

ENERGIA ESCURA

Expansão Acelerada do Universo

Alaor Chaves – Novembro 2011

Em 1998, descobriu-se que velocidade de expansão do Universo, descoberta em 1929 por Edwin Hubble, está aumentando. Isso é tão surpreendente quanto uma pedra atirada para cima aumentar sua velocidade enquanto se eleva.

A expansão acelerada do Universo é a maior descoberta da cosmologia desde 1929.

Energia Escura é o nome dado ao propulsor dessa aceleração e a identificação desse propulsor é um dos grandes desafios teóricos da física atual.

A descoberta da expansão acelerada foi a culminância de uma das maiores aventuras científicas do século 20.

Essa aventura inclui audácia, persistência, perícia técnica, competição... e mesquinharia.

Nessa palestra, narraremos resumidamente essa aventura.



Saul Perlmutter
1959



Brian Schmidt
1967



Adam Riess
1969



Robert Kirshner
1949

PRINCIPAIS FIGURAS DA HISTÓRIA

PARTE I

COSMOLOGIA BASEADA NA LUMINOSIDADE APARENTE DAS CEFIDAS VARIÁVEIS

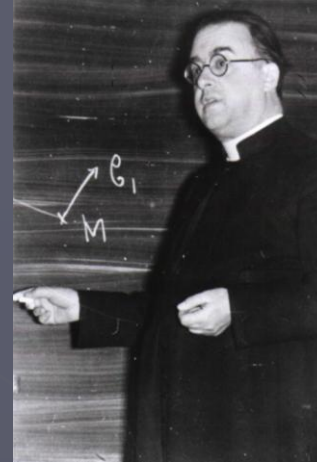


UM POUCO DE HISTÓRIA

Em 1917, para permitir um universo estático como solução das equações da relatividade geral, Einstein introduziu nelas a constante cosmológica Λ , que criava um efeito repulsivo que neutralizava exatamente a atração das massas



Alexander Friedmann
1888 – 1925



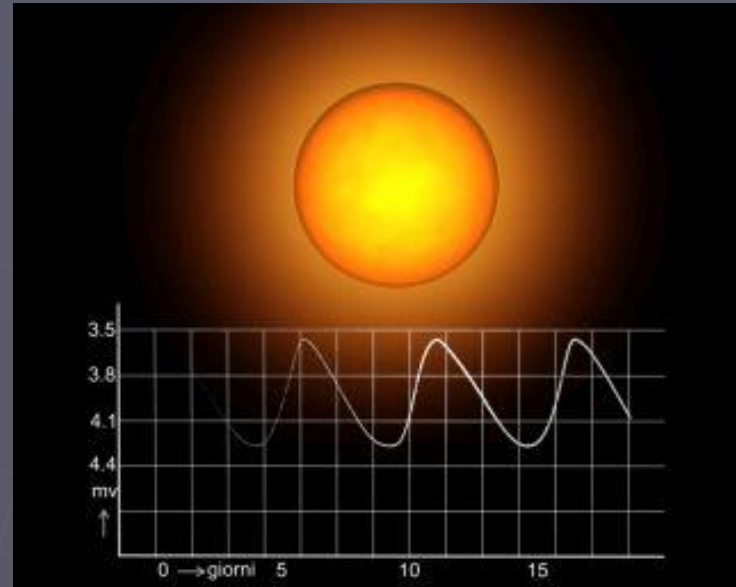
Georges Lemaître
1894 – 1966

Primeiro Alexander Friedmann (1922) e depois Georges Lemaître (1927) teorizaram um universo em expansão.

Quando Lemaître foi discutir seus resultados com Einstein, este lhe mostrou o trabalho de Friedmann com o comentário: **“A matemática está correta, mas a física é abominável.”**



Henrietta Leavitt
(1868 – 1921)



