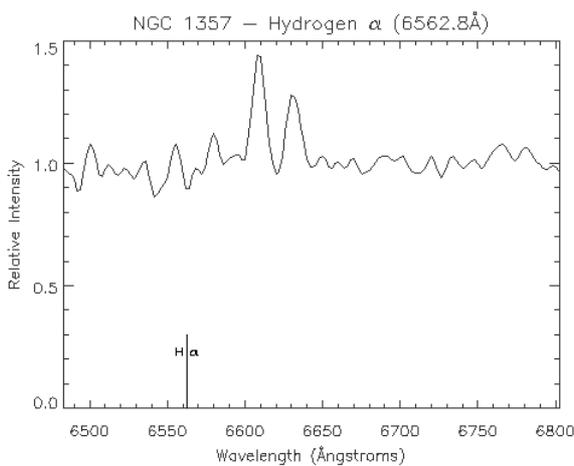
3ª Folha de Atividades - Lei de Hubble

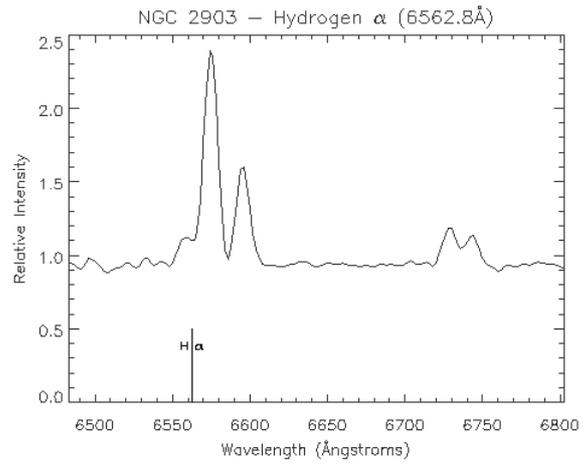
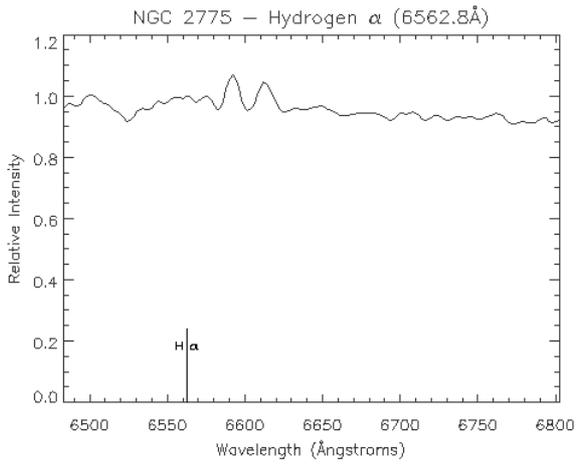
Nota: Não se esqueça de colocar as unidades!

1. Na tabela abaixo fornecemos a distância de um grupo de galáxias próximas e seu redshift. Calcule a velocidade de recessão dessas galáxias. A aproximação de baixas velocidades é válida, já que $z \ll 1$. Usem então a expressão $v = c \cdot z$ (a velocidade da luz é $c = 3 \times 10^5$ km/s). Para as 4 primeiras galáxias, além disso, vocês devem determinar o redshift a partir dos espectros a seguir. Os espectros estão na faixa próxima da linha de emissão $H\alpha$, que pode se facilmente identificável como a mais intensa e cujo comprimento de onda de repouso é 6562,8 Angstroms. Determine, então, o redshift dessas quatro galáxias e sua velocidade de recessão galáxias.

