

Ensino a Distância

COSMOLOGIA

Da origem ao fim do universo

2015

Módulo 4

Os modelos cosmológicos

Presidente da República
Dilma Vana Rousseff

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação
José Aldo Rebelo Figueiredo

Secretário-Executivo do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
Álvaro Doubes Prata

Subsecretário de Coordenação de Unidades de Pesquisas
Kayo Júlio César Pereira

Diretor do Observatório Nacional
João Carlos Costa dos Anjos

Observatório Nacional/MCTI (*Site*: www.on.br)
Rua General José Cristino, 77
São Cristóvão, Rio de Janeiro - RJ
CEP: 20921-400

Criação, Produção e Desenvolvimento (*Email*: daed@on.br)



Carlos Henrique Veiga
Cosme Ferreira da Ponte Neto
Rodrigo Cassaro Resende
Sílvia da Cunha Lima
Vanessa Araújo Santos
Giselle Veríssimo
Caio Siqueira da Silva
Luiz Felipe Gonçalves de Souza

Equipe de realização

Conteúdo científico e texto
Carlos Henrique Veiga

Projeto gráfico, editoração e capa
Vanessa Araújo Santos

Web Design
Giselle Veríssimo
Caio Siqueira da Silva

Colaboradores
Alexandra Pardo Policastro Natalense
Ney Avelino B. Seixas
Alex Sandro de Souza de Oliveira

Esta publicação é uma homenagem a Antares Cleber Crijó (1948 - 2009) que dedicou boa parte da sua carreira científica à divulgação e popularização da ciência astronômica.

© 2015 Todos os direitos reservados ao Observatório Nacional.

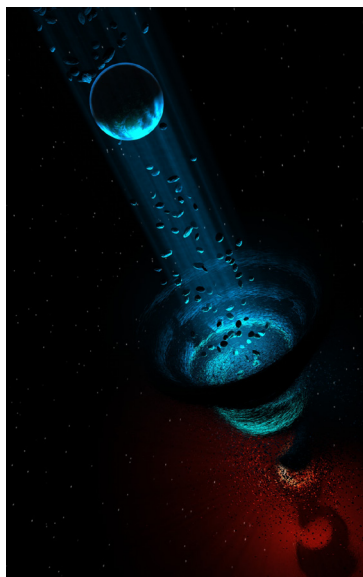


Imagem que ilustra a hipótese de um "atalho" através do espaço e do tempo, de acordo com a teoria da relatividade geral de Albert Einstein. Essa hipótese é conhecida por "Buraco de Minhoca" no espaço, pois tornaria mais curto o caminho entre dois pontos distantes. O termo Buraco de Minhoca foi criado pelo físico John Archibald Wheeler em 1957, apesar desta ideia ter sido proposta em 1921 pelo matemático Hermann Weyl.

Crédito: Wormhole Anomalous criado por 3RDAXIS Design

Ensino a Distância

COSMOLOGIA

Da origem ao fim do universo

2015

Módulo 4

Os modelos cosmológicos

29

As consequências de um “universo em expansão”

AS CONSEQUÊNCIAS DE UM “UNIVERSO EM EXPANSÃO”

Entender o que significava a expressão “universo em expansão” foi a ambição dos cientistas do século XX. Esta é uma questão tão sutil que ainda hoje aflige também muitas pessoas interessadas em cosmologia e sua explicação, muitas vezes, serve para afastá-las de uma das partes mais elegantes da ciência moderna. Vamos tentar simplificar o assunto baseando-nos no que já foi apresentado até agora, em particular o conceito de “deslocamento para o vermelho” das galáxias.

A frase “universo em expansão” é, por si mesma, muito estranha. Já dissemos que a palavra “universo” engloba tudo: toda a energia, toda a matéria, enfim tudo, absolutamente tudo que existe. Ao mesmo tempo, qualquer um de nós sabe bem o que significa expandir: crescer, aumentar, ocupar mais espaço.

Existe então algo confuso na expressão “universo em expansão”. Se o universo se expande, isso quer dizer que ele cresce, aumenta, ocupa mais espaço. Mas como isso é possível? Se o universo representa tudo, como ele pode crescer? Como ele pode ocupar mais espaço?

Existem duas maneiras de explicar o significado de “universo em expansão”. A primeira delas é astrofísica e será a única abordada no momento.

Já vimos que a luz proveniente das galáxias distantes está sofrendo um “deslocamento para o vermelho” ou “redshift”. Muitas tentativas foram feitas para mostrar que esse “deslocamento” era apenas algum efeito especial tal como o “efeito de Sitter” comentado anteriormente. Todas falharam. A única explicação viável é que esse “deslocamento das linhas espectrais para o vermelho” está revelando que todas as galáxias estão se afastando de nós. Além disso, a relação distância-velocidade descoberta por Hubble e Humason nos diz que quanto mais afastadas estão duas galáxias mais rápido elas continuam a se afastar.

Esse afastamento não está ocorrendo por existir alguma coisa especial com a nossa Galáxia. O que a astrofísica mostrou é que, ao mesmo tempo em que todas as galáxias estão se afastando de nós, elas também estão se afastando umas em relação às outras. Todas as galáxias se afastam de todas as outras ao mesmo tempo. Na verdade não existe qualquer região especial, em algum lugar entre as galáxias onde essa expansão começou. Os cosmólogos dizem que não são as galáxias que estão se afastando como resultado de algum processo dinâmico existente no universo, algum processo de interação que ocorre simultaneamente sobre todas elas. Para eles **o que está se expandindo é o espaço-tempo que existe entre as galáxias.**

É importante que fique bem claro que as galáxias não estão se expandindo dentro do Universo. Não se trata de ocupar um espaço que já existe. O Universo não é um grande “balão” onde, no seu interior, as galáxias se afastam umas das outras. Quando falamos de “Universo em expansão” dizemos que é o próprio Universo, o espaço-tempo, o substrato dentro do qual estão as galáxias e todas suas estruturas menores tais como as estrelas, o gás interestelar, os planetas e até mesmo nós, seres humanos, que estão se expandindo.

Imediatamente os cosmólogos verificaram que o conceito de “universo em expansão” possuía outras importantes consequências. Se ele está se expandindo agora isso significa que, em um futuro longínquo, as galáxias poderão estar incrivelmente afastadas uma das outras. Nosso universo terá um fim? Mais ainda, se o universo está se expandindo continuamente isso quer dizer que, olhando para trás no tempo, já houve uma época em que as galáxias estavam muito mais próximas umas das outras. Ao longo de todas as fases de maior aproximação entre as galáxias o universo era muito mais denso do que vemos

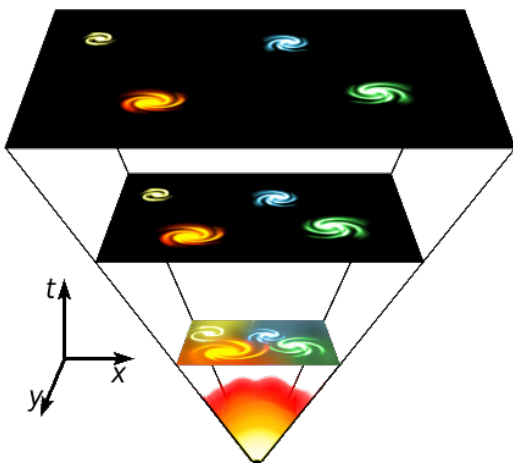


Ilustração sobre a expansão do Universo (singularidade).

hoje. Poderíamos até mesmo pensar que, em algum momento toda a matéria do universo estava agrupada em uma estrutura superdensa. Teria havido um início para o universo? Teria havido um início para o tempo?

LEMAÎTRE E SEU “ÁTOMO PRIMORDIAL”

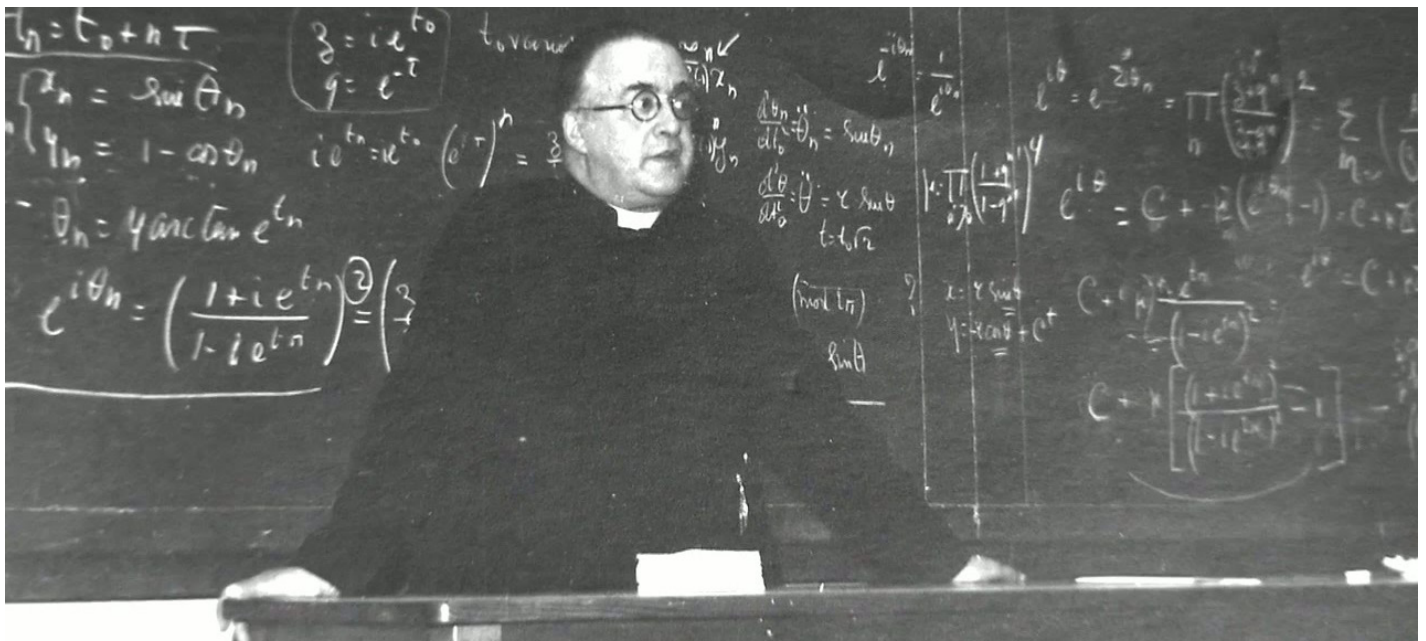
Já vimos que em 1922 o matemático russo Alexander Alexandrovich Friedmann abriu caminho para a noção de que o Universo teria tido um início ao propor uma solução cosmológica das equações da teoria relativística da gravitação (ou teoria da relatividade geral) na qual o raio do Universo variava com o tempo, ou seja, havia a possibilidade do Universo sofrer uma expansão ou contração. O termo “contração” aponta para um modelo de Universo com um início. O trabalho de Friedmann, entretanto, teve pouco impacto e suas ideias seriam novamente apresentadas por outros autores alguns anos mais tarde.