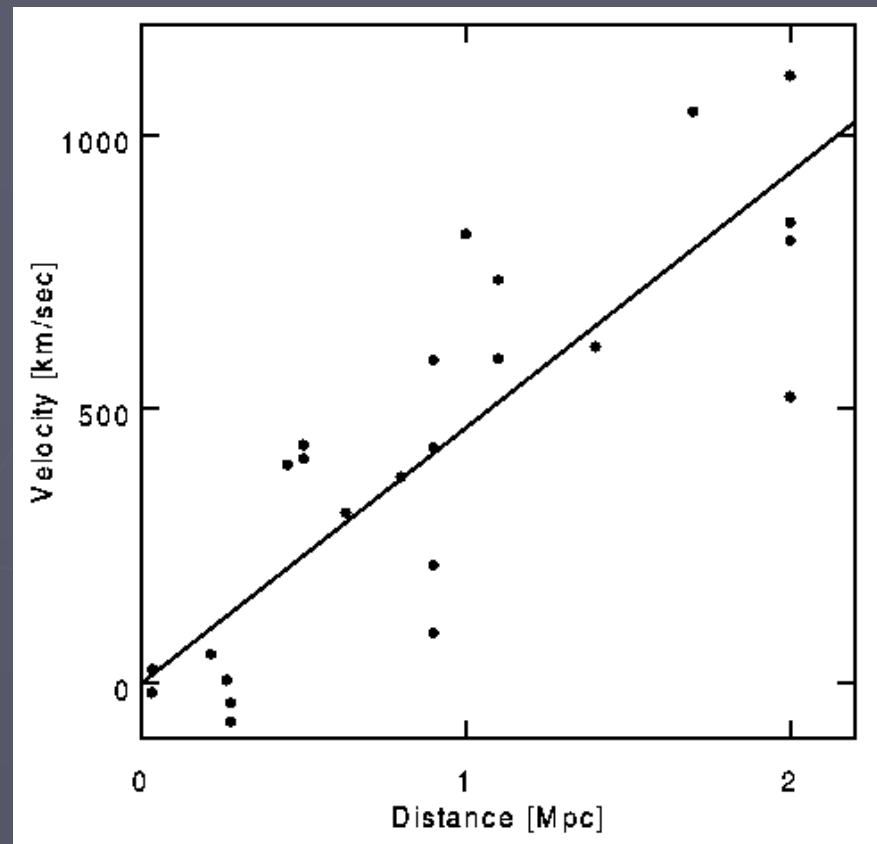
Cefeidas variáveis: 100 a 30.000
vezes mais luminosas do que o Sol.

As Cefeidas variáveis são estrelas gigantes cujo brilho oscila. Em 1908, Henrietta Leavitt descobriu a relação entre o período de oscilação e a luminosidade absoluta das Cefeidas.

Hubble usou a relação descoberta por Henrietta Leavitt para demonstrar (1924) que a Via Láctea é apenas uma de inúmeras galáxias e para medir as distâncias das galáxias.

Esse método de medir distâncias se tornou tão importante que Hubble afirmava que **Leavitt deveria ter ganhado o Nobel pela sua descoberta** .

Edwin Hubble (1889 – 1953)