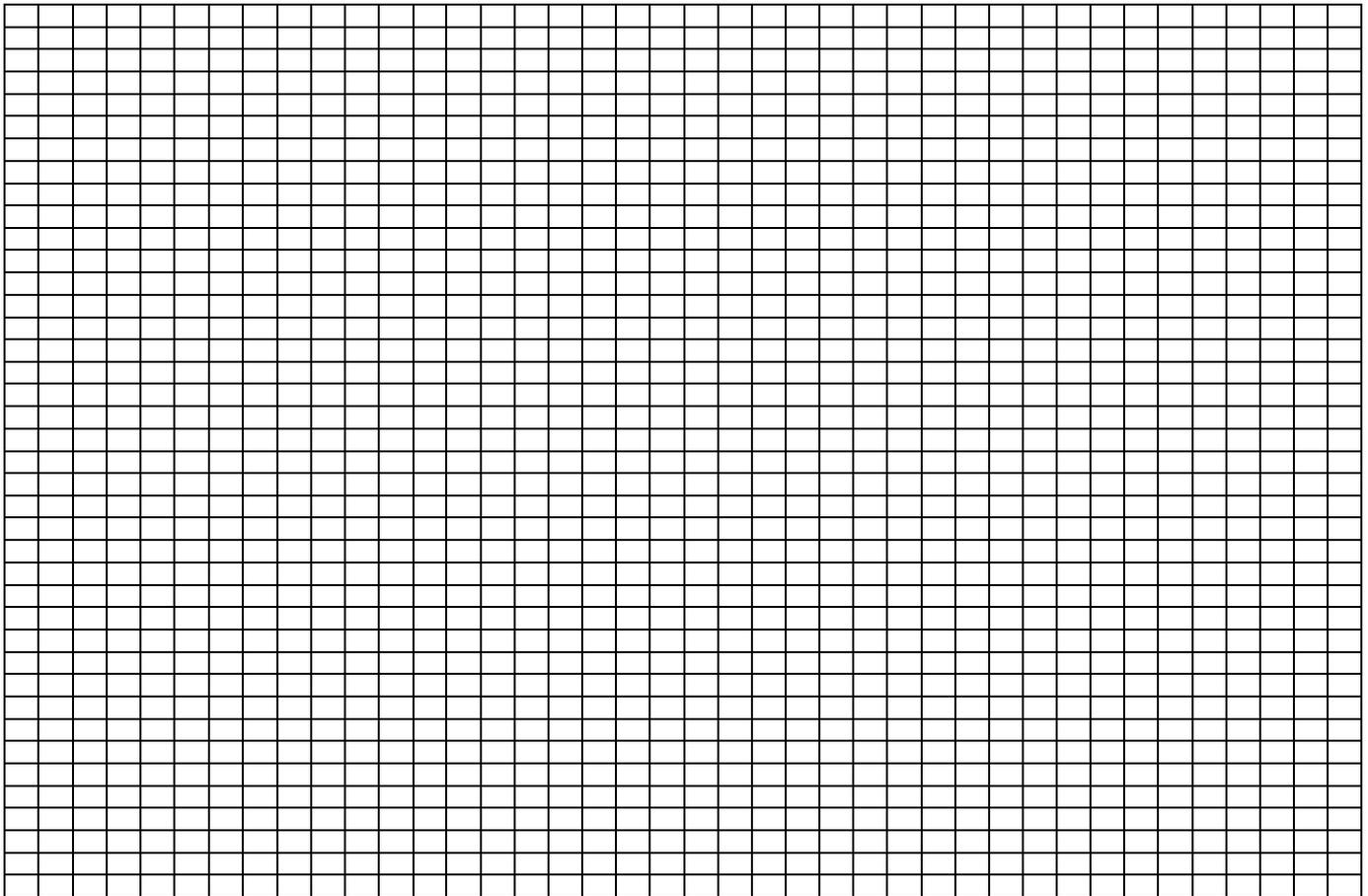
Galáxia	Distância [Mpc]	z	v [km/s]	Galáxia	Distância [Mpc]	z	v [km/s]
NGC 1357	26.30			NGC 3627	8.58	0.002425	
NGC 1832	25.15			NGC 3941	10.85	0.003095	
NGC 2775	17.65			NGC 4472	125.43	0.035358	
NGC 2903	7.16			NGC 4631	2.56	0.001001	
NGC 3034	2.72	0.000677		NGC 4775	19.43	0.005227	
NGC 3147	34.15	0.009407		NGC 5248	14.43	0.003846	
NGC 3227	15.43	0.003859		NGC 5548	67.87	0.017175	
NGC 3245	17.52	0.004610		NGC 5866	7.55	0.002242	
NGC 3310	11.32	0.003312		NGC 6181	30.88	0.007922	
NGC 3368	10.45	0.002992		NGC 6217	16.65	0.004543	
NGC 3471	27.55	0.007102		NGC 6643	18.76	0.004950	
NGC 3516	32.72	0.008836		NGC 6764	30.55	0.008059	
NGC 3623	9.50	0.002692		NGC 7469	165.98	0.041659	

