

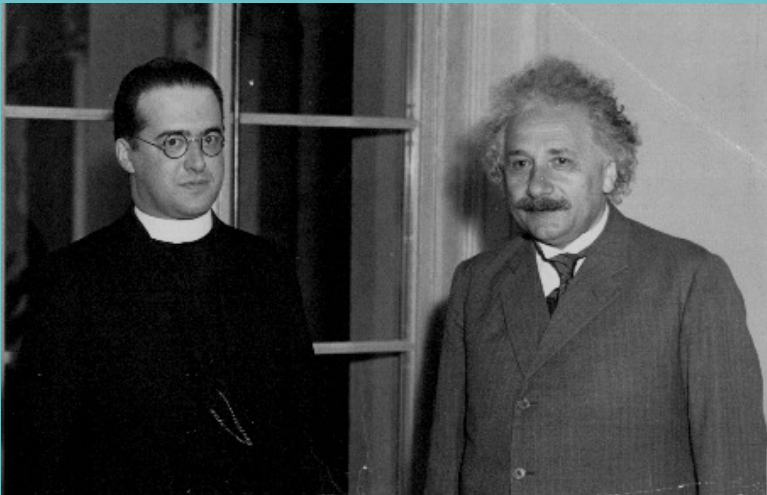
Einstein e a expansão do universo

1923: A solução de Friedmann de um universo não estático ainda que correta matematicamente, dificilmente pode ter algum sentido físico.

Lemaître publica em jornal de pouco impacto em 1927.

Encontra Einstein em Solvay

“Seus cálculos estão corretos, mas o insight físico é abominável” (Lemaître 1958 *apud* Luminet 2011, p.2913)



Einstein rejeita solução de Friedmann sobre curvatura do espaço

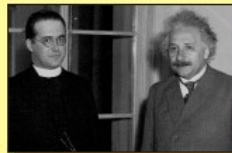
29/07/1922: “Sobre a curvatura do espaço”, escrito pelo matemático russo Alexander Friedmann foi recebido pela revista *Zeitschrift für Physik* e enviado para Einstein, que devia julgar se o artigo podia ser publicado, emitindo um parecer.
18/09/1922: O parecer de Einstein foi recebido pela revista. Ele considerou “suspeita” a solução não estacionária apresentada no artigo de Friedman. Ela seria incompatível com suas equações da relatividade geral, em que o fator de escala é constante.



Albert Einstein

Einstein rejeita novamente o universo em expansão

Em 1927 Einstein encontrou o físico e padre belga Georges Lemaître em um congresso de Bruxelas (Bélgica). O padre belga apresentou ao alemão o seu modelo de universo em expansão e Einstein disse que o russo Friedmann já havia encontrado essa solução para as equações em 1922. Além disso, Einstein disse: “Seus cálculos estão corretos, mas o insight físico é abominável”.



Georges Lemaître com Albert Einstein

Einstein e a expansão do universo

Einstein e De Sitter aceitam universo em expansão

Em 1930 De Sitter apresentou a relação velocidade - distância como uma contribuição de vários astrônomos. Isso incomoda Hubble, que queria que ela fosse reconhecida como uma contribuição do observatório de Mount Wilson. Em 1931 Einstein e De Sitter aceitam a expansão do universo, com base nos artigos de Lemaître (1927) e Hubble (1929).