Em 1927 o padre católico belga Georges Lemaître publicou na revista científica “Annales de la Société Scientifique de Bruxelles” um artigo com o título “Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques” (Um Universo homogêneo de massa constante e raio crescente explicando a velocidade radial das nebulosas extragalácticas), no qual apresentava novamente a ideia já proposta anteriormente por Friedmann de que o raio do Universo variava com o tempo. Ambos os trabalhos foram muito pouco divulgados e, embora Einstein tivesse conhecimento de ambos, manteve-se fiel à ideia de que o Universo era estático ou melhor, tinha um raio constante no tempo.

Em 1930 o astrofísico inglês Arthur Eddington publicou na revista científica inglesa “Monthly Notices of the Royal Astronomical Society” um longo comentário sobre o artigo escrito por Lemaître em 1927. Em 1931 o artigo original de Lemaître foi publicado, de forma resumida, na Inglaterra juntamente com a resposta de Lemaître aos comentários feitos por Eddington.

Lemaître foi então convidado a participar, em Londres, de um encontro que debateria a possível relação existente entre o Universo físico e a espiritualidade (Lemaître era padre). Foi nesse encontro que Lemaître, ao apresentar a ideia de que o Universo se expandia, propôs que ele teria começado a partir de um “átomo primordial”, que teria dado origem a tudo que existe hoje no Universo.

George Lemaître (1894 - 1966).



Logo em seguida a esse encontro, Lemaître publicou na conceituada revista científica inglesa *Nature* um artigo (Lemaître, G. “The beginning of the world from the point of view of quantum theory.”, *Nature* (9 maio 1931) vol. 127, pág. 706) no qual desenvolvia sua “teoria do átomo primordial”. Nesse artigo Lemaître propunha que um evento de criação do Universo deveria ter ocorrido em um determinado momento. Segundo Lemaître, o Universo primordial seria muitíssimo denso, algo semelhante a um “grande núcleo atômico radioativo”. Esse núcleo cósmico, ou átomo primordial, teria explodido e lançado os fragmentos que mais tarde se tornaram as galáxias. Em suas próprias palavras “o Ovo Cósmico explodindo no momento da criação”.

Por esse motivo, a origem cósmica, que havia sido chamada inicialmente por Lemaître de “átomo primordial” logo passou a ser conhecida por vários outros nomes, entre eles “ovo cósmico” e “big squeeze” (“squeeze” significa aperto, esmagamento, compressão).

Vemos então que foi o padre católico belga George Lemaître o primeiro cientista a propor o que mais tarde viria a ser chamado de “Teoria do Big Bang” da origem do Universo, embora sem usar esse título para a sua teoria.

GEORGE GAMOW

George Gamow nasceu no dia 4 de março de 1904 na cidade de Odessa, na época pertencente ao Império Russo e hoje parte da Ucrânia. Seu nome original era Georgiy Antonovich Gamov.

Gamow iniciou sua formação científica na Universidade de Leningrado sob a supervisão do famoso cosmólogo Alexander Friedmann. Ele também estudou na Universidade de Göttingen, Alemanha, na época um dos principais centros científicos do mundo. Mais tarde Gamow trabalhou no Instituto de Física Teórica da Universidade de Copenhague, Dinamarca, e por um pequeno tempo com o físico neozelandês Ernest Rutherford no Cavendish Laboratory, em Cambridge, Inglaterra.

Até 1933 Gamow trabalhou na Rússia, quando então fugiu para o ocidente pedindo asilo político nos Estados Unidos em 1934, naturalizando-se norte-americano em 1940, passando a usar o nome pelo qual é mais conhecido, George Gamow.

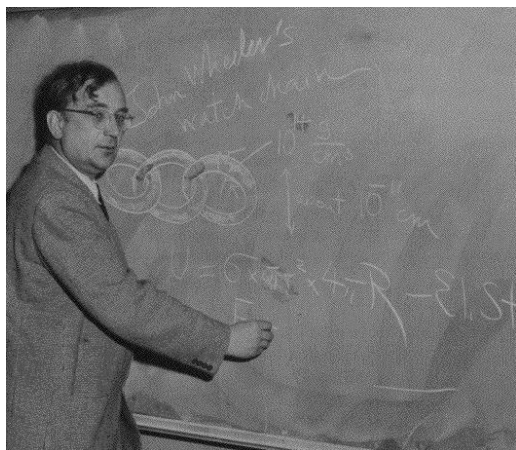
Durante sua permanência nos Estados Unidos, na George Washington University, Gamow produziu importantes artigos científicos em parceria com renomados físicos da época tais como Edward Teller, o pai das bombas de fissão e fusão dos Estados Unidos, o brasileiro Mario Schönberg e o norte-americano Ralph Alpher.

Gamow realizou importantes descobertas e trabalhos fundamentais que se espalham por vários campos da física e astrofísica. Deve-se a ele a descoberta do decaimento alfa via tunelamento quântico, além de trabalhos fundamentais sobre o decaimento radioativo dos núcleos atômicos, formação estelar, nucleossíntese estelar, nucleossíntese no Big Bang e cosmologia.

A COSMOLOGIA DE GEORGE GAMOW

Um dos mais importantes trabalhos apresentados por George Gamow foi desenvolvido em colaboração com seu estudante Ralph Alpher. Esse trabalho, “The Origin of Chemical Elements” foi publicado na revista científica *Physical Review* (Phys. Rev., abril 1, 1948) e é considerado fundamental no estudo de como podemos explicar os atuais níveis dos elementos químicos hidrogênio e hélio no Universo.

Poucos físicos tinham interesse nas observações astronômicas durante os anos das décadas de 1930 e 1940. A expansão observada do Universo levava



George Gamow (1904 - 1968).



George Gamow morreu no dia 19 de agosto de 1968 em Boulder, Colorado, Estados Unidos

alguns cientistas, tal como Lemaître, a acreditar que o universo poderia ter tido um começo de existência a partir de uma “sopa” densa e quente de partículas onde estavam misturados prótons, nêutrons e elétrons. Mas isso era considerado “esotérico” demais por muitos cientistas da época.

Havia, entretanto, um outro problema. As estrelas são constituídas essencialmente de hidrogênio (~75%) e de hélio (~25%). Como o material que forma as estrelas (e, obviamente, as galáxias) poderia ter sido criado a partir de reações nucleares que ocorreram nessa “sopa” primordial de partículas? Era necessário ou encontrar o processo físico que deu origem a esses elementos ou descartar a teoria de uma “sopa” primordial de partículas na origem do Universo.

Na década de 1940, Gamow se interessou pelo problema. Entender a existência do hidrogênio a partir da “sopa” primordial de partículas era fácil: os elétrons e prótons teriam se combinado formando os átomos de hidrogênio. Mas, como o hélio, que existe em grande quantidade no Universo, teria sido formado?

Gamow, na época trabalhando na George Washington University, nos Estados Unidos, deu a seu aluno Ralph Alpher a tarefa de elaborar os detalhes de como o hélio poderia ter sido formado a partir de prótons e nêutrons existentes nessa “sopa” primordial densa e quente.

Gamow e Alpher chegaram à conclusão de que era, de fato, possível produzir uma mistura de 75% de hidrogênio e 25% de hélio a partir da “sopa” primordial. No entanto, eles perceberam que à medida que o Universo expandia e ficava rarefeito, sua energia diminuía o que fazia com que as reações nucleares fossem se tornando cada vez mais raras. Rapidamente a taxa de reações nucleares chegaria a zero, implicando que elementos químicos, com estruturas mais complicadas, não pudessem ser fabricados a partir dessa “sopa” inicial.

Gamow não se preocupou com essa aparente falha na capacidade de produzir todos os elementos químicos conhecidos durante o processo de criação do Universo, justificando que estava bastante satisfeito em saber que mais de 99% da matéria visível do Universo, que percebemos na forma de estrelas e galáxias, foi criada nos momentos iniciais do Universo.

Os detalhes do trabalho de Gamow e Alpher foram publicados em um artigo na revista científica norte-americana *Physical Review*. Mantendo sua característica brincalhona, Gamow acrescentou como autor do trabalho o físico Hans Bethe, à revelia desse último. Esse artigo fundamental sobre a formação dos elementos leves no início do Universo ficou sendo conhecido como o “artigo alpha, beta, gama” devido às iniciais dos nomes de Alpher, Bethe e Gamow.

