

## O Princípio da Incerteza de Heisenberg

Em 1924 Werner Heisenberg conseguiu uma bolsa da Fundação Rockefeller para ir estudar na Dinamarca, sendo orientado pelo físico Neils Bohr, famoso por seus estudos sobre a estrutura dos átomos. Nos anos seguintes eles mantiveram diálogos sobre a nova teoria quântica. Em 1927 Heisenberg publicou um importante artigo defendendo o chamado Princípio da Incerteza: *"Para uma mesma medida, quanto mais precisão no valor de impulso, menos precisão no valor da posição, e vice-versa"*.



Werner Heisenberg

## Coincidências na cosmologia

Em 1930 Herman Weyl tornou-se professor em Göttingen. Estudou principalmente matemática e se interessou por coincidências na cosmologia, como a repetição do número  $10^{40}$  nas relações entre constantes fundamentais da natureza, tais como a massa e carga do elétron, a constante de Planck, a velocidade da luz e a constante gravitacional universal. Os mesmos tipos de relações foram investigadas pelo inglês Arthur Eddington.



Hermann Weyl

## A nova teoria quântica

Em 1925 o físico austríaco Erwin Schrödinger publicou um artigo que se tornou importante para a criação da mecânica quântica. Nesse período, ele teve discussões constantes e trabalhou com outros estudiosos da mecânica quântica, como os alemães Werner Heisenberg e Max Born, e o dinamarquês Neils Bohr.



Erwin Schrödinger

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi = \hat{H} \Psi$$

Equação de Schrödinger

## Colaboração entre cientistas alemães e dos países neutros

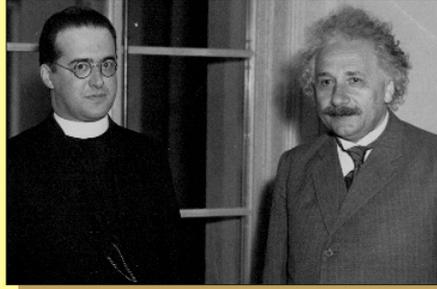
Aos poucos o boicote dos países aliados à ciência alemã foi perdendo força. Em 1926 a Alemanha foi convidada para se unir ao IRC (Conselho Internacional de Pesquisa). Mas os alemães recusaram o convite. Eles já vinham mantendo boas colaborações com cientistas dos países neutros, como o dinamarquês Neils Bohr, que recebeu vários jovens, tanto alemães quanto estadunidenses, para estudarem sob sua orientação.



Niels Bohr

## Einstein rejeita novamente o universo em expansão

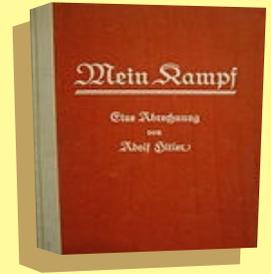
Em 1927 Einstein encontrou o físico e padre belga Georges Lemaître em um congresso de Bruxelas (Bélgica). O padre belga apresentou ao alemão o seu modelo de universo em expansão e Einstein disse que o russo Friedmann já havia encontrado essa solução para as equações em 1922. Além disso, Einstein disse: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



Georges Lemaître com Albert Einstein

## A ascensão do nazismo

A Alemanha enfrentava dificuldades econômicas causadas pela derrota na Primeira Guerra Mundial, mas a situação piorou com a crise financeira de 1929 que atingiu praticamente o mundo todo. Nesse ambiente, ganharam força dois regimes políticos que se opunham ao liberalismo, o socialismo e o fascismo. Na Alemanha, o Partido Nacional Socialista cresceu sob a liderança de Adolf Hitler, que em 1925 publicou o livro *Mein Kampf*, em que criticava o tratamento dado pelos vencedores da Guerra à Alemanha e defendia o rearmamento do exército alemão.