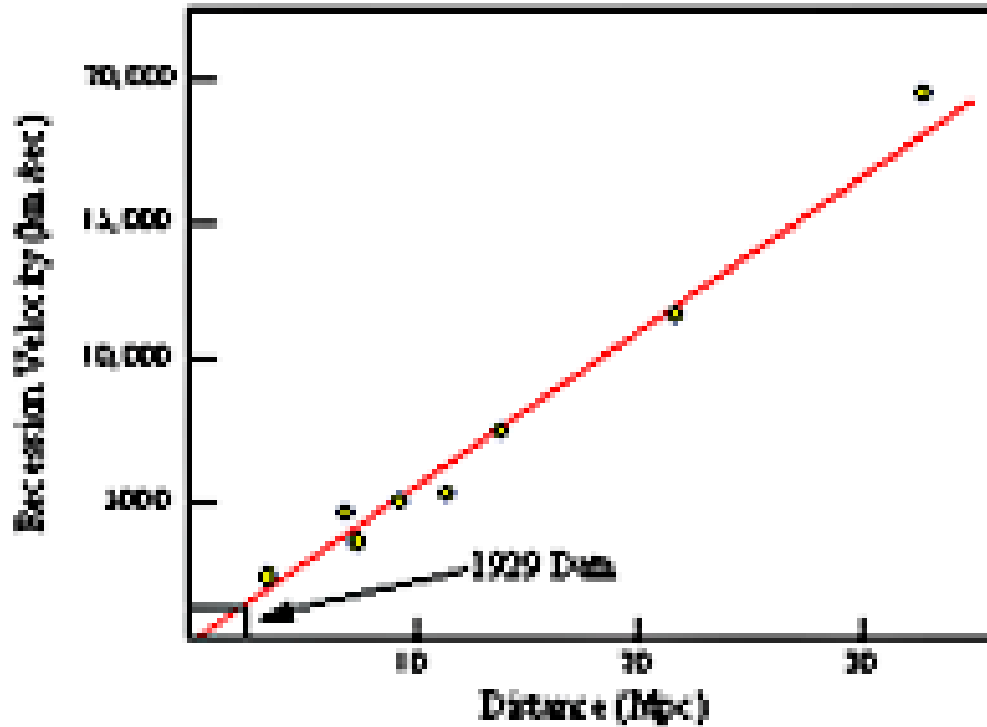


Lei de Hubble (1929): $v = H_0 d$

Hubble foi audacioso ao traçar
uma reta sobre esses pontos

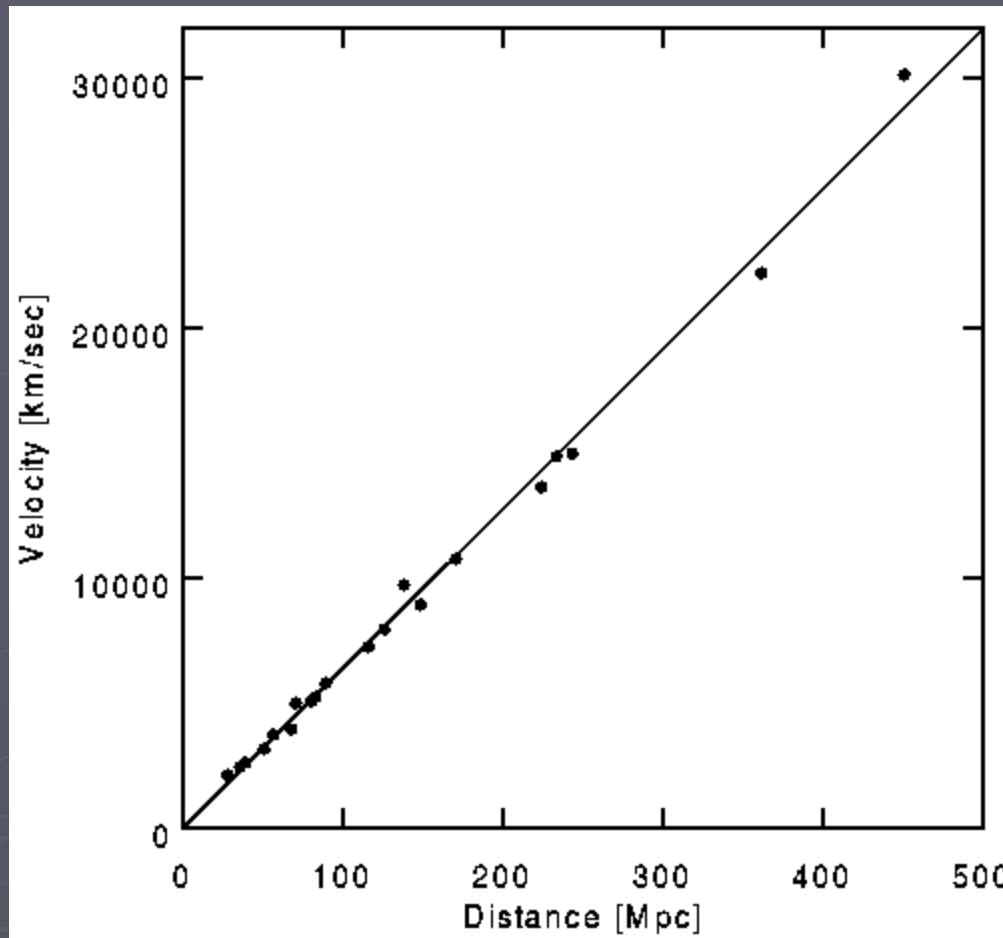
O UNIVERSO ESTÁ EM EXPANSÃO

Hubble & Humason (1931)



Até 1931, Hubble estendeu seus estudos a galáxias 15 vezes mais distantes que as usadas para a formulação da sua lei. Os dados originais cabem no pequeno retângulo mostrado no canto inferior esquerdo. A lei de Hubble se tornou mais convincente.

COM ESSES DADOS, EINSTEIN SE CONVENCEU



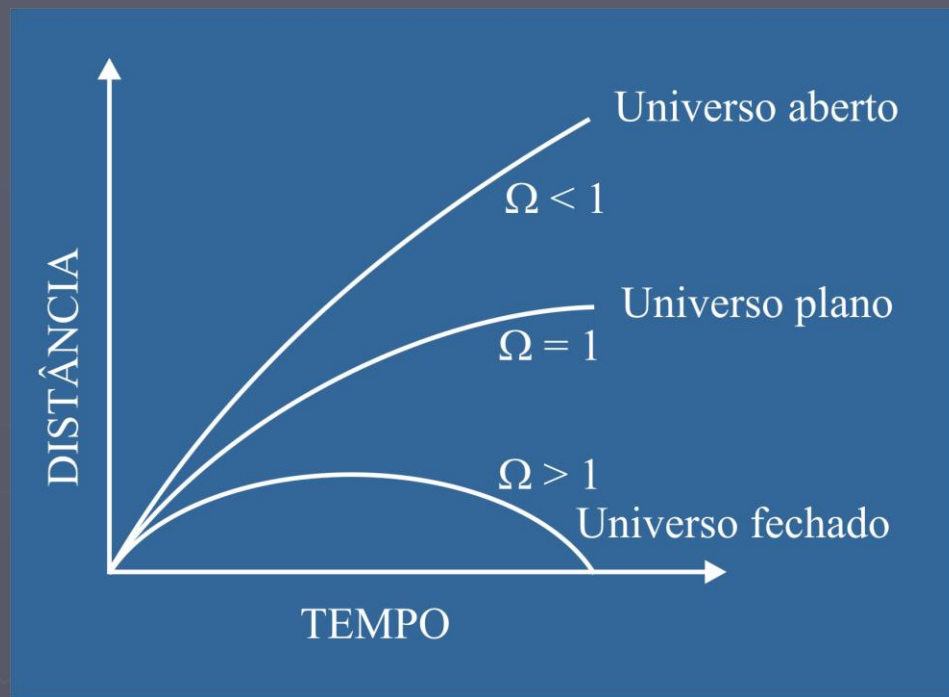
$Z = 0,1$

Dados obtidos com telescópios mais poderosos, ainda usando as cefeidas para medição de distâncias.