Este artigo forneceu o suporte teórico à ideia de que o Universo havia sido formado a partir de uma “sopa” densa e quente formada por partículas, teoria essa que mais tarde seria chamada de “teoria do Big Bang”. Entretanto, Gamow só conseguia explicar a abundância dos elementos mais leves existentes no Universo, mas que constituem cerca de 99% de toda a matéria existente nele. A abundância dos elementos químicos mais pesados do que o hélio que encontramos no Universo somente foi explicada na década de 1950 pelo astrofísico inglês Fred Hoyle.

Gamow e seus colaboradores se referiam ao estado denso e quente do Universo primordial como sendo o “grande esmagamento” (big squeeze). Ele também se referia à substância densa que formava o Universo primordial como “ylem”, significando o material original a partir do qual os elementos químicos foram feitos. Esse termo não foi amplamente adotado e, como veremos mais tarde, o termo “big squeeze” acabou sendo substituído por “Big Bang”, criado pelo astrofísico inglês Fred Hoyle.



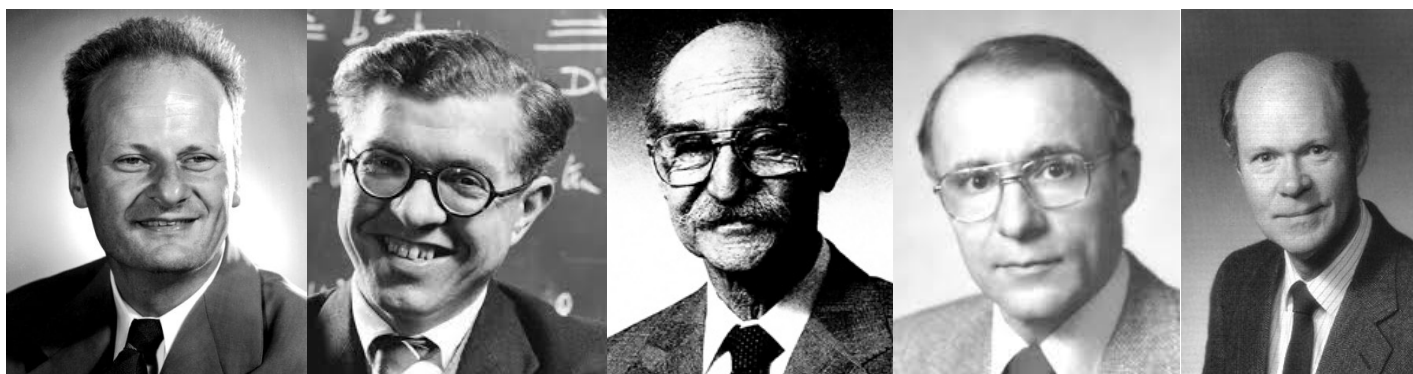
Ralph Asher Alpher (1921 - 2007).

PREVENDO A RADIAÇÃO DE FUNDO

O processo físico que deu origem ao Universo necessariamente ocorreu a uma temperatura extremamente alta. Os cálculos realizados por Gamow e Alpher mostravam que a proporção de hélio produzido a partir da “sopa” cósmica inicial dependia da temperatura da “bola de fogo primitiva”, como era então chamada, a partir da qual o Universo se formou. No entanto, as equações da teoria relativística da gravitação mostram que a temperatura da radiação inicial diminuiu à medida que o Universo se expande. Era preciso, portanto, calcular qual seria a temperatura que o Universo deveria ter nos seus momentos iniciais de forma a se ajustar às observações de que as estrelas contêm 25% de hélio. O grupo de pesquisadores de Gamow tinha, portanto, que determinar de modo bem preciso qual seria a temperatura inicial do Universo para que esse percentual fosse obtido.

George Gamow fez, então, a previsão de que existiria em todas as partes do Universo uma radiação cósmica de fundo, resultado do próprio processo violento de criação do Universo. Em 1948, Gamow e Robert Herman, também seu aluno, publicaram um artigo no qual calculavam a temperatura desta radiação, que havia sido deixada como resíduo após a formação do Universo e que deveria permeá-lo completamente. Eles calcularam que, hoje, essa radiação deveria ter uma temperatura de cerca de 5 graus na escala absoluta de temperaturas, ou escala Kelvin (5 graus acima do zero absoluto). Isso corresponde ao valor de -268°C .

Gamow também dizia que, devido à expansão do Universo, essa radiação primordial teve seu comprimento de onda modificado. Como consequência disso, a frequência dessa radiação primordial estaria agora na região de microondas do espectro eletromagnético. Por esse motivo ela é chamada de “radiação de fundo de microondas”.



Hans Bethe (1906 - 2005), Fred Hoyle (1915 - 2001), Robert Herman (1914 - 1997), Arno Penzias (1933-) e Robert Woodrow Wilson (1936 -).

Por estar atualmente na região de microondas (parte da região radio do espectro eletromagnético), a radiação de fundo poderia ser detectada pelos radiotelescópios. Mas, na época em que Gamow propôs sua teoria, a radioastronomia ainda estava dando seus primeiros passos e Gamow não notou que, na verdade, era possível medir esse fundo de microondas. A detecção dessa radiação primordial seria uma forte evidência a favor da teoria do “Big Bang”.

Somente em 1964 é que os físicos norte-americanos Arno Penzias e Robert Wilson mediram, acidentalmente, o valor da temperatura da radiação cósmica de fundo chegando ao resultado de 2,7 Kelvin.

A descoberta da radiação de fundo de microondas, postulada pela teoria do Big Bang, mudou a visão dos físicos em relação a essa teoria. Aliás, mudou a visão que os físicos tinham do estudo da Cosmologia.

Vemos, portanto, que Gamow e seu grupo de pesquisa, fez a previsão de que o Universo deveria estar preenchido com radiação que foi deixada como resíduo de seu processo de formação e que teria esfriado até um valor que hoje sabemos ser próximo a cerca de 2,7 K como consequência da expansão do Universo.

MAS, AFINAL, O QUE É O “BIG BANG”?

Essa é, talvez, a primeira pergunta feita por aqueles que se interessam pelo estudo do Universo. Causa um grande efeito começar um discurso sobre cosmologia dizendo que o Universo foi formado a partir de uma grande explosão, um “Big Bang”, que o Big Bang criou as galáxias, que no Big Bang tivemos a origem do tempo, etc. Ocorre que o termo “Big Bang” é usado de forma abusiva, e na maioria das vezes errada.

E qual é a dificuldade com esse termo? Porque ele dá margem a tantas interpretações erradas?

O TIRO QUE SAIU PELA CULATRA

O físico inglês Fred Hoyle era um forte crítico da teoria que defendia um processo de criação para o Universo. Ele havia proposto uma teoria alternativa na qual o Universo permanecia estático. Essa era a “teoria do Estado Estacionário”, uma teoria concorrente àquela que dizia que o Universo tivera uma origem.

O termo foi usado novamente por Hoyle em outras entrevistas radiofônicas no início dos anos da década de 1950, quando ele participou de uma série de cinco palestras com o título “The Nature of Things” (“A Natureza das Coisas”). O texto correspondente a cada uma dessas palestras foi publicado na revista “The Listener” uma semana após o programa ter ido ao ar. Essa foi a primeira vez que o termo “big bang” apareceu impresso.

Ao contrário do que Hoyle pretendia, o nome “Big Bang” passou a ser associado à teoria criada por Georges Lemaître que postulava um momento de criação para o Universo.

UM NOME ERRADO (?)

O termo “Big Bang”, ou “Grande Explosão”, traz ao público uma ideia muitas vezes errada sobre o que essa teoria propõe. Se, por um lado, o termo “Big Bang” parece sintetizar o conceito de Universo em expansão, por outro lado seu uso, sem o devido cuidado, leva a erros abomináveis.

Não houve uma “explosão” (no sentido usual da palavra) que deu origem ao Universo. Entendemos bem o conceito do que é uma explosão por vê-la ocorrer no espaço tridimensional onde existimos. Uma explosão é a liberação violenta de energia por um processo súbito. Como a formação do Universo teria ocorrido com a violenta liberação de uma quantidade anormalmente grande de energia de modo súbito, o nome “grande explosão” pode ser associado, de certo modo, a esse processo. No entanto, é preciso que fique claro que o nome “grande explosão” (“Big Bang”) não tem absolutamente nenhuma outra relação com o processo comum de explosão que conhecemos no dia-a-dia. No caso comum uma explosão é um processo químico que ocorre no interior de um espaço tridimensional. No caso do Big Bang essa “explosão” é extremamente especial, um processo de súbita liberação de energia que dá origem ao espaço e ao tempo. O Big Bang não ocorre dentro de um espaço tridimensional. Ele cria o espaço-tempo.

UM COMEÇO PARA O UNIVERSO

Considerando que a observação das galáxias tem sido interpretada pelos astrônomos como a indicação de que o Universo se expande, podemos pensar que essa expansão teve início em algum momento no passado. Isso pode nos levar a pensar que o Universo começou a se expandir a partir de um determinado volume inicial. Isso não é correto, pois não existe nada que nos induza a pensar que

CURIOSIDADE:

No dia 28 de março de 1949, Hoyle, ministrando uma palestra no BBC Third Programme da rede de rádio e televisão inglesa BBC, e usando sua maneira sarcástica de criticar, ironizou a teoria da criação do Universo referindo-se a ela como “esta ideia de Grande Explosão” (“this ‘big bang’ idea”).

a matéria existente no Universo já ocupava um determinado volume, embora permanecendo com um comportamento estático, e que a partir de algum momento esse espaço-tempo que formava o volume inicial começou a se expandir.