## Morre Friedmann

Para realizar estudos sobre a atmosfera, A. Friedmann fez vôos de balão em que tentava alcançar altitudes cada vez maiores. Chegou a 7400m de altura em um vôo de balão para estudar a atmosfera, o recorde soviético até 1925. Pouco depois ele morreu por causa de uma pneumonia. A maior parte dos estudantes que orientava continuou estudando meteorologia, mas Anna Shekter estudou sobre relatividade e cosmologia, orientada por Fredericks após a morte de seu orientador.



Friedmann com sua esposa

## Lysenko ataca biólogos teóricos

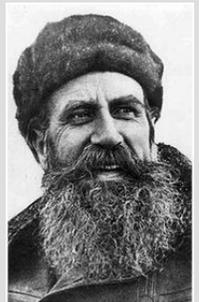
Com a coletivização forçada das fazendas muitos camponeses passavam fome, por terem que entregar sua produção para o Estado. Nesse ambiente hostil, o agricultor Trofim Lysenko acusou os biólogos teóricos que estudavam a genética das drosófilas de serem "amantes das moscas e odiadores das pessoas". Ele se engajou em experimentos práticos para melhorar a produtividade agrícola e convencer os camponeses a trabalhar nas fazendas coletivas.



Trofim Lysenko

## Marxismo e a ciência soviética

Otto Schmidt estudou matemática e astronomia, mas tornou-se muito famoso, um herói nacional, por liderar expedições que buscavam atingir o Polo Norte. Ele fazia parte do Partido Comunista e se interessava por filosofia, principalmente pelo materialismo dialético. Porém discordava dos políticos que atacavam os cientistas estrangeiros por serem "burgueses":  
*"A ciência ocidental não é monolítica. Seria um grande erro classificá-la indiscriminadamente como "burguesa" ou "idealista". Lenin diferenciava os "materialistas inconscientes", que incluíam quase todos os cientistas experimentais de seu tempo, dos idealistas (...). Elementos da dialética aparecem entre vários cientistas, muitas vezes numa roupagem idealista ou eclética. Nossa tarefa é encontrar essas sementes, refiná-las e usá-las".* Schmidt, 1929.



Otto I. Schmidt

## A luta pelo poder depois da morte de Lênin

Logo depois da morte de Lênin, em 1925, começou a luta pelo poder. Joseph Stalin venceu seus opositores e tornou-se um ditador cada vez mais poderoso. Expulsou da URSS Leon Trotsky, que foi um dos líderes do exército vermelho na Guerra Civil, e que defendia a expansão da revolução socialista para outros países. Stalin acusou qualquer seguidor de suas ideias, os chamados "trotskistas", de inimigos da pátria e fez com que a revolução se concentrasse em um só país, a URSS.



Leon Trotsky



Joseph Stalin

## Friedmann morre e o jovem Gamow vai estudar com Bohr

O jovem George Gamow assistiu ao ciclo de palestras intitulado "*Mathematical Foundations of the Theory of Relativity*" dado por Friedmann. Interessava-se por cosmologia e pensava em seguir seus estudos nessa área, mas com a morte de Friedmann em 1925 decidiu estudar mecânica quântica. Fez um estudo inovador sobre aplicando os estudos quânticos ao núcleo atômico e em 1928 recebeu uma bolsa da Rockefeller para ir estudar em Copenhague com o dinamarquês Neils Bohr.



George Gamow

## Bronstein defende a expansão do universo

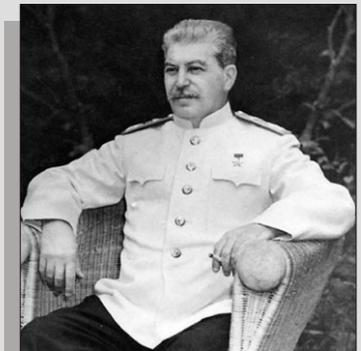
Em 1924 Bronstein estudou física na Universidade de Kiev e já em 1925, aos 19 anos, impressionou a todos publicando um artigo sobre raios-X e a natureza da luz na importante revista alemã "*Zeitschrift fur Physik*". No ano seguinte mudou-se para Leningrado, onde conviveu com outros jovens interessados nas revolucionárias teorias da mecânica quântica e da relatividade, como George Gamow e Lev Landau. Ele também estudou astrofísica, interagindo com astrônomos do Observatório de Pulkovo, como Vitor Ambartsumian. Em 1931 ele publicou uma revisão bibliográfica sobre cosmologia relativística em russo, discutindo estimativas da idade do universo em expansão com base na constante  $H = V/d$ , medida por Edwin Hubble.