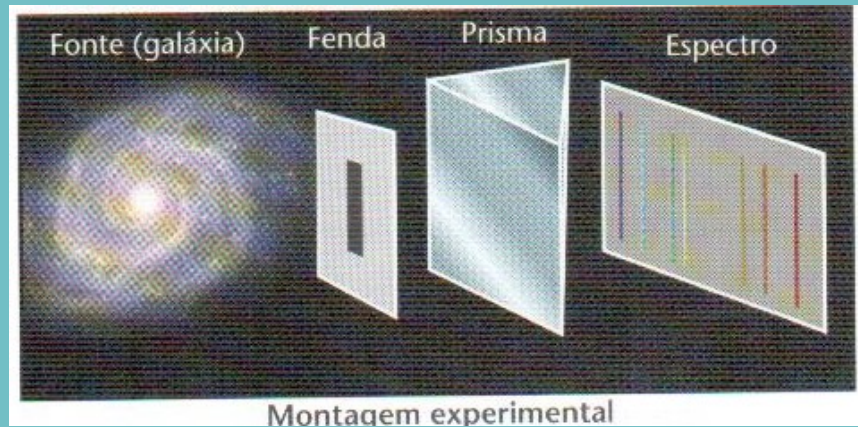
De Sitter com Einstein

Por que Einstein mudou de opinião?
a a constante cosmológica, um grande erro de Einstein

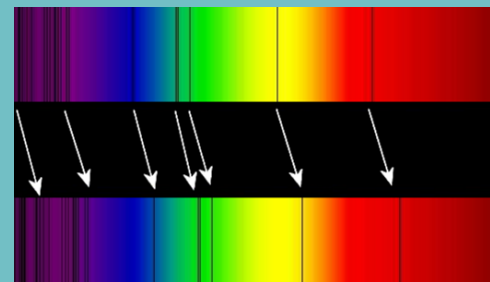
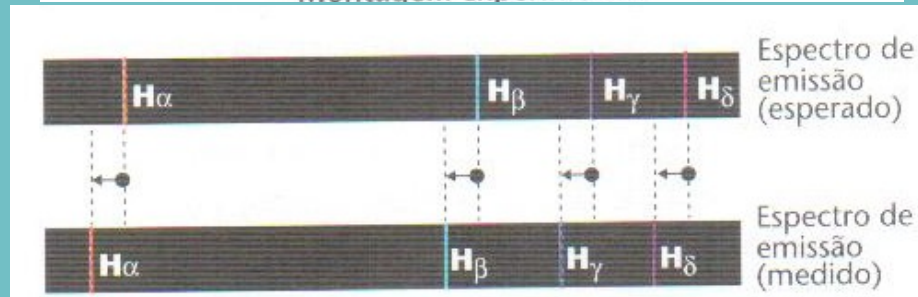
Redshift das nebulosas espirais



Vesto Slipher
(1875-1969)



A figura foi retirada de Braz Júnior 2002 p. 86



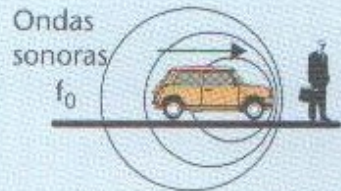
com velocidades radiais (em km/s)
medidas por Slipher (1917, p. 405).

TABLE I.
RADIAL VELOCITIES OF TWENTY-FIVE SPIRAL NEBULÆ.

Nebula.	Vel.	Nebula.	Vel.
N.G.C. 221	- 300 km.	N.G.C. 4526	+ 580 km.
224	- 300	4565	+ 1100
598	- 260	4594	+ 1100
1023	+ 300	4649	+ 1090
1068	+ 1100	4736	+ 290
2683	+ 400	4826	+ 150
3031	- 30	5005	+ 900
3115	+ 600	5065	+ 450
3379	+ 780	5194	+ 270
3521	+ 730	5236	+ 500
3623	+ 800	5866	+ 650
3627	+ 650	7331	+ 500
4258	+ 500		

Efeito Doppler

Efeito Doppler para o som



Aproximação relativa

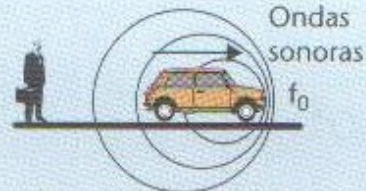
Som original



Som ouvido, mais agudo
(frequência maior)



Desvio para o agudo



Afastamento relativo

Som original

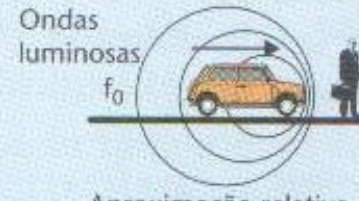


Som ouvido, mais grave
(frequência menor)