Somos então levados a pensar que, voltando no tempo, em um determinado momento toda a matéria existente no Universo (qualquer que seja o estado em que ela se encontrava) estava concentrada não em um volume inicial, mas em um único ponto. Isso quer dizer que teríamos um local onde o raio do Universo seria nulo, fazendo com que o seu volume também fosse nulo. Ao mesmo tempo, a densidade da matéria localizada nesse ponto (densidade é igual a massa dividida pelo volume) tenderia ao infinito! Esta seria uma situação completamente não usual. Dizemos então que esse ponto onde toda a matéria do Universo estaria concentrada é uma **singularidade** do espaço-tempo.

Vemos então que a expansão observada do Universo implica que ele se originou de uma singularidade, um ponto de densidade infinita. A singularidade não existia **dentro** do Universo. A singularidade era o Universo.

O problema é que a Física odeia singularidades! Isso se deve ao fato que as leis usuais da física não são válidas em situações onde os parâmetros físicos tendem para o infinito. Assim, não sabemos determinar as propriedades dos parâmetros físicos na singularidade que formou o Universo.

ASSISTINDO O “COMEÇO” DO UNIVERSO

Comumente vemos filmes onde o “Big Bang” é representado por um ponto que explode sobre um fundo escuro. Essa representação é absolutamente errada! Como já foi dito acima, a singularidade é o Universo mais primordial e é a expansão dessa singularidade que dá origem ao Universo atual. Os filmes mostram a singularidade explodindo dentro de algo que já existe, no caso um fundo escuro, que podemos ser levados a interpretar como sendo o espaço infinito. Isso seria correto se o Universo já existisse e uma singularidade, ao explodir, desse origem ao seu conteúdo material.

Não é o caso. É a singularidade que, ao “explodir” (se quiser usar esse termo) dá início ao processo de criação e a expansão contínua que observamos hoje.

Mas, como representar o “nada”? Se o Universo é o “todo” e esse “todo” era uma singularidade, como representá-lo? Como representar algo “singular” com “nada” à sua volta?

É importante sublinhar que toda a descrição acima diz respeito à chamada “Teoria do Big Bang”. Até o momento essa tem sido a teoria aceita pela maioria dos astrônomos, mas ela é uma teoria. As observações astronômicas têm mostrado, até agora, que a descrição do Universo feita pela teoria do Big Bang é a mais correta. Os dados observacionais se ajustam bem ao que é previsto pela teoria. Existem muitas teorias, baseadas na ideia de um “Big Bang”, que tentam descrever esses instantes iniciais, mas nenhuma delas pode ser considerada como a **teoria correta**.

UMA EXISTÊNCIA FINITA

Outra conclusão que decorre da aceitação da “Teoria do Big Bang” é o fato de que o Universo passa a ter uma idade finita. Se considerarmos que o Big Bang é o início de tudo, o começo do espaço e do tempo, podemos concluir que o Universo teve uma “data de nascimento”. Ele pode, então, ser infinito no espaço, mas sempre será finito no tempo.

A teoria do Big Bang aceita implicitamente que o Universo teve um início, mas em momento algum ela “prova” que o tempo foi criado no mesmo momento da criação do espaço. Esse é um problema extremamente complexo que



Simulação do possível “Big Bang”.

tem sido rapidamente abordado por alguns físicos, mas que ainda está além da fronteira do nosso conhecimento. Para decidirmos se o tempo foi criado junto com o espaço ou se o tempo sempre existiu, seria preciso primeiro entender muito bem o que é o tempo. O tempo é e continuará a ser, por muito tempo ainda, uma imensa “pedra” no sapato dos cosmólogos.

Críticas à Teoria do Big Bang

Muitas vezes da ciência se levantaram contra a teoria do Big Bang, quase sempre em função de sua proposta de começo para o Universo. Um dos importantes críticos dessa teoria foi o físico sueco Hannes Alfvén, prêmio Nobel de física em 1970, que considerava o Big Bang um “*mito científico inventado para explicar a criação religiosa*”. Alfvén dizia que “*Não há razão racional para duvidar que o Universo tenha existido indefinidamente, ao longo de um tempo infinito. É apenas um mito as tentativas de dizer como o Universo passou a existir, ou a 4 mil ou a 20 bilhões de anos*”.

IMPLICAÇÕES FILOSÓFICAS E TEOLÓGICAS DE UM COMEÇO PARA O UNIVERSO

A ideia de que o Universo teve um momento de criação está na base de muitos escritos antigos, em particular na chamada Bíblia Sagrada. Ao mesmo tempo, a ideia de que o Universo é eterno, ou seja, sempre existiu e não passou por qualquer ato de criação também está presente em religiões e filosofias que têm suas origens em épocas bastante remotas (algumas filosofias são recentes).

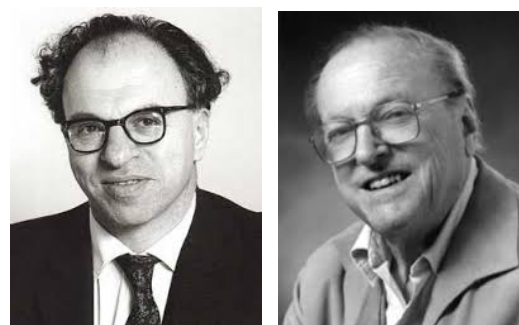
Durante os anos entre 1920 e 1930, quando ainda não se tinha observado que o Universo se expandia, quase todos os físicos interessados em cosmologia apoiavam a ideia de um Universo Eterno, ou seja, um Universo sem início. Até mesmo Albert Einstein aceitava esse pensamento como fundamental. No entanto, em 1922 o russo Alexandre Friedmann obteve a primeira solução matemática cosmológica das equações da teoria relativística da gravitação que mostravam a possibilidade do Universo estar em expansão.

A discussão se o Universo teve ou não um início, questão extremamente polêmica, só tomou bases científicas a partir da verificação observacional de que o Universo se expandia, feita por Willem de Sitter, ratificada por Edwin Powell Hubble e finalmente pelo físico belga Georges Lemaître, ao que chamou de “átomo primordial”. Mais tarde essa ideia foi alimentada e defendida pelo físico ucraniano (naturalizado norte-americano) George Gamow.

MAS, PORQUE A POLÊMICA EM TORNO DA “TEORIA DO BIG BANG”?

Embora sendo uma teoria estritamente científica, e, portanto, continuamente submetida a testes observacionais que visam ou confirmá-la ou mostrar que ela é errada, essa teoria mexe com algo que sempre esteve ligado ao meio religioso ou filosófico: a criação do Universo.

Muitos cientistas viram a ideia de um começo para o Universo com grande desconfiança. Para eles aceitar um começo do espaço e do tempo significava trazer para a física conceitos religiosos que deveriam permanecer fora da ciência. Mais ainda, a ideia original de uma teoria física que justificava um começo para o Universo foi apresentada por um padre da Igreja Católica Romana, Monsenhor Georges Lemaître. Isso levantou suspeitas em vários meios filosóficos, notadamente grupos ateus ou marxistas, que viam com suspeita esse “casamento” entre um padre e a apresentação de ideias sobre a criação do



Hannes Alfvén (1908 - 1995), Herman Bondi (1919 - 2005) e Thomas Gold (1920 - 2004).

32

Por que o céu é escuro à noite?

Universo. Como alguns livros religiosos, em particular a Bíblia, apresentava ideias sobre a criação do mundo, esses críticos viram a sugestão de Lemaître com suspeita, achando que ela era, meramente, uma tentativa de dar caráter científico a postulados religiosos.

Quando surgiu a chamada “Teoria do Estado Estacionário”, criada pelos físicos Herman Bondi e Thomas Gold e mais tarde defendida e ampliada pelo físico inglês Fred Hoyle, e que concorria com a Teoria do Big Bang quanto à melhor descrição do Universo, críticas desse tipo (mistura da religião com a física) ficaram ainda mais evidentes. Os defensores da Teoria do Estado Estacionário acusavam abertamente os defensores da Teoria do Big Bang de proporem uma teoria com o escancarado propósito de se adaptarem a preceitos religiosos.

POR QUE O CÉU É ESCURO À NOITE?



Aglomerado de galáxias Virgo.

A imagem acima mostra o aglomerado de galáxias de Virgo. O que mais nos chama a atenção nesta imagem? Veja que os pontos luminosos, que são imagens de galáxias e estrelas existentes no campo fotografado, estão bastante espaçadas. Vemos nela o domínio do espaço vazio.

Esta imagem é bastante semelhante ao céu noturno que observamos a olho nu no nosso dia a dia. O céu é escuro, salpicado por inúmeros pontos luminosos.

Mas, por que o céu é escuro?

Esta pergunta foi feita há muitos anos por vários pensadores. Ela foi proposta por Johannes Kepler em 1610, por Edmond Halley e Jean de Chéseaux no século XVIII, e finalmente por Heinrich Olbers em 1826.

Embora perguntar por que o céu é escuro à noite possa parecer uma questão simples ela não o é e sua resposta nos leva a concluir coisas bastante profundas sobre o Universo.

O PARADOXO DE OLBERS

Uma das primeiras pessoas que questionou formalmente a escuridão do céu noturno foi o astrônomo e matemático suíço Jean Philippe Loys de Chéseaux. Isso ocorreu em Lausanne, Suíça, em 1744.

Chéseaux formulou a seguinte questão:

“Por que o céu é escuro? Se o número de estrelas é infinito, um disco estelar deveria cobrir todos os trechos do céu”

Chéseaux tentou resolver o problema argumentando que uma pequena diminuição na luz emitida pelos corpos celestes seria suficiente para resolver o problema.

Ocorre que esta explicação não é correta. Vamos supor que a luz emitida pelas estrelas fosse suficientemente absorvida por algum tipo de matéria existente entre elas e nós. Isto necessariamente faria com que essa matéria fosse aquecida e, conseqüentemente, emitisse luz na mesma taxa na qual ela foi absorvida. Isto é garantido pelo princípio de conservação de energia e é este processo que faz com que o céu fique brilhante durante o dia pois a luz solar incidente sobre a nossa atmosfera é espalhada pelas moléculas de ar ou gotas de água lá existentes. O processo descrito por Chéseaux faria o céu ser brilhante o tempo todo.

