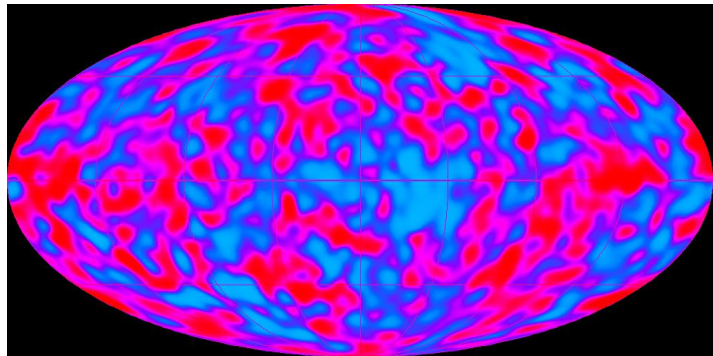


Aula 27: Cosmologia – O início do Universo

Maria de Fátima Oliveira Saraiva, Kepler de Souza Oliveira Filho & Alexei Machado Müller



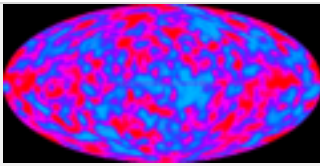
Mapeamento da radiação cósmica de fundo - a radiação mais remota que se pode detectar-, feito pelo satélite Cosmic Background Explorer (COBE), mostrando as estruturas do Universo quando ele tinha menos de 1 milhão de anos de idade. Crédito: NASA /COBE Science Team.

Introdução

Prezados alunos,

Na última aula vimos que o Universo que conhecemos iniciou em um evento conhecido como Big Bang, ocorrido há aproximadamente 14 bilhões de anos, e tem se expandido desde então. Vimos também que a escuridão da noite constitui uma evidência de que o Universo teve um início. Mas como foi esse início? Como foi criado o mundo material? Existem outras evidências de que o Big Bang realmente ocorreu? Vamos procurar responder essas perguntas na aula de hoje.

Bom estudo!



Princípio Cosmológico:

Estabelece que o Universo é homogêneo e isotrópico – não direção especial nem lugar especial no Universo.

O princípio cosmológico é válido para escalas de um bilhão de anos.

Objetivos da aula

- explicar o que é o princípio cosmológico e discutir a sua validade no Universo observado;
- descrever, em linhas gerais, o modelo do *Big Bang* para a origem do Universo, incluindo os elementos formados;
- descrever as propriedades observadas da radiação cósmica de fundo e explicar porque é uma evidência do *Big Bang*.

Como foi o início de tudo?

O princípio cosmológico

A construção de uma teoria cosmológica requer o conhecimento da estrutura do Universo em grande escala; no entanto, nossas observações são feitas de um local específico, a Terra – um pequeno planeta orbitando uma estrela na periferia de uma dos bilhões de galáxias existentes no Universo. Para contornar essa limitação, as teorias cosmológicas partem de um princípio que assegura que a nossa amostra do universo é representativa do todo. Essa hipótese é chamada Princípio Cosmológico: o Universo é homogêneo e isotrópico. A homogeneidade implica que, em larga escala, a densidade média do Universo é igual em todo o Universo. A isotropia implica que a aparência do Universo é a mesma em qualquer direção. As duas propriedades juntas implicam que o Universo é uniforme, e, portanto, *não há direção especial nem lugar especial no Universo*. O princípio cosmológico claramente não é válido em escalas pequenas: se analisamos uma região do espaço contendo apenas a Terra e a Lua, por exemplo, teremos dois pontos muito densos nas extremidades de um enorme espaço que, em comparação, é totalmente vazio; da mesma forma, a densidade dos planetas é muito maior do que a densidade média do Sistema Solar; a densidade de cada estrela é muito maior do que a densidade média de uma galáxia. Em escalas de milhões de anos-luz, encontramos os superaglomerados de galáxias e os enormes vazios entre eles, mas se vamos para escalas ainda maiores, de bilhões de anos-luz, daí vemos que a distribuição fica uniforme. Ou seja, em escalas muito grandes, o Universo parece realmente uniforme, e o princípio cosmológico é válido.