Bronstein

## A industrialização da URSS sob Stalin

Sob o governo de Stalin criaram-se planos quinquenais de desenvolvimento econômico e a URSS se industrializou muito rapidamente. O país não sofreu com a crise econômica de 1929, já que sua economia não dependia em nada da economia dos EUA.



Joseph Stalin

## Encontro de Einstein, Bohr e Lemaître

Os físicos Neils Bohr e Heisenberg debateram a mecânica quântica com Einstein na conferência Solvay, em Bruxelas, em 1927. Na mesma conferência, Einstein e Lemaître se encontraram e discutiram sobre a expansão do universo. Na primeira conferência, em 1924, Einstein se recusara a participar em solidariedade aos cientistas alemães que haviam sido impedidos de comparecer.



G. Lemaître



Einstein com Bohr

## Mais uma crítica à Silberstein e sua relação redshift-distância

O astrônomo sueco Gustav Stromberg, trabalhando no observatório de Mount Wilson nos EUA, publicou um artigo listando os desvios espectrais de nebulosas disponíveis em 1925, a maioria medidos por Slipher. Relaciona-os ao modelo de De Sitter, discutindo o "efeito De Sitter", como já havia proposto o polonês Silberstein. Porém discorda de sua proposta de que exista uma relação entre *redshift* e distância.



Gustav Stromberg

## Métodos para determinar distâncias de nebulosas

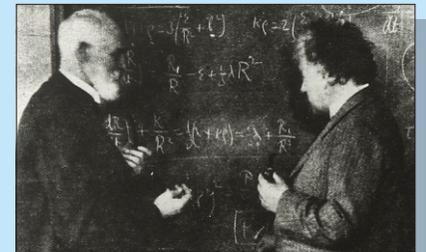
Em 1925 o sueco Knut Lundmark publicou um artigo sobre métodos para se determinar distâncias de nebulosas, citado por Hubble em seu importante artigo de 1929. Lundmark voltou dos EUA para a Suécia e passou a trabalhar no Observatório de Lund.



Knut Lundmark

## Einstein e De Sitter aceitam universo em expansão

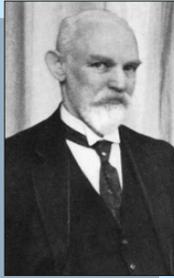
Em 1930 De Sitter apresentou a relação velocidade - distância como uma contribuição de vários astrônomos. Isso incomoda Hubble, que queria que ela fosse reconhecida como uma contribuição do observatório de Mount Wilson. Em 1931 Einstein e De Sitter aceitam a expansão do universo, com base nos artigos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



De Sitter com Einstein

## O que será o “efeito De Sitter”?

O modelo estático de Willem De Sitter ficou conhecido como "solução B", sendo debatida junto com a "solução A" de Einstein por diversos autores, como Herman Weyl, Knut Lundmark, Arthur Eddington, Cornelius Lanczos, Georges Lemaître, Howard Robertson e Richard Tolman. Astrônomos se interessaram em observar os desvios espectrais previstos em seu modelo, o chamado "efeito De Sitter".



Willem De Sitter

## Neils Bohr recebe jovens para estudar a teoria quântica

Entre 1924 e 1927 Bohr e Heisenberg travaram uma série de diálogos e colaborações sobre a mecânica quântica, em Copenhague. Nesse período Heisenberg formulou o Princípio da Incerteza, e Bohr o Princípio da Complementaridade: "as propriedades ondulatórias e corpusculares de um objeto quântico constituem aspectos complementares de seu comportamento". Em 1928 o físico russo George Gamow também foi estudar a teoria quântica com Bohr, financiado pela fundação Rockefeller.