PARTE II

COSMOLOGIA BASEADA EM SUPERNOVAS

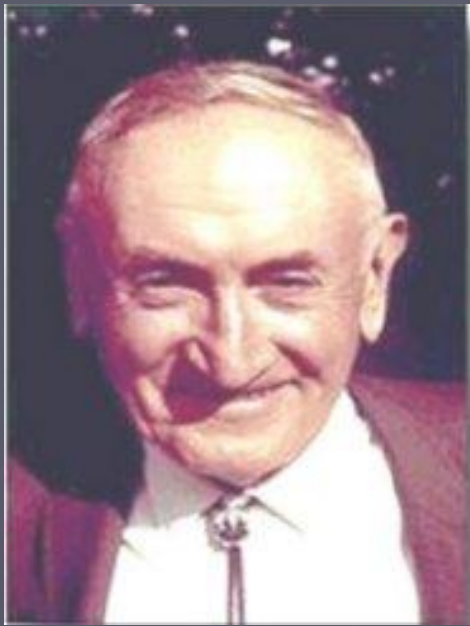




A geometria e o destino final do universo dependem da competição entre a velocidade da expansão e sua densidade de massa, que por causa da gravidade desacelera a expansão. Essa competição pode ser expressa por um único número Ω . O valor de Ω e o destino do universo supostamente poderiam ser obtidos explorando a velocidade das galáxias mais distantes. Daí, o interesse em estender os estudos de Hubble até os confins do universo.

Mesmo com o uso dos mais poderosos telescópios não é possível distinguir estrelas em galáxias distantes. Para estudar o movimento de recessão dessas galáxias é necessário encontrar velas padrão mais luminosas.

Hubble e outros procuraram em vão essas Velas. As supernovas Tipo Ia demonstraram ser velas padrão adequadas.



Fritz Swicky
(1898 – 1974)

Fritz Zwicky viveu sempre à frente do seu tempo. Seu gênio não foi reconhecido, o que em parte se deve à aspereza da sua índole. Chamava seus colegas de **idiotas esféricos**. Esféricos porque eram igualmente idiotas, qualquer que fosse o ângulo de visão.

Em 1933, descobriu a matéria escura. Isso foi ignorado até ser redescoberto 40 anos mais tarde.

Em 1934 propôs que supernovas eram uma catástrofe em que estrelas comuns se transformavam em estrelas de nêutrons. O nêutron tinha sido descoberto apenas dois anos antes. Estrelas de nêutrons só foram observadas em 1965.

Descobriu 120 supernovas e as classificou em Tipo I e Tipo II.

Em 1938, propôs que supernovas Tipo I fossem usadas como velas padrão para medir grandes distâncias.

Hoje são reconhecidos 5 tipos de supernovas:

Tipos Ia, Ib e Ic

Tipos IIP e IIL.

As Tipo Ia são especialmente importantes para a cosmologia



photos: NASA, courtesy of nasaimages.org

Supernova Tipo Ia (SN 1994D), no canto inferior esquerdo. Sua intensidade rivaliza com a de toda a galáxia.

As supernovas Tipo Ia são originárias de estrelas anãs brancas pertencentes a um sistema binário. A anã branca captura matéria de sua parceira até que sua massa atinja o limite de Chandrasekhar, que vale 1,44 massas solares.

Nesse limite, ela explode como supernova e seu núcleo se transforma em estrela de nêutrons. Como a massa é mesma para todas, a intensidade da explosão também seria a mesma. Seria nesse caso uma vela padrão.

Uma supernova Tipo Ia pode ser facilmente reconhecida por duas razões:

- a) Seu espectro não mostra as raíes de hidrogênio
- b) A curva de ascensão e queda da sua luminosidade é bem característica

Mas é preciso tomar cuidado. Tanto a velocidade de rotação quanto a composição química da anã branca pode alterar a intensidade da sua explosão.





Luis Alvarez
1911 – 1988
Nobel de Física

Tudo começou com Luis Alvarez, um dos mais brilhantes físicos experimentais do século 20.

Em 1980, Alvarez descobriu que a extinção dos dinossauros foi causada pela colisão de um meteoro de uns 10 km. Seu magnífico trabalho foi questionado apaixonadamente pelos paleontólogos. Ele respondeu: “Fui pego praticando paleontologia sem carteira de habilitação!”

Em 1984, criou no Lawrence Berkeley National Laboratory (LBL) o Berkeley Automatic Supernova Search (BASS)

Em 1988 foi criado no LBL o Center of Particle Astrophysics (CPA). Saul Perlmutter, membro do BRASS, propôs imediatamente o Supernova Cosmology Project (SCP).

Robert Kirshner, de Harvard, a mais renomada autoridade em supernovas, era membro do Conselho Consultivo Externo do CPA e se opôs. Afirmava que um grupo de físicos não poderia ter sucesso em um projeto no qual 5 astrônomos fracassara no período 1986 – 1988.