Desvio para o grave

Efeito Doppler para a luz



Aproximação relativa

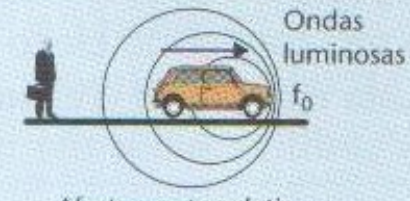
Cor original



A cor vista
(frequência maior)



Desvio para o azul



Afastamento relativo

Cor original



A cor vista
(frequência menor)

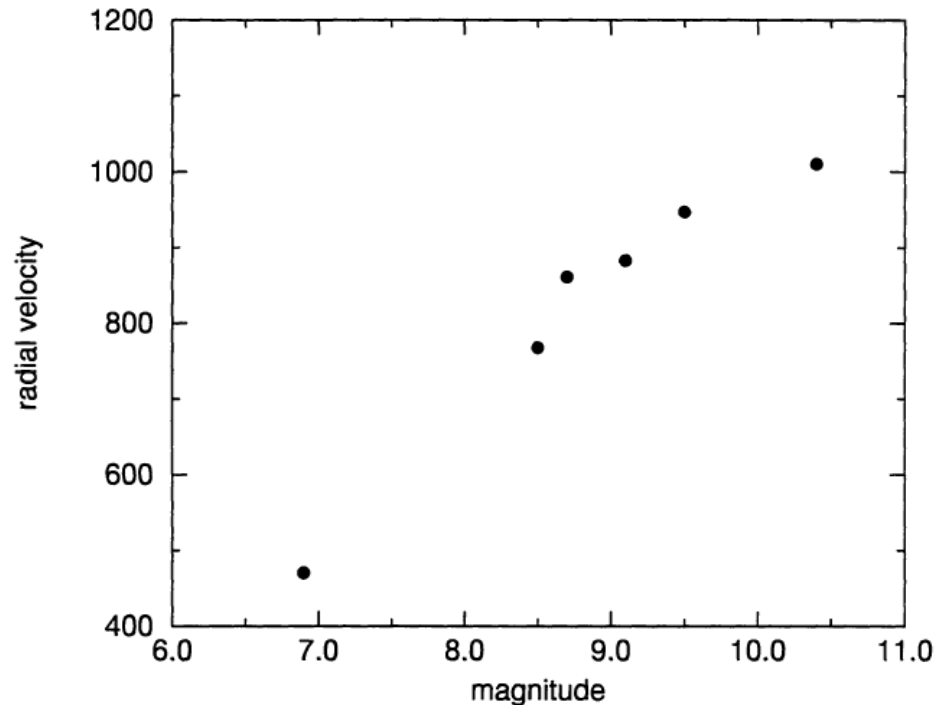


Desvio para o vermelho

Relação Velocidade - Magnitude

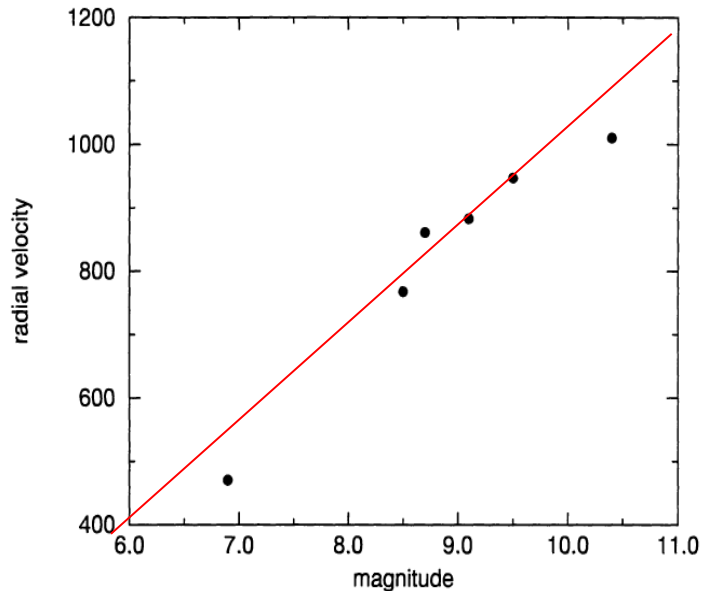


Carl Wirtz
(1876-1939)