Heisenberg e Bohr



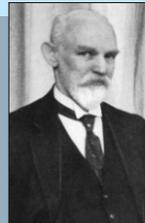
Niels Bohr com Gamow e outros estudantes

## Relações entre redshift e cosmologia

Em 1928 Lemaître e De Sitter estavam na reunião anual da IAU (União Astronômica Internacional) em Leiden, na Holanda. Ainda que Lemaître tivesse publicado um artigo em 1925 reinterpretando o modelo de De Sitter, e em 1927 tivesse defendido a expansão do universo, os dois cientistas não discutiram essa teoria. De Sitter era presidente da IAU e estava muito ocupado, enquanto Lemaître era um jovem desconhecido. Hubble também estava lá e ficou animado ao ver que astrônomos discutiam a relação entre o *redshift* das nebulosas e a cosmologia.



G. Lemaître



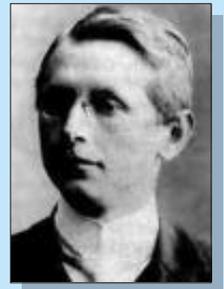
Willem De Sitter



Edwin Hubble

## A teoria da “luz cansada”

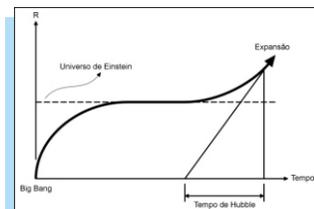
O físico Fritz Zwicky estudou na Suíça, talvez tenha sido vizinho de Lênin. Foi para os EUA em 1925 estudar astrofísica, onde manteve contato com Edwin Hubble. Em 1929 propôs uma explicação para o *redshift*: não seria consequência do afastamento das galáxias, mas sim do arrasto gravitacional da luz perdendo energia.



Fritz Zwicky

## Os modelos de Eddington e Lemaître

No modelo Lemâitre-Eddington, criado conjuntamente por estes dois cientistas, o universo seria inicialmente estático. Conforme se formavam galáxias, pela condensação de matéria, o equilíbrio inicial iria se rompendo. Esse universo, portanto, se expandiria sem limites e não havia um começo do tempo. Depois de 1931 Lemaître passou a defender um novo modelo, com um momento inicial para o universo, conhecido como "modelo do átomo primordial".



Modelo de Lemaître de 1931

## Eddington ignora proposta inicial de Lemaître sobre modelo do universo

Lemaître publicou em 1927 o artigo "*Um universo homogêneo de massa constante e raio crescente embasado pela velocidade radial das nebulosas extragalácticas*", em francês, na pequena revista *Annales de Sociétés Scientifiques* de Bruxelas. Enviou uma cópia para Eddington, mas ele não deu atenção ao artigo e continuou estudando os modelos de Einstein e De Sitter.



Georges Lemaître

## Um modelo de universo estacionário com uma "mente universal"

James Jeans, astrônomo inglês, estudou sobre a forma da galáxia e discutiu a chamada teoria dos "universos ilha" com astrônomos estadunidenses. Em 1928 ele propôs um modelo de universo eterno do tipo "estado estacionário" em que haveria criação constante de matéria. Sua visão do cosmo incluía uma "mente universal" que muitos chamariam de Deus. Por isso foi criticado por muitos ateus na Inglaterra.



James Jeans

## Eddington adota o modelo de Lemaître

Em 1930 Eddington leu o artigo feito por Lemaître em 1927, que passara 4 anos desconhecido pela academia. Percebeu nesse modelo os *redshifts* das nebulosas espirais eram apresentados como evidência da expansão do universo, resolvendo todos os problemas que apareciam nas soluções de Einstein e De Sitter. Com isso, Lemaître foi convidado para publicar uma tradução desse artigo do francês para o inglês. Curiosamente, na tradução não estava presente a relação  $V=Hd$  que, apesar de ter sido encontrada primeiro por Lemaître, passou a ser chamada de "Lei de Hubble", por seu artigo publicado em 1929.