Método de busca de supernovas:

Câmaras CCD especiais colocadas em telescópios pegam imagens de largo campo do céu, nas quais aparecem centenas de galáxias. Fotos espaçadas de 20 dias são subtraídas uma da outra. Se sobra algo bem nítido, pode ser uma supernova.

Nesse caso faz-se um exame rigoroso

Perlmutter acreditava que com os rápidos avanços das câmaras CCD e melhores programas de subtração de imagens, eles poderiam suceder onde outros tinham fracassado.

Durante anos, o SCP não encontrou uma única supernova distante. Kirshner era cada vez mais implacável nas críticas.

Finalmente, em 1992, descobriram uma supernova com $z = 0,458$, ou seja, distante 4,7 bilhões de anos luz. Esse era um recorde importante.

Enviaram um artigo para publicação. Kirshner foi o referee e o rejeitou com o parecer:

“They hadn’t yet learned anything about cosmology”

Uma colaboração entre astrônomos ligados aos observatórios de Cerro Calán e Cerro Tololo, ambos no Chile, trabalhava na busca de supernovas mais próximas.



As técnicas do SCP e também suas conexões com observatórios avançaram.

Blow up:

De 10/93 a 02/94, descobriram 6 supernovas.

Após isso Brian Schmidt, então pós-doutorando de Kirshner, decide criar uma equipe para competir com a de Perlmutter. Imediatamente Schmidt muda-se para a Austrália.

A nova equipe, “High-z Supernova Search Team” logo está com 14 membros, de 6 instituições.

Kirshner tentou impor-se como líder da equipe, mas em votação secreta ela escolheu Schmidt como líder.

Quem são esses físicos para competir com nós, astrônomos?

As supernovas mais distantes se confundiam com as galáxias em que se situavam. Só com o telescópio Hubble seria possível subtrair a luz da galáxia e obter a luz da supernova.

Em 1996, Perlmutter pleiteia tempo de observação no Hubble. Kirshner, o **big gun**, se opõe com veemência.

Robert Williams, diretor do Hubble, perde a paciência e diz:

Sou o diretor do Hubble e faço o que quero. Quero o Hubble nesse programa.

O High-z Team imediatamente também pediu tempo no Hubble.

As coisas evoluíram rapidamente nas duas equipes.

As supernovas Ia não são velas padrão, mas com base na curva de decaimento da sua intensidade é possível obter a sua luminosidade. O efeito da absorção da luz pela poeira espacial pode ser medido pelo seu avermelhamento.

Ambos os grupos deram solução para os problemas.

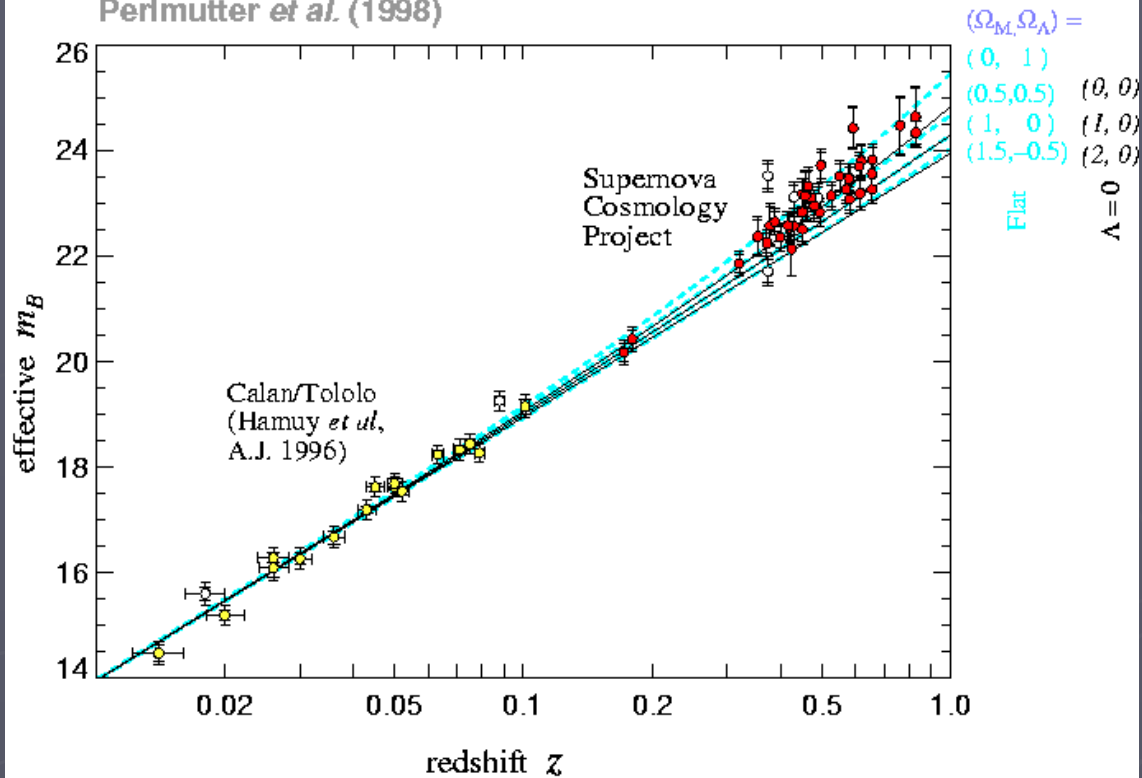
Adam Riess, ainda estudante de doutorado de Kirshner, foi a peça chave na solução desses problemas para o High-z Team.