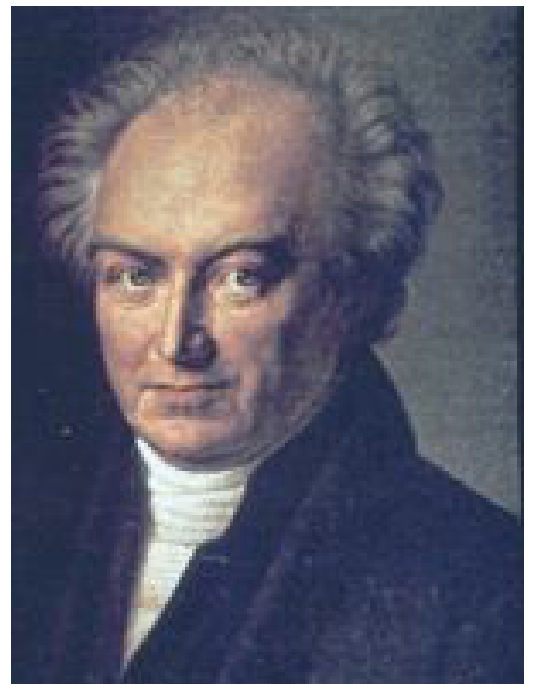
Muitos anos mais tarde o assunto chamou a atenção de Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers (1758 - 1840), um astrônomo alemão que, após praticar a medicina durante o dia, dedicava o seu tempo noturno à astronomia. Esse trabalho observacional fez com que ele descobrisse o asteroide Pallas no dia 28 de março de 1802 e o asteroide Vesta no dia 29 de março de 1807.

Olbers colocou o problema da seguinte forma:

Por que o céu é escuro à noite? A intensidade da luz diminui com o quadrado da distância ao observador. Se a distribuição das estrelas é uniforme no espaço, então o número de estrelas situadas a uma distância particular ao observador deveria ser proporcional à área superficial de uma esfera cujo raio é aquela distância. Para cada raio, por conseguinte, a quantidade de luz deve ser tanto proporcional ao quadrado do raio e inversamente proporcional ao quadrado do raio. Estes dois efeitos se cancelarão e deste modo toda concha deve adicionar a mesma quantidade de luz. Em um universo infinito o céu seria infinitamente brilhante.



- Jean Philippe Loys de Chéseaux (1758 - 1840).



Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers (1758 - 1840).

Podemos colocar os argumentos acima de forma mais clara:

Se o Universo fosse estático e preenchido com uma distribuição uniforme de estrelas, então cada linha de visada no céu terminaria em uma estrela e, conseqüentemente, o céu seria uniformemente brilhante.

ou então:

Se o Universo fosse infinitamente grande o céu inteiro seria tão brilhante quanto a superfície de uma estrela.

Vemos que os raciocínios desenvolvidos por Jean de Chéseaux e Heinrich Olbers nos fazem imaginar um céu tão brilhante, ou mais brilhante, que o Sol!

Ocorre que qualquer um que olhe para o céu noturno vê que isso não acontece. O céu noturno é absolutamente negro, pontilhado por muitas estrelas, mas de modo algum exageradamente brilhante.

O QUE HAVIA DE ERRADO?

Resolvendo o paradoxo

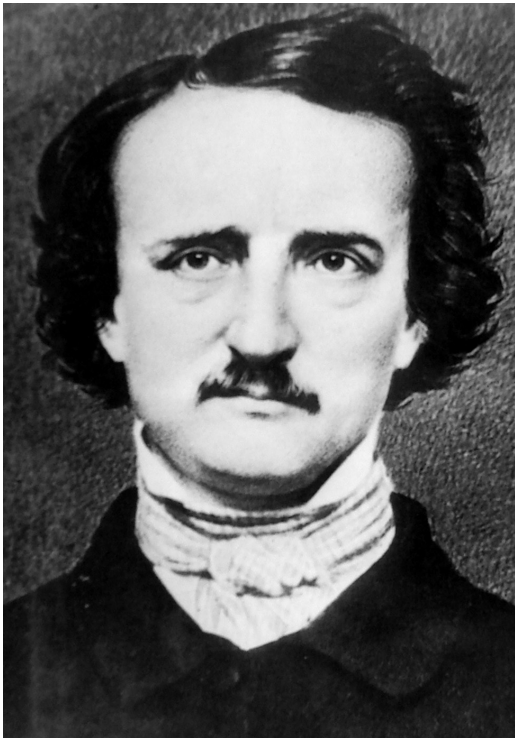
Desde os anos de 1600 astrônomos e filósofos propuseram muitas maneiras possíveis de resolver este paradoxo. Como era de se esperar, todas as análises feitas no passado só podiam se basear nos conceitos cosmológicos predominantes. Por exemplo, em 1848 o poeta Edgar Allan Poe, um dos grandes nomes da literatura norte-americana, sugeriu uma saída para o impasse. Ele propôs que o universo poderia ser infinitamente grande mas com uma idade *finita*. Se fosse assim, uma vez que nós ainda não recebemos luz das estrelas mais distantes haveria intervalos entre as estrelas visíveis e, deste modo, o céu poderia aparecer escuro.

A solução padrão atualmente aceita depende de concordarmos com a **teoria do Big Bang**, que indica que o universo tem uma idade finita e está se expandindo.

- se o universo existe por somente uma quantidade finita de tempo, como a teoria do Big Bang postula, então somente a luz proveniente de um número bastante grande mas finito de estrelas teria tido a chance de nos alcançar até o momento. Deste modo, o paradoxo é destruído.
- se o universo está se expandindo e as estrelas distantes estão se afastando de nós, o que é uma previsão fundamental da teoria do Big Bang, então a luz proveniente delas é deslocada para o vermelho (redshift) o que diminui o seu brilho. Outra vez o paradoxo está resolvido.

Note que ambos os efeitos citados acima podem, isoladamente, contribuir para a resolução do paradoxo. No entanto, de acordo com a teoria do Big Bang, ambos contribuem para a solução sendo que a duração finita da história do Universo é usualmente julgada como o efeito mais importante dos dois.

Em muitos textos de cosmologia é dito que a escuridão do céu noturno fornece uma confirmação da teoria do Big Bang. No entanto, isso não deve ser aceito, pois parece a cobra mordendo o próprio rabo: a teoria do Big Bang é usada para explicar porque o céu noturno é escuro e em seguida diz-se que o céu escuro confirma o Big Bang!



Edgar Allan Poe (1809 - 1849).

A RADIAÇÃO DE FUNDO: UMA DESCOBERTA ACIDENTAL...E MUITO IMPORTANTE

33

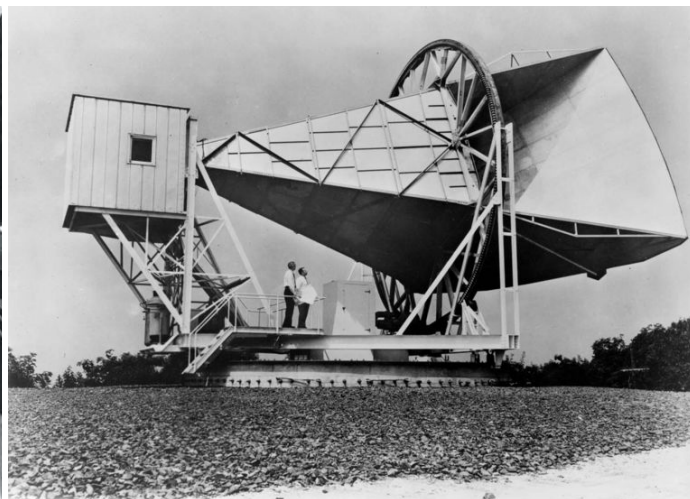
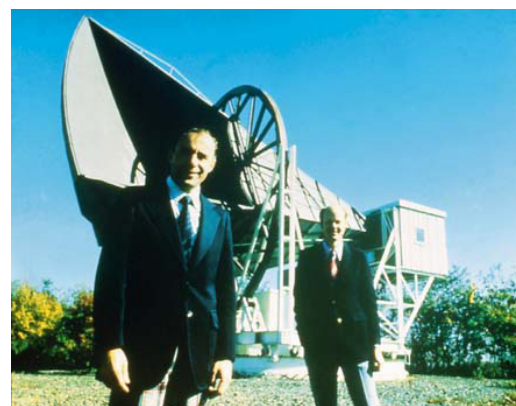
A radiação de fundo: uma descoberta acidental...e muito importante

Em 1964 dois radioastrônomos norte-americanos Arno A. Penzias e Robert W. Wilson fizeram uma descoberta acidental que revelou ser da maior importância para a confirmação de que o Universo teve uma origem. Os dois cientistas estavam estudando uma antena usada em satélites de comunicações da companhia norte-americana AT & T Bell Laboratories, localizada na pequena cidade de Holmdel em New Jersey, Estados Unidos. O objetivo de Penzias e Wilson era estudar o ruído rádio que chegava do espaço neste lugar rural tão quieto. A imagem ao lado mostra os cientistas Penzias (à direita), Wilson e a antena utilizada.

Para melhorar a qualidade das comunicações os cientistas têm que procurar meios de suprimir ruídos espúrios (falsos) que chegam às antenas. Às vezes suprimir os ruídos não é possível e então só cabe aos cientistas reduzir o máximo possível o seu nível. O ruído rádio é usualmente expresso em termos de uma temperatura, pois ele é causado pelo movimento irregular de elétrons. Quanto mais alta é a temperatura, mais violento é o movimento desses elétrons e maior é o ruído. Deste modo há uma relação bem definida entre nível de ruído e temperatura. Por exemplo, a temperatura na superfície da Terra é cerca de 300 Kelvin e, portanto, o nível de ruído é também de cerca de 300 K.