Georges Lemaître



Arthur Eddington

## A crise de 1929 na Inglaterra

A crise econômica de 1929 começou com a quebra da Bolsa de Nova Iorque e se espalhou pelo mundo todo. Na Inglaterra havia 3,2 milhões de desempregados em 1932. Isso fortaleceu os movimentos políticos contrários ao capitalismo, como o socialismo, o anarquismo e o nazismo.



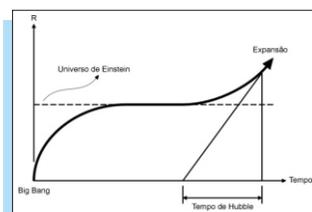
Desempregados em Londres

## Eddington defende universo eterno e Lemaître que ele teve um começo

*"Sir Arthur Eddington afirma que a noção de um começo da ordem atual da natureza é repugnante para ele. Eu estou inclinado a pensar que o estado atual da teoria quântica sugere um começo do mundo bem diferente da atual ordem da Natureza..."*

(Lemaître 1931, revista Nature).

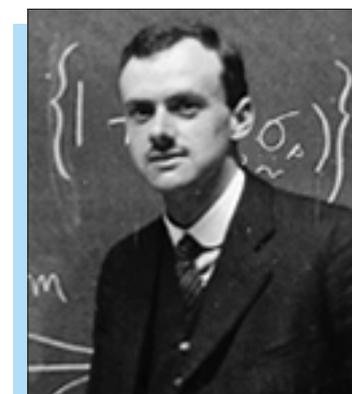
No modelo de Lemaître-Eddington o universo era eterno. Porém no modelo do "átomo primordial", defendido por Lemaître a partir de 1931, há um começo no tempo.



Modelo de Lemaître de 1931

## Paul Dirac e a mecânica quântica

Em 1928 o físico Paul Dirac apresenta o trabalho sobre a equação de onda relativística e em 1929 foi descoberto o pósitron, uma antipartícula prevista teoricamente pela equação de Dirac. Ele fez diversas contribuições à mecânica quântica, tendo contato constante com Neils Bohr, Erwin Schrödinger e Werner Heisenberg.



Paul Dirac

## Einstein rejeita mais uma vez o universo em expansão

Einstein encontrou o físico belga Georges Lemaître em um congresso em 1927, em Bruxelas. Ele lhe conta sobre seu modelo de universo em expansão e Einstein diz que o russo Friedmann já havia encontrado essa solução para as equações em 1922. Além disso, Einstein diz "*seus cálculos estão corretos, mas o insight físico é abominável*".



Congresso de 1927 em Bruxelas

## Lemaître se interessa pela relação linear redshift-distância das nebulosas

Entre 1924 e 1925 Lemaître esteve nos EUA, onde estudou astronomia, mantendo contato com Shapley, Hubble e Slipher. Ficou entusiasmado com a proposta do polonês Silberstein, que propôs um relação linear entre o *redshift* e a velocidade das nebulosas. Em 1925 voltou para a Bélgica e tornou-se professor na Universidade de Louvain, onde estudara. A biblioteca da universidade foi reconstruída com financiamento do governo dos EUA. Nesse ano publicou um artigo reinterpretando o modelo de De Sitter, não como um modelo estático, mas como um universo cujo raio aumenta.



Universidade de Louvain



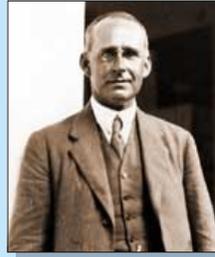
Lemaître nos EUA com colegas americanos

## Eddington “descobre” o artigo de Lemaître

Em 1930 Eddington leu o artigo feito por Lemaître em 1927, que passara 4 anos desconhecido pela academia. Percebeu nesse modelo os *redshifts* das nebulosas espirais eram apresentados como evidência da expansão do universo, resolvendo todos os problemas que apareciam nas soluções de Einstein e De Sitter. Com isso, Lemaître foi convidado para publicar uma tradução desse artigo do francês para o inglês. Curiosamente, na tradução não estava presente a relação  $V=Hd$  que, apesar de ter sido encontrada primeiro por Lemaître, passou a ser chamada de "Lei de Hubble", por seu artigo publicado em 1929.