No final de 1997, ambos os grupos haviam concluído que, em vez de frear, **a expansão do universo se acelera**, mas temerosos ainda analisavam os dados.

Em 8 de janeiro de 1998, Perlmutter afirmou, no encontro da American Astronomy Society, que a expansão do universo está se acelerando. Em março, o High-z Team publicou seu artigo, sendo Adam Riess o primeiro autor.

O artigo do SCP foi submetido um pouco depois.

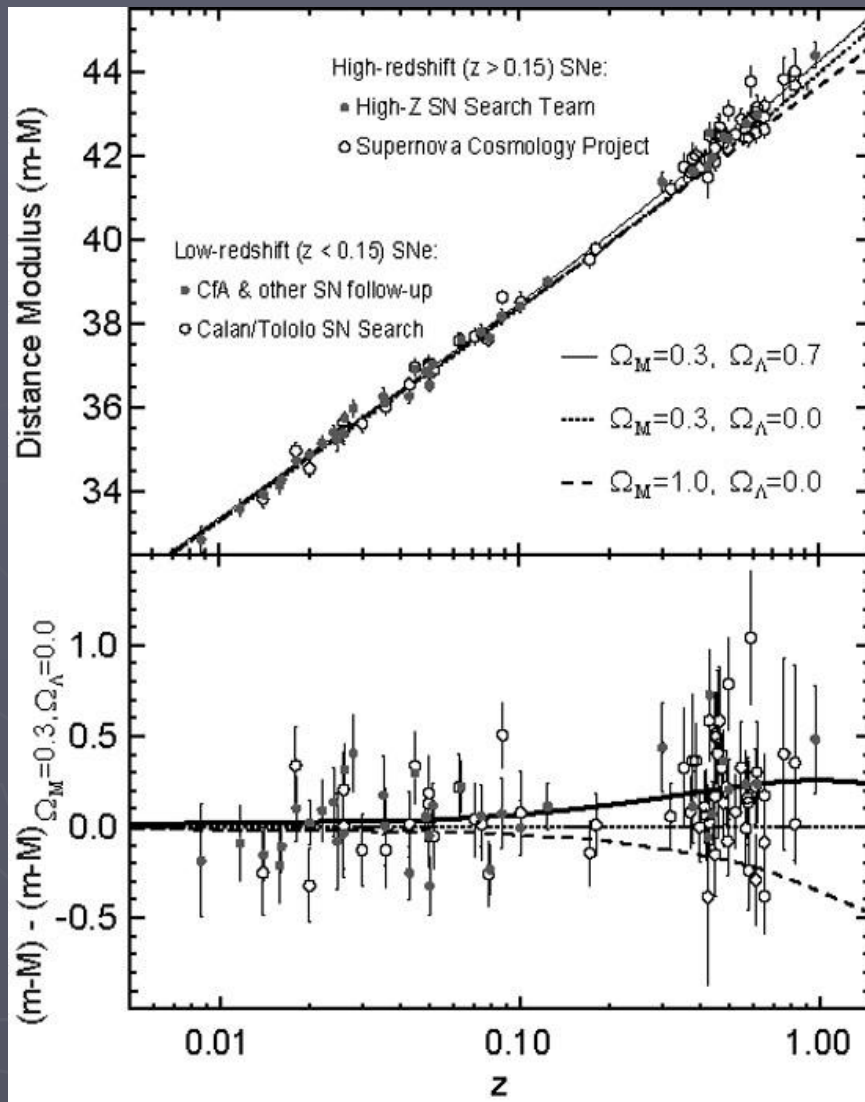
Supernova Cosmology Project
Perlmutter *et al.* (1998)