A antena usada por Penzias e Wilson era um instrumento de grande sensibilidade. Ela tinha a forma de um chifre deitado com a sua parte mais larga servindo de abertura principal. As duas imagens abaixo mostram detalhes dessa antena (Penzias à direita e Wilson à esquerda).

Quando a antena apontava para o céu os 300 K de ruído de fundo somente produziam um nível de 0,3 K na antena, o que é muito baixo se compararmos com o nível de 20-30 K que obtemos em radiotelescópios.



As três fotografias acima mostram momentos de Wilson e Pensias na antena de comunicação.

Em maio de 1964, Penzias e Wilson começaram a usar essa antena para medir o ruído que vinha do zênite. O resultado foi o valor de 6,7 K. Após retirar a absorção feita pela atmosfera e o efeito da própria antena, eles ainda obtiveram o valor de 3,5 K vindo do zênite, o que era elevado demais. Penzias e Wilson tentaram de todos os modos reduzir esse valor, mas não conseguiram. Mais tarde eles verificaram que esse valor elevado de ruído vinha não apenas quando a antena estava apontada para o zênite mas também quando ela estava apontada em outras direções no céu. Isso acontecia até mesmo em diferentes estações do ano.

Penzias e Wilson não perceberam o significado da descoberta que haviam feito. Somente mais tarde, quando o físico Dicke e seus colaboradores da Princeton University disseram a eles que essa era uma das principais pesquisas que

o grupo de Princeton estava realizando nessa universidade, é que ficou claro para Penzias e Wilson que os 3,5 K não estavam sendo produzidos na superfície da Terra, nem no Sistema Solar e nem por qualquer radio fonte particular. Ele devia ser, portanto, uma radiação difusa que permeava todo o espaço, todo o universo, uma **radiação de fundo**.

Imediatamente Penzias e Wilson publicaram um artigo apresentando suas medições ao lado de um artigo de Dicke e colaboradores que interpretavam essas medidas como sendo uma radiação de fundo que permeava todo o Universo, resquício do Big Bang. Curiosamente, o nome de George Gamow, que havia sido o primeiro a postular a existência dessa radiação de fundo como resultado de um começo quente para o Universo, não foi citado em nenhum dos dois artigos.

A descoberta da **radiação de fundo** só é comparável em importância à descoberta da recessão das galáxias, que foi descoberta pelo astrônomo norte-americano Vesto Melvin Slipher em 1912, e acabou sendo atribuída somente a Edwin Hubble.

As primeiras medições de Penzias e Wilson foram feitas em 4080 MHz ou 7,35 centímetros. Subsequentemente foi realizada uma série de medições no intervalo de comprimento de onda entre 0,3 e 75 centímetros. Para comprimentos de onda maiores do que 100 centímetros a radiação de frequência ultra-alta e forte proveniente da nossa Galáxia encobre qualquer emissão extragaláctica e não podem ser feitas medições.

Para comprimentos de onda mais curtos do que 3 centímetros a radiação proveniente da atmosfera da Terra provoca problemas e as observações só podem ser feitas no topo de montanhas. Além disso, a radiação proveniente de fora da Terra só pode ser recebida por meio de certas “janelas” atmosféricas estreitas em 0,9 centímetros, 0,3 centímetros etc. Para intervalos mais curtos do que 0,3 centímetros tais “janelas” estão ausentes e as medições somente podem ser obtidas por equipamentos a bordo de balões de alta altitude ou então a bordo de foguetes e satélites.

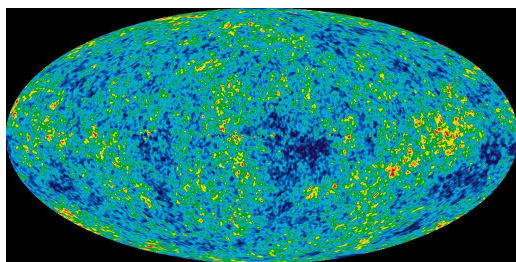
O valor obtido primeiramente por Penzias e Wilson foi de 3,5 K com um erro considerável. Medições posteriores se aproximaram de 2,7 K. Hoje a temperatura de radiação de fundo comumente aceita é de 2,725 K. Ela está na região de microondas e, por esse motivo, também é chamada frequentemente de **radiação de fundo de microondas**.

A RADIAÇÃO DE FUNDO DE MICROONDAS CÓSMICA

Já vimos que o fundo de microondas cósmico é uma previsão da teoria do Big Bang. Sua existência havia sido prevista em 1948 por George Gamow e Ralph Alpher e por Alpher e Robert Herman. Alpher e Herman foram capazes de estimar que a temperatura desse fundo de microondas cósmico deveria ser de 5 K. Dois anos mais tarde eles recalcularam o valor dessa temperatura como sendo de 28 K.

Segundo a teoria do Big Bang, o universo primordial era formado por um plasma quente de fótons, elétrons e bárions. Os fótons estavam constantemente interagindo com o plasma. À medida que o Universo se expandia o esfriamento adiabático fez o plasma esfriar até que ficou favorável para os elétrons se combinarem com os prótons e formarem os átomos de hidrogênio. Isso aconteceu por volta de 3000 K ou quando o Universo tinha aproximadamente 379000 anos de idade.

Neste momento, os fótons começaram a viajar livres pelo espaço. Este processo é chamado de **recombinação** ou **desacoplamento**. Esses nomes se referem, respectivamente, a dois fatos que aconteceram nessa época no universo:



Mapa da distribuição da radiação de fundo cósmico no Universo.

os elétrons se recombinaram com os núcleos e houve o desacoplamento da matéria e da radiação.

Desde então os fótons continuaram a esfriar. Eles agora têm a temperatura de 2,725 K. Sua temperatura continuará a diminuir enquanto o universo estiver expandindo. Do mesmo modo, a radiação proveniente do céu que nós medimos hoje vem de uma superfície esférica, chamada **superfície de último espalhamento**. Esta esfera representa a reunião de pontos no espaço (atualmente a cerca de 46 bilhões de anos-luz da Terra) na qual o evento de desacoplamento ocorreu há muito tempo (há menos de 400000 anos após o Big Bang ou melhor, há 13,7 bilhões de anos) e que a luz daquela parte do espaço está alcançando os observadores exatamente agora.

A teoria do Big Bang sugere que o fundo de microondas cósmico preenche todo o espaço observável e que a maior parte da energia radiante no universo está nesse fundo de microondas cósmico. Esse fundo constitui uma fração de aproximadamente 5×10^{-5} da densidade total do Universo.

Dois dos maiores sucessos da teoria do Big Bang são a previsão do seu espectro de corpo negro quase perfeito e sua detalhada previsão das anisotropias no fundo de microondas cósmico. Como veremos abaixo isso foi detectado com enorme sucesso pelos satélites norte-americanos COBE e WMAP.

A radiação de fundo de microondas cósmico e o “redshift” cosmológico são, juntos, considerados como as melhores evidências que dispomos a favor da teoria do Big Bang.

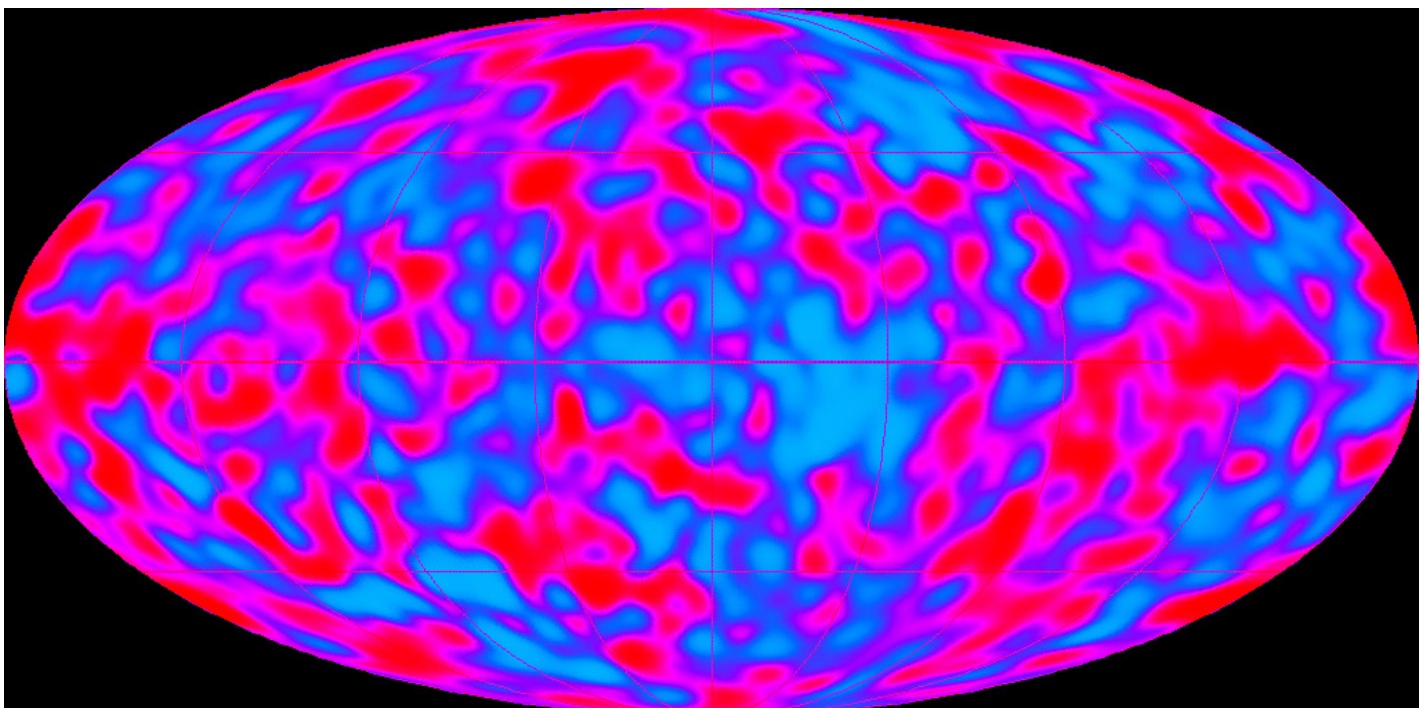
AS MEDIÇÕES MODERNAS DA RADIAÇÃO DE FUNDO DE MICROONDAS

Logo após a descoberta da radiação de fundo de microondas cósmica, os cientistas começaram a realizar experiências cujo objetivo era medir com a maior precisão possível a temperatura dessa radiação e verificar se ela era realmente isotrópica.