Georges Lemaître

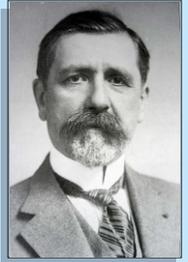


Arthur Eddington

## É possível estudar o universo ?

*“Pode parecer um pouco precipitado tirar conclusões válidas para todo o universo a partir do que se pode ver apenas no pequeno canto a que estamos confinados. Quem sabe se todo o universo visível não é como uma gota de água na superfície da terra? Habitantes dessa gota d’água, que são tão pequenos em relação a ela quanto nós somos em relação à Via Láctea, não poderiam imaginar que ao lado da gota de água pode haver um pedaço de ferro ou um tecido vivo, em que as propriedades da matéria são totalmente diferentes”.*

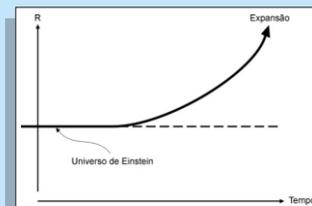
Émile Borel, matemático francês. Trecho do livro "Espaço e Tempo" (1926), 227.



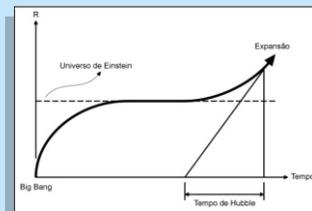
Émile Borel

## Um modelo de universo com um começo no tempo

*"Sir Arthur Eddington afirma que a noção de um começo da ordem atual da natureza é repugnante para ele. Eu estou inclinado a pensar que o estado atual da teoria quântica sugere um começo do mundo bem diferente da atual ordem da Natureza. [...] podemos conceber o começo do universo na forma de um único átomo, cujo peso atômico é dado pela massa total do universo. Este átomo altamente instável teria começado a se dividir, fragmentando-se em pedaços cada vez menores, numa espécie de super processo radioativo".* (Lemaître 1931, revista Nature).



Modelo de Lemaître de 1927



Modelo de Lemaître de 1931

## A crise econômica de 1929 na França

O escritor inglês George Orwell vivia em Paris em 1929, quando a quebra da bolsa de Nova Iorque afetou o mundo inteiro. Na França, que dependia muito da economia americana, houve uma grande crise econômica. Isso fortaleceu os movimentos políticos contrários ao capitalismo, como o socialismo, o anarquismo e o nazismo.



Sem teto em Paris

## Hubble não quer interpretar redshift

Em 1931 Edwin Hubble e seu colaborador Milton Humason confirmam com maior precisão a relação linear velocidade distância para nebulosas espirais. H. Em uma carta ao astrônomo holandês Willem De Sitter, em 1931, escreveu que ele e Humason sentiam *"que a interpretação (dos redshifts das galáxias) deve ser deixada para você e os outros poucos que são suficientemente competentes para discutir esta questão com autoridade"*. Talvez por causa desta cautela, Hubble não tenha mencionado a ligação de suas observações com a teoria da expansão do universo de Lemaître.