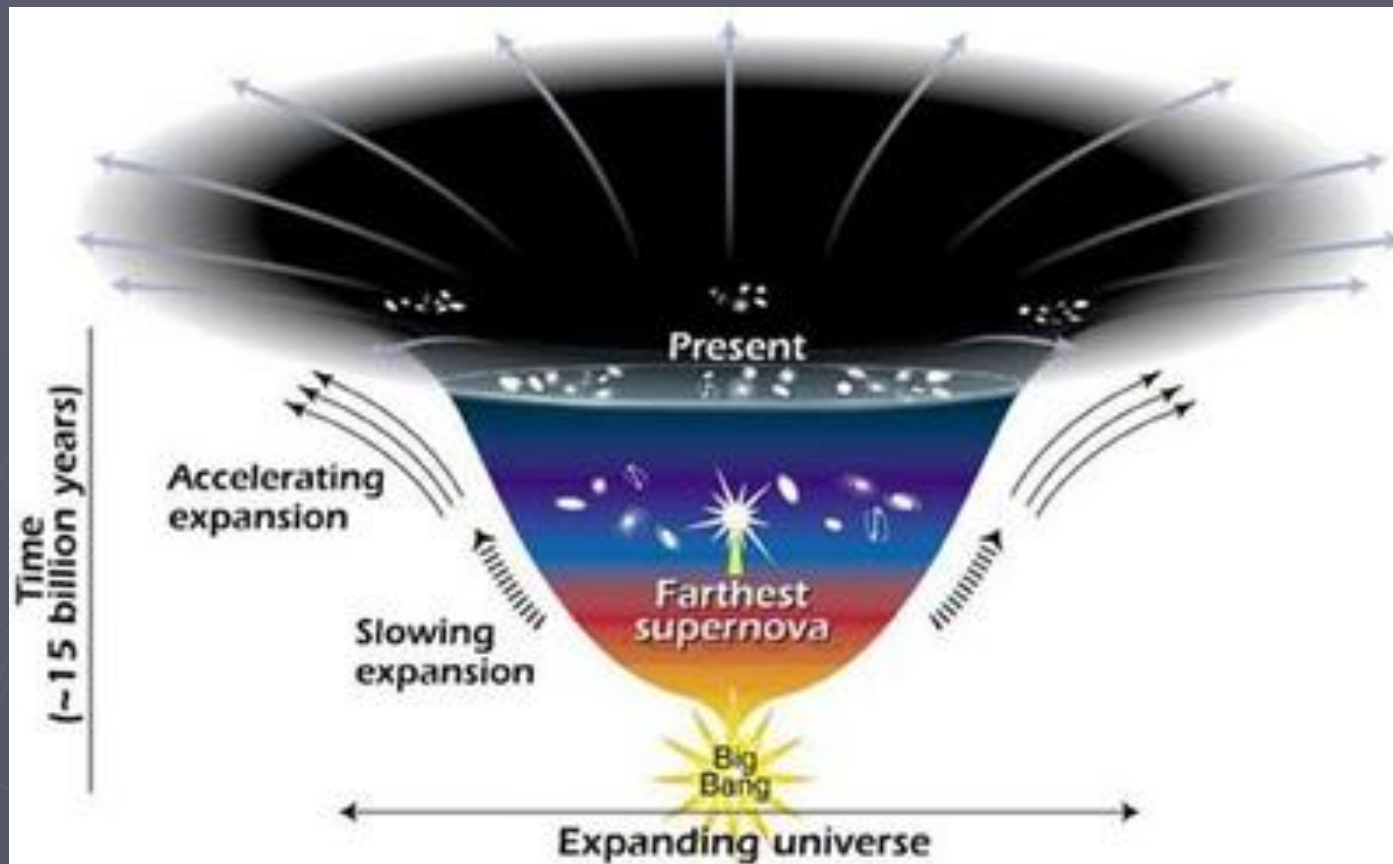
In flat universe: $\Omega_M = 0.28 [\pm 0.085 \text{ statistical}] [\pm 0.05 \text{ systematic}]$