Como vimos, essa radiação só consegue ser medida com precisão por detectores colocados fora da atmosfera da Terra, seja em balões ou a bordo de satélites. Isso foi feito, com excelentes resultados.

COBE

Mapa de anisotropia da radiação de fundo de microondas cósmica feito com os dados obtidos pelo COBE.



O espectro do Fundo de Microondas Cósmico obtido pelo COBE

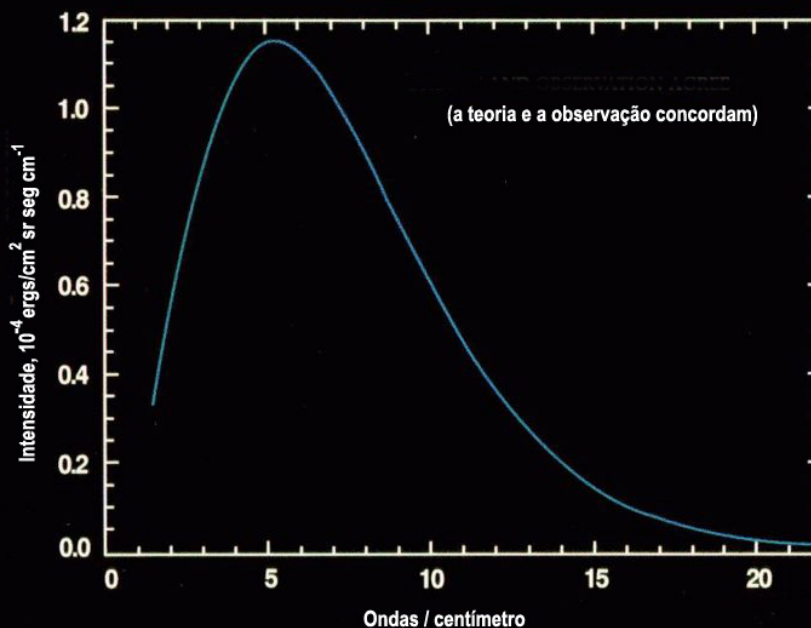


Gráfico que representa o espectro do fundo de microondas cósmico.

No dia 18 de novembro de 1989 foi lançado pela NASA ao espaço o satélite Cosmic Background Explorer ou, simplesmente, COBE. Sua missão era estudar a radiação de fundo de microondas. Esse satélite permaneceu em órbita até 1996 e foi bem sucedido na sua missão.

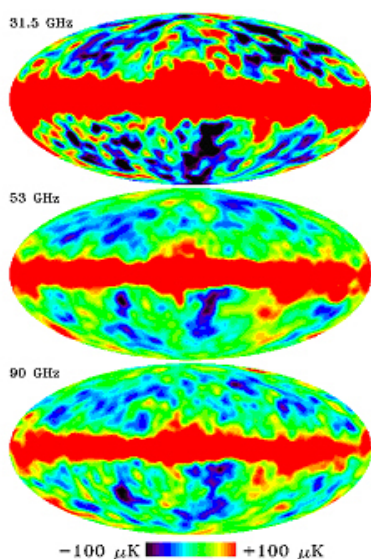
Os resultados obtidos pelo COBE mostravam que essa radiação de fundo de microondas era extremamente isotrópica e homogênea. Mesmo assim, dentro dos limites de sua capacidade de detecção, os equipamentos a bordo do COBE conseguiram detectar e quantificar anisotropias de larga escala nessa radiação de fundo. Isso estimulou os cientistas a realizarem diversas experiências, tanto baseadas em terra como com equipamentos a bordo de balões, cujo objetivo era quantificar de modo mais preciso essas anisotropias.

No dia 23 de abril de 1992, um grupo de cientistas norte-americanos que trabalhava no projeto COBE anunciou que havia encontrado as “sementes” primordiais nos dados coletados pelo COBE. Esses eram os primeiros traços de anisotropia encontrados na radiação de fundo de microondas cósmico, que os cientistas acreditavam serem as possíveis “sementes” que deram origem às estruturas maiores do nosso Universo tais como os aglomerados de galáxias e as vastas regiões desprovidas de galáxias que chamamos de “vazios”.

A imagem ao lado mostra o mapa da anisotropia da radiação de fundo de microondas cósmica feito com os dados obtidos pelo COBE.

Uma importante experiência feita pelo COBE foi a medição do espectro da radiação de fundo e sua comparação com a de um “corpo negro”. Na física “corpo negro” é um corpo capaz de receber e reemitir a mesma quantidade de energia. Se o Universo tivesse sido gerado a partir de um Big Bang então a radiação de fundo de microondas cósmica (que seria um resíduo desse Big Bang) necessariamente deveria ter um espectro de corpo negro.

Usando o detector FIRAS (Far-Infrared Absolute Spectrophotometer) que estava a bordo do COBE, os astrônomos obtiveram um espectro que se ajustava perfeitamente com a curva teórica de um corpo negro para a temperatura de 2,7 K. O ajuste quase perfeito entre os dados obtidos pelo COBE e a curva teórica do corpo negro para essa temperatura tornou o espectro da radiação de fundo de microondas cósmica o espectro de corpo negro medido com a maior precisão em toda a natureza.



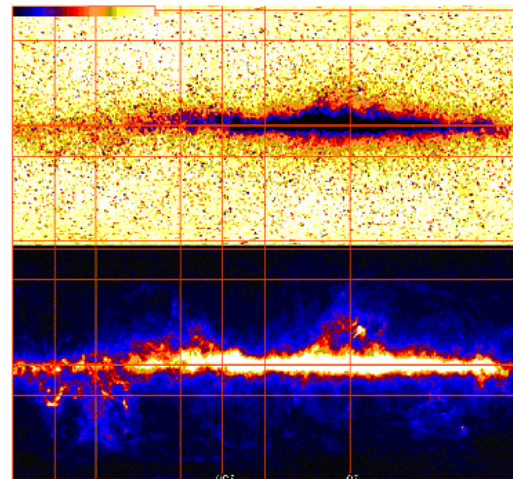
Mapas da anisotropia da radiação de fundo cósmica.

Com um outro equipamento a bordo do COBE, o Differential Microwave Radiometer (DMR), os cientistas mapearam durante quatro anos a anisotropia da radiação de fundo cósmica. Desse modo eles foram capazes de criar mapas inteiros do fundo de microondas cósmico após terem subtraído dos dados registrados pelo COBE as emissões feitas pela nossa própria Galáxia. O resultado é mostrado na imagem abaixo nas três frequências usadas pelo DMR, ou seja, 31,5, 53 e 90 GHz (gigahertz).

Uma outra grande contribuição do COBE, usando um outro equipamento, o Diffuse InfraRed Background Experiment (DIRBE), está mais relacionada com a astrofísica do que com a cosmologia, mas é importante demais e, por esse motivo, a citamos aqui.

Dados obtidos pelo DIRBE permitiram que os cientistas estabelecessem um modelo bem mais preciso do disco da nossa Galáxia. A imagem ao lado mostra esse modelo do disco da Galáxia visto de perfil.

De acordo com esse modelo, se o Sol está a 8,6 kpc (quiloparsecs) do centro da Galáxia, então ele está 15,6 pc (parsecs) acima do plano médio desse disco. Esse disco tem um comprimento radial de 2,64 kpc (quiloparsec) e vertical de 0,333 kpc.



Modelo do disco da Via Láctea visto de perfil.

BOOMERanG

A experiência BOOMERanG (Balloon Observations Of Millimetric Extragalactic Radiation and Geophysics) foi realizada no ano 2000 usando três balões de alta altitude em vôos sub-orbitais. Seus resultados mostraram que as maiores flutuações ocorriam em escalas de aproximadamente um grau. Ao associarem esses resultados com outros dados cosmológicos já conhecidos, os cientistas puderam concluir que a geometria do Universo é muito aproximadamente plana, ou seja, é uma afirmação teórica, segundo a qual poderíamos percorrer o Universo linearmente e infinitamente.

A experiência BOOMERanG.



WMAP

No dia 30 de junho de 2001 a NASA lançou ao espaço a Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, ou WMAP, uma segunda missão espacial cujo objetivo exclusivo era estudar a radiação de fundo de microondas. Seus detectores deveriam procurar e fazer medições, muito mais precisas do que aquelas feitas pelo COBE, das anisotropias de larga escala que existem por todo o céu. Esperava-se que o WMAP mapeasse pequeníssimas diferenças de temperatura existentes na radiação que forma o fundo de microondas cósmico. Isso seria de grande valia para testar teorias sobre a natureza do Universo.

O nome “Wilkinson” é uma homenagem ao cientista David Wilkinson, membro do grupo de cientistas que projetou o satélite e um dos pioneiros no estudo da radiação de fundo cósmica.

Com base nos dados obtidos no primeiro ano de funcionamento do WMAP, a NASA liberou no dia 11 de fevereiro de 2003 as primeiras conclusões dos cientistas envolvidos no projeto. Nessa liberação a NASA incluiu a “melhor imagem do universo recém nascido”.