Espectros das galáxias:





2. A partir da tabela acima, monte um gráfico da velocidade (em km/s) em função da distância às galáxias (em Mpc).





3. Seu gráfico passa pelo ponto (0,0)? Porquê?

4. Determine a constante de Hubble através do gráfico montado no exercício anterior. Estime a idade do Universo?

-- Faça seu cálculo aqui:

Constante de Hubble =

Idade do Universo =

5. O Sol tem 5 bilhões de anos, enquanto que as estrelas mais velhas da Via-Láctea têm cerca de 15 bilhões de anos. Compare esses dois valores com a idade do universo que você obteve. Há alguma discrepância? Qual? Sugira uma possível explicação.

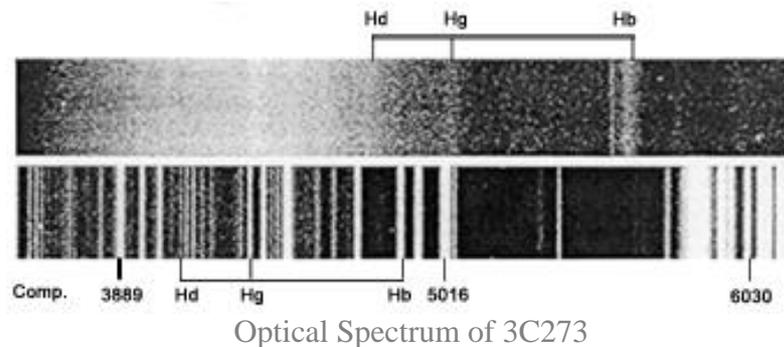
$$\frac{\text{idade do Sol}}{\text{idade do Universo}} =$$

$$\frac{\text{idade das estrelas + antigas}}{\text{idade do Universo}} =$$

4ª Folha de Atividades - Redshift

Nota: Não se esqueça de colocar as unidades!

1. Em 1963, o astrônomo Maarten Schmidt descobriu que o estranho espectro do objeto astronômico 3C273 "com aparência de estrela" correspondia a um espectro com linhas conhecidas, mas que apresentavam um desvio para o vermelho muito grande. Admitindo a Lei de Hubble, ele concluiu que esse objeto deveria então estar muito distante de nós. Hoje em dia conhecemos muitos objetos como estes distantes e foram batizados de "QSOs" (a sigla em inglês para quasi-stellar object) ou simplesmente "quasares". A figura a seguir mostra o espectro desse quasar e um espectro de comparação. Determine o redshift desse objeto (regra de três simples). Qual sua velocidade? Se admitirmos que H_0 seja igual a 70km/s Mpc, qual a sua distância em Mpc? E em anos-luz?



Dados: Os comprimentos de onda de repouso das 3 linhas do H mostradas no espectro são (1 Angstrom - 10^{-8} cm):

$$H\beta = 4861 \text{ Angstroms}$$

$$H\gamma = 4340 \text{ Angstroms}$$

$$H\delta = 4102 \text{ Angstroms}$$

Faça as contas no espaço abaixo:

Respostas:

$$z = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$v = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$d \text{ (Mpc)} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$d \text{ (a.l.)} = \underline{\hspace{2cm}}$$