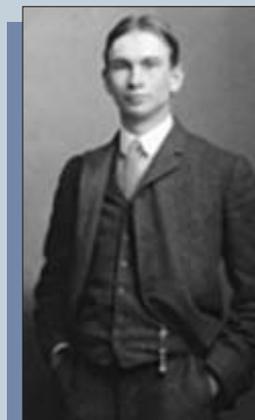
Edwin Hubble



Milton Humason

## Modelos de universo em expansão

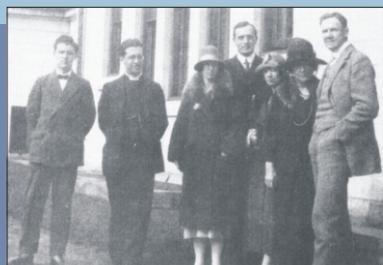
Richard Tolman publicou em 1929 mais um artigo relacionando os *redshifts* e o modelo de De Sitter, concluindo que eles não seriam adequadamente verificados pelas observações astronômicas da época. Ele acrescentou que seriam importantes novas observações de *redshifts*, assim como novos estudos teóricos sobre o modelo de De Sitter.



Richard Tolman

## Lemaître se interessa por trabalho de Silberstein

Entre 1924 e 1925 o belga Lemaître esteve nos EUA onde estudou astronomia, mantendo contato com Shapley, Hubble e Slipher. Ficou entusiasmado com a proposta do polonês Silberstein, que propôs uma relação linear entre o *redshift* e a velocidade das nebulosas. Ainda que seus métodos tenham sido criticados pelos astrônomos, achava que a ideia de relacionar o *redshift* ao modelo de De Sitter era interessante.



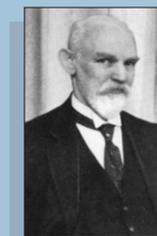
Lemaître nos EUA com colegas americanos

## Hubble desafia De Sitter

Hubble ficou aborrecido com De Sitter, por que em um artigo publicado em 1930 ele apresentou a relação velocidade - distância como uma contribuição de diversos astrônomos, inclusive do próprio De Sitter. Em 1931 Hubble escreveu-lhe uma carta: "Eu considero a relação velocidade-distância, sua formulação, teste e confirmação, como uma contribuição de Mount Wilson e estou profundamente preocupado com seu reconhecimento como tal"



Edwin Hubble



Willem De Sitter

## Novas soluções de modelos de universo em expansão

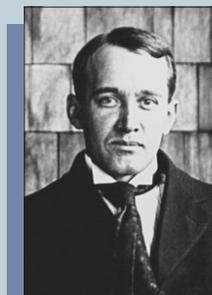
Em 1928 Howard Robertson encontrou novamente as soluções de modelos em expansão, que haviam sido publicadas em 1922 por Friedmann e em 1927 por Lemaître, sem conhecê-las. Também mostrou a relação linear entre a distância das nebulosas e seus desvios espectrais, utilizando as observações publicadas pelo astrônomo Vesto Slipher.



Howard Robertson

## Astrônomos estudando o redshift das nebulosas

Em 1925 o astrônomo sueco Gustav Stromberg publicou uma revisão dos *redshifts* de nebulosas espirais, a maioria deles medidos por Vesto Slipher. Nessa época diversos astrônomos, como Hubble e Lundmark, buscavam aperfeiçoar os métodos de medida destas distâncias de corpos astronômicos.



Vesto Slipher

## Relação linear redshift-distância das nebulosas mais precisa

Em 1929 Edwin Hubble publicou um artigo mostrando que há uma relação aproximadamente linear entre a distância das nebulosas e seu desvio espectral. Ele conseguiu estender as medidas já realizadas por Slipher para galáxias cada vez mais distantes com seu poderoso telescópio e fazendo uso de métodos mais precisos para determinar distâncias.



Hubble no telescópio de Mount Wilson

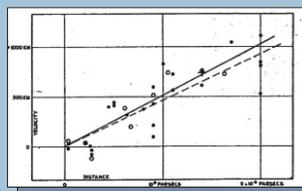


Diagrama Redshift-distância das nebulosas

## A crise econômica de 1929

Em 1929 os EUA entram em uma profunda crise econômica, que gera a quebra da Bolsa de Nova Iorque. O desemprego cresce muito e a crise se espalha por todo o mundo capitalista, que já era muito dependente da economia estadunidense.



Corrida aos bancos nos EUA