Após três anos de intenso levantamento do céu, mais dados do WMAP foram liberados no dia 17 de março de 2006. Esses dados incluíam medições de temperatura e de polarização que reforçavam a ideia de que a geometria do universo é plana. Além disso, baseados nesses dados, os cientistas puderam restringir fortemente o intervalo de variação de diversos parâmetros cosmológicos. Esses parâmetros, muito difíceis de serem medidos, são fundamentais para a descrição do Universo. Por essa razão os cientistas possuem apenas intervalos de valores possíveis nos quais o valor verdadeiro do parâmetro certamente deverá estar incluído.

No dia 28 de fevereiro de 2008 foram liberados os dados obtidos pelo WMAP durante cinco anos. Esses dados incluíam novas evidências de que também existe um fundo de neutrinos cósmicos permeando todo o Universo.

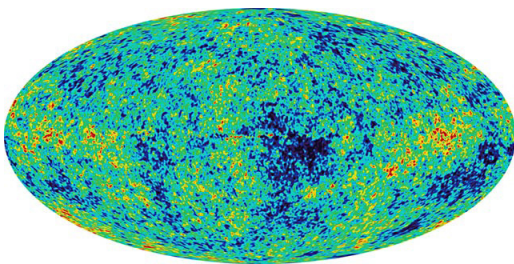
A imagem ao lado reúne os dados obtidos durante cinco anos pelo WMAP, um verdadeiro retrato da radiação de fundo cósmica.

Nessa imagem vemos as flutuações da temperatura da radiação de microondas cósmica ao longo de todo o céu. As cores diferenciam regiões com pequeníssimas variações em temperatura. As regiões em vermelho são mais quentes e as regiões na cor azul têm temperaturas 0,0002 graus, mais baixas que as outras. A temperatura média é de 2,725 K, equivalente a -270°C .

Embora o WMAP tenha fornecido medições muito precisas das flutuações de grande escala angular da radiação cósmica de fundo, tendo medido estruturas aproximadamente tão grandes no céu quanto a área ocupada pela Lua, ele não tinha resolução angular para medir flutuações em escalas menores.

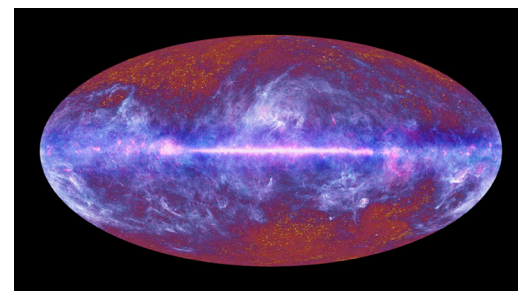
Algumas importantes conclusões que puderam ser obtidas a partir dos dados do WMAP são resumidas:

- a idade do universo é de $13,73 \pm 0,12$ bilhões de anos.
- a constante de Hubble tem o valor $70,1 \pm 1,3$ km/s/Mpc
- os dados obtidos pelo WMAP são consistentes com uma geometria plana para o Universo
- a composição do universo é:
 - ▶ 4,6% - matéria bariônica ordinária
 - ▶ 23% - um tipo desconhecido de matéria escura que não emite nem absorve luz
 - ▶ 72% - um tipo misterioso de energia escura que acelera a expansão do universo
 - ▶ < 1% - neutrinos



Este mapa mostra os dados obtidos pelo WMAP ao longo de cinco anos.

O Universo homogêneo e isotrópico



O satélite Planck Surveyor mostra o universo em microondas. A emissão de poeira da Via Láctea é vista como uma faixa branca horizontal.

Planck Surveyor

Essa foi a terceira missão espacial destinada a estudar a radiação cósmica de fundo. Ela foi lançada em 2008 e, ao contrário das duas missões anteriores, o Planck Surveyor é uma colaboração entre a NASA e a ESA (European Space Agency). A missão do Planck Surveyor é medir a radiação cósmica de fundo em escalas muito menores do que o WMAP fez.

Os detectores que estão a bordo do Planck Surveyor foram testados em observações da radiação cósmica de fundo feitas em Terra. Essa foi a experiência ACBAR (Arcminut Cosmology Bolometer Array Receiver) feita com o telescópio Antarctic Viper, que, como o nome sugere, está localizado no gelado território da Antártica. Os resultados ali conseguidos foram considerados pelos cientistas como as mais precisas medições em pequenas escalas angulares feitas até a data de hoje.

Os instrumentos do Planck Surveyor também foram testados a bordo de um balão, o “Archeops balloon telescope”.

O UNIVERSO HOMOGÊNEO E ISOTRÓPICO

Duas das principais características físicas sobre as quais se apóia a descrição atual do Universo são os conceitos de isotropia e homogeneidade. Vamos considerar que o Universo é homogêneo e isotrópico e, como veremos, esses conceitos não são deduzidos a partir de observações mas sim impostos sobre a teoria sob a forma de um Princípio Cosmológico.

Primeiramente veremos como a cosmologia entende isotropia e homogeneidade.

Isotropia

Dizemos que um sistema físico qualquer é isotrópico se suas propriedades são as mesmas independentemente da direção que estivermos considerando. Ao dizermos que o Universo é isotrópico estamos afirmando que suas propriedades físicas independem da direção considerada, ou seja, suas propriedades são as mesmas em qualquer direção.

Homogeneidade

As propriedades da homogeneidade de um sistema físico são as mesmas em todos os lugares. Para entender melhor esse conceito vamos supor um astronauta que tem a capacidade de viajar por todo o Universo. Se, após percorrer locais bem distantes uns dos outros e situados em regiões opostas do Universo, o astronauta chegar à conclusão de que todos os lugares são semelhantes, ele poderá então concluir que o Universo é o mesmo em todos os lugares e, portanto, o Universo é homogêneo.

Mas o Universo evolui. Como entender então a homogeneidade? Suponha que o nosso astronauta visite uma certa região do Universo onde ele encontra estrelas, galáxias, aglomerados, etc. Depois ele visita outras regiões do Universo, bem afastadas da primeira e nelas encontra o mesmo tipo de matéria. O astronauta volta para a Terra e após um milhão de anos de espera ele retorna aos mesmos locais visitados anteriormente e verifica que os corpos celestes envelheceram (mais tecnicamente, evoluíram) mas, curiosamente, em todos os lugares o envelhecimento foi idêntico. Isso quer dizer que as propriedades existentes em todos esses lugares são as mesmas. O astronauta então deduz que o Universo é homogêneo: ele evolui mas sempre de acordo com as mesmas leis da física que, como consequência disso, são as mesmas em todos os pontos do Universo.

Para o nosso astronauta o Universo é invariante por translações no espaço. Onde quer que ele esteja, as propriedades são as mesmas.

Homogeneidade e Isotropia

Temos agora duas maneiras de identificar propriedades iguais no Universo:

se as propriedades em todos os lugares são as mesmas o Universo é homogêneo

se as propriedades em todas as direções são as mesmas o Universo é isotrópico

Dizemos que um sistema (no nosso caso o Universo) é homogêneo se ele é invariante por translações no espaço.

Dizemos que um sistema (no nosso caso o Universo) é isotrópico se ele é invariante por rotações no espaço.

Um dado importante é que a condição de homogeneidade implica na existência de isotropia mas não o contrário. Vamos supor que o nosso astronauta sabe que o Universo é homogêneo mas não se ele é isotrópico. Ele viaja até uma região do espaço e lá verifica que o Universo parece ser o mesmo em todas as direções em torno do ponto onde ele se encontra. O Universo é, por conseguinte, isotrópico em torno daquele ponto. No entanto, se ele já sabe que o Universo é homogêneo, ou seja, que todos os lugares nele são semelhantes, obrigatoriamente todos esses lugares terão que ser isotrópicos. Assim, um Universo que é homogêneo e isotrópico em um lugar será homogêneo e isotrópico em todos os outros.

Um Universo homogêneo pode ser anisotrópico ou seja, nem todas as direções são semelhantes. Um Universo não homogêneo, melhor dizendo, aquele no qual nem todos os locais são semelhantes, poderia ser isotrópico em um lugar mas não pode ser isotrópico em todos os lugares. Em resumo, um estado de isotropia em um lugar não prova a homogeneidade e um estado de anisotropia não refuta a homogeneidade.

O “PRINCÍPIO COSMOLÓGICO”

Um dos princípios básicos da cosmologia moderna é o “Princípio Cosmológico”, assim chamado pela primeira vez pelo astrônomo Edward Milne, em 1933.

O Princípio Cosmológico fala que, não considerando as irregularidades de natureza local, o Universo é o mesmo em todos os pontos do espaço. Vamos discuti-lo por partes.

O que são as “irregularidades de natureza local” citadas acima? Sabemos que o Universo é povoado por estrelas, que se reúnem em galáxias, que por sua vez se reúnem em aglomerados de galáxias.

À primeira vista, o Princípio Cosmológico é bastante atraente, pois facilita enormemente o estudo do Universo: se o Universo é semelhante em todas as suas partes (ou seja, possui as mesmas propriedades em todos os seus “recantos”) logicamente torna-se muito mais fácil estudá-lo. Com esse princípio instituímos que as propriedades físicas que ocorrem em uma parte do Universo são as mesmas que ocorrem em qualquer outra região dele, seja ela bem próxima a nós ou inacreditavelmente afastada da nossa Galáxia.

No entanto, nota-se que isso não é demonstrado nem concluído a partir de qualquer tipo de observação. O Princípio Cosmológico, com sua superabundante generalização, é, como diz o próprio nome, um “princípio”: ele é estabelecido como base da teoria e aceito como verdade. Sobre esse princípio é que os astrônomos construíram a cosmologia moderna.



Edward Arthur Milne (1896 - 1950).