Prob. of fit to $\Lambda = 0$ universe: 1%

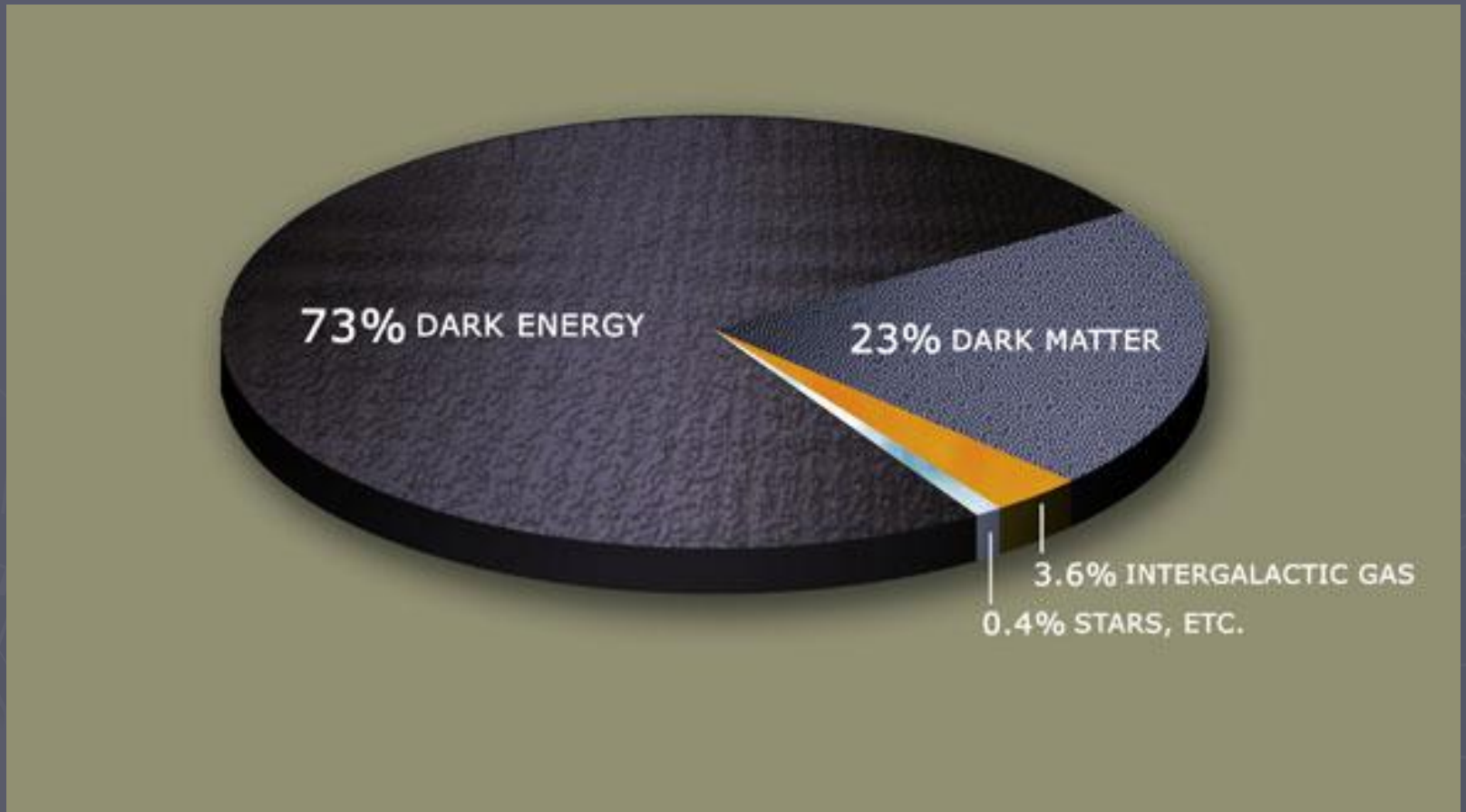
Dados obtidos pelo Supernova Cosmology Project. A grandes distâncias a lei de Hubble é não linear, o que era esperado. Mas em vez de desaceleração, temos aceleração da expansão!



Dados do High-z Supernova Search Team



Nos últimos 6 ou 7 bilhões de anos a expansão do universo se acelerou



A matéria visível só compõe 4% da massa do universo

A expansão acelerada do universo pode ser descrita pela constante cosmológica Λ introduzida por Einstein. Como a energia do vácuo aumenta com a expansão do universo e a energia da matéria se mantém constante, em dado momento o vácuo prevalece e a expansão se acelera. Isso é o que ocorreu nos últimos 6 ou 7 bilhões de anos.

As teorias quânticas de campos prevêm, por meio de um cálculo muito simples, uma energia escura, mas o Λ calculado é 10^{120} vezes maior do que o medido com as supernovas. Esse é o maior erro quantitativo da física teórica.

Uma hipótese, a da supersimetria, prevê um férmion correspondente a cada bóson portador de força. Ao fóton corresponderia o fotino etc. A energia de vácuo desses férmions seria negativa e cancelaria exatamente o valor de Λ . Esse cancelamento era apontado como triunfo da teoria de supercordas.

Mas Λ não é nulo. Fazer um teoria que cancela quase todo o seu valor, mas deixa um restinho ínfimo, é muito mais desafiador do que postular uma simetria que cancela tudo.

Desde 1998, Kirshner tem afirmado que High-z Team foi o real descobridor da expansão acelerada e puxado para si os créditos pela descoberta. Em suas palestras, pouca referência nominal faz aos membros do próprio High-z Team.

Os prêmios virão e o Big Gun será especialmente reconhecido!

- Em 2006, o Prêmio Shaw de Astronomia (US\$ 500 mil) é dado a Perlmutter (SCP) , Schmidt e Riess (High-z)
- Em 2006 o Prêmio Antonio Fetrinelli, da Academia de Ciências da Itália (US\$ 315 mil), é dado a Perlmutter.
- Em 2007 o Prêmio Gruber de Cosmologia (US\$ 500 mil) é dado a Perlmutter e Schmidt.
- Em 2011, metade do Prêmio Nobel de Física é dado a Perlmutter e a outra metade é dividida entre Schmidt e Riess (High-z)

Analogamente ao seu mentor Luis Alvarez, Saul Perlmutter foi pego praticando astronomia observacional sem carteira de habilitação. O zeloso Kirshner fez tudo para evitar.

Em vez do prêmio Nobel, ele deveria receber uma multa!

Em tempo: Incrível esse Luis Alvarez. George Smoot, que ganhou o Nobel de física de 2006 pela investigação da anisotropia da radiação de fundo do universo, também foi assistente de Alvarez, que o introduziu no campo da cosmologia.



obrigado pela atenção