Relação velocidade – distância encontrada por Wirtz (1922), reconstruída por Seitter e Duerbeck 1990, p. 375

Interpretando o diagrama

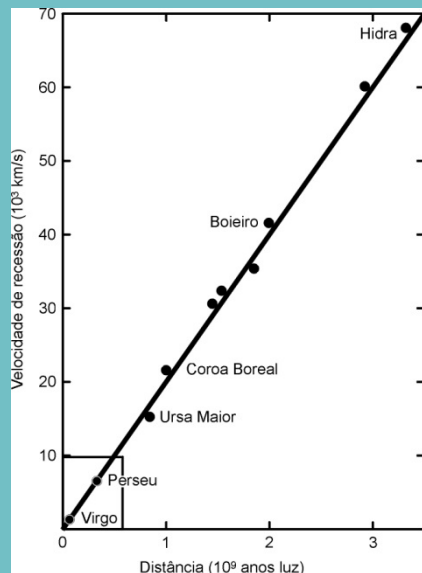


Relação proporcional:

Quanto maior a magnitude, maior a velocidade.

Relação entre brilho e magnitude é *inversamente proporcional*.

Quanto mais brilhante a nebulosa espiral, menor é sua velocidade.



No diagrama de Wirtz a relação é **aproximadamente linear**, pois os pontos se aproximam da reta.

Já no gráfico abaixo a relação é **praticamente linear**.

Relação redshift-distância para aglomerados globulares

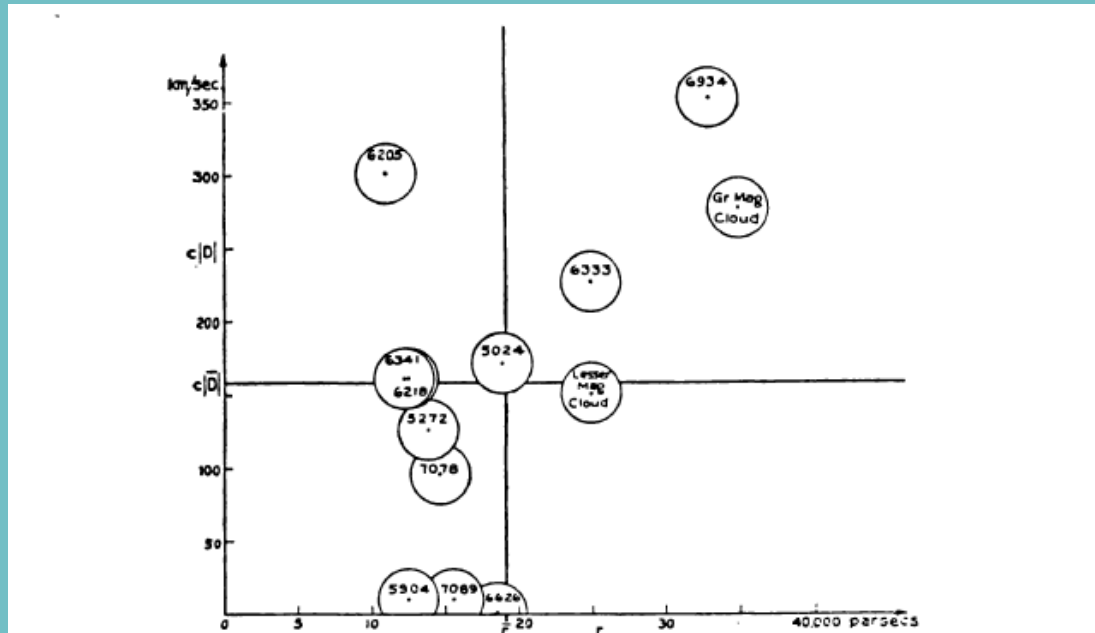
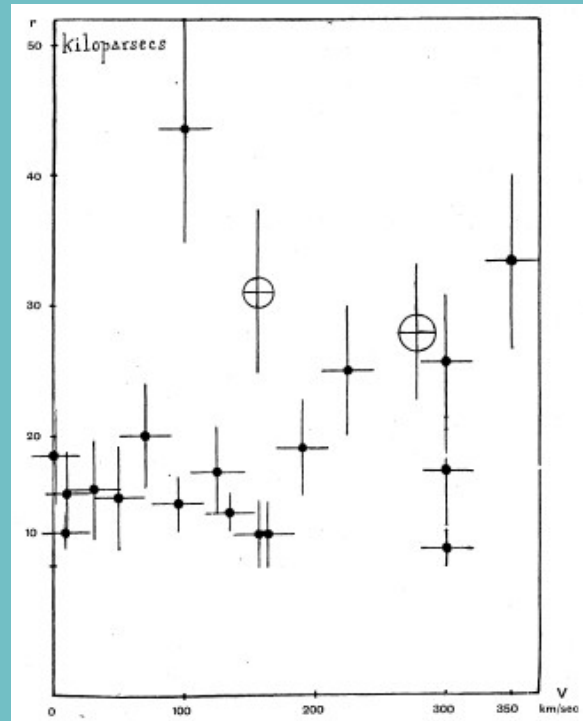


FIG. 1. Silberstein's 1924 velocity-distance diagram, showing the radial velocities and distances of eleven globular clusters and the Magellanic Clouds (from *Nature*, cxiii (1924), 819).

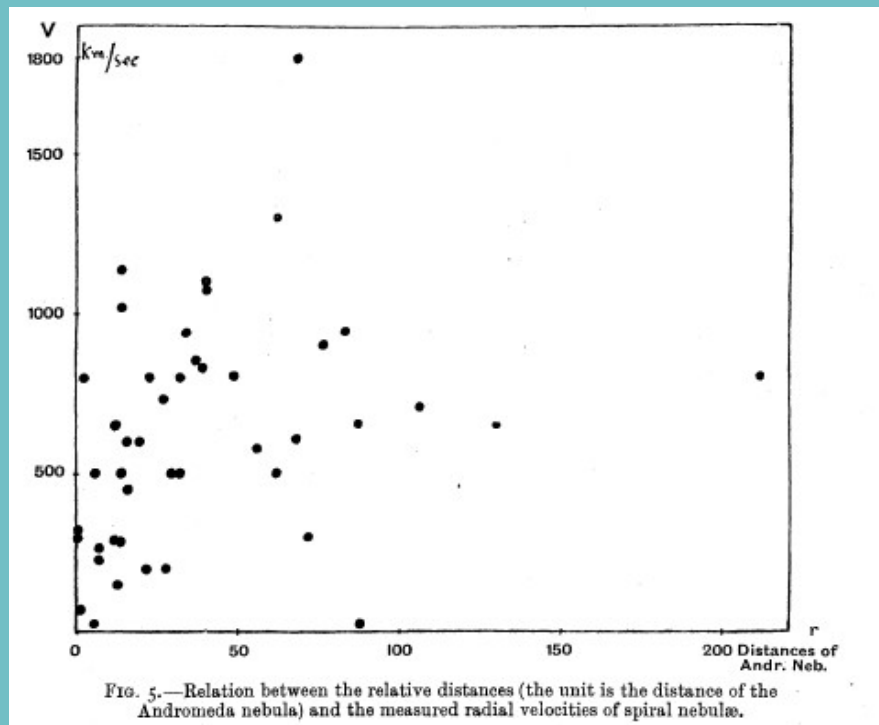
Relação distância – velocidade
apresentada por Silberstein em 1924
(Smith 1979, p. 143)

Crítica a Silberstein



**Falta de correlação velocidade-
distância para aglomerados globulares
(Lundmark 1924, p. 753)**

Relação redshift-distância para nebulosas espirais



velocidade-distância para nebulosas
espirais (Lundmark 1924, p. 768)

Confirmação da relação redshift-distância



Edwin Hubble (1889-1953)