Relatividade geral e a cosmologia moderna

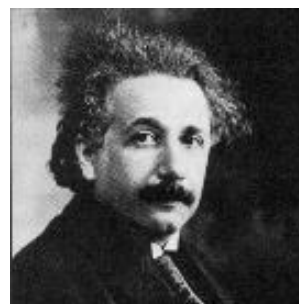
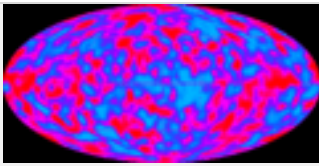


Figura 27.01: Albert Einstein (1879-1955).



Einstein e a constante cosmológica:

Einstein acreditava que o Universo era estático e esférico. Para compensar a gravidade, que faria o Universo se contrair, ele introduziu a constante cosmológica, que age como uma força repulsiva que evita o colapso do Universo.

Após as descobertas de Hubble, em 1929, Einstein aceitou a ideia da expansão do Universo e retirou a constante cosmológica de suas equações.

Para estudar a evolução do Universo os cosmólogos usam a teoria da relatividade geral de Albert Einstein.

Proposta em 1916, a teoria da relatividade geral descreve a gravitação como a ação das massas nas propriedades do espaço e do tempo, que afetam o movimento dos corpos e outras propriedades físicas. Enquanto na teoria de Newton o espaço é rígido, descrito pela geometria Euclidiana, na relatividade geral o espaço-tempo é distorcido pela presença da matéria que ele contém. Um ano depois de propor a relatividade geral, Einstein publicou seu artigo histórico sobre cosmologia, *Considerações Cosmológicas sobre a Teoria da Relatividade*, construindo um modelo esférico do Universo.

Einstein acreditava que o Universo deveria ser estático, mas sabia que a gravidade faria o Universo se contrair. Para compensar a gravidade, Einstein introduziu em suas equações a famosa constante cosmológica, que age como uma força repulsiva que previne o colapso do Universo pela atração gravitacional.

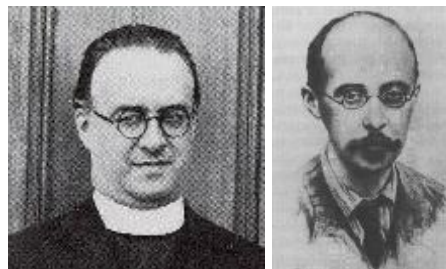
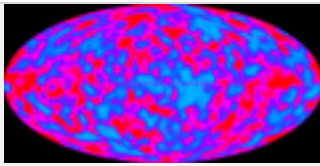


Figura 27.02: À esquerda Georges Lemaître (1894-1966), à direita Alexander Friedmann (1888-1925).

Durante os anos 1920, O padre e cosmólogo belga Georges Lemaître e, independentemente, o matemático e meteorologista russo Alexander Friedmann resolveram as equações da teoria da relatividade geral incluindo as possibilidades de expansão e recolapso e dispensando a necessidade de constante cosmológica. Em 19 Lemaître sugeriu que o Universo estaria em expansão, mas Einstein só aceitou essa ideia após a publicação do trabalho de Hubble, em 1929. Admitiu então que a constante cosmológica não tinha necessidade de existir, e a retirou das suas equações.

Em 1931, Lemaître propôs seu modelo para a origem do Universo. Ele imaginou que toda a matéria estivesse concentrada no que ele chamou de átomo primordial e que este átomo teria se partido em incontáveis pedaços, cada um se fragmentando cada vez mais, até formar os átomos presentes no Universo, numa enorme fissão nuclear. Embora seu modelo tenha se mostrado incorreto, ele inspirou os modelos modernos.

Mesmo depois da descoberta da expansão do Universo, muitos pesquisadores continuaram a acreditar na Teoria do Estado Estacionário, que se baseava no chamado "Princípio Cosmológico Perfeito", segundo o qual o Universo é homogêneo, isotrópico e imutável. Essa hipótese não negava a expansão do Universo, mas sim propunha uma produção contínua de matéria para contrabalançar a expansão observada, mantendo a densidade média constante. Esta teoria foi proposta por Herman Bondi, Thomas Gold e Fred Hoyle, em 1948. A teoria do estado estacionário perdeu quase todos seus adeptos quando foi descoberta da radiação cósmica de fundo (RCF), que ela não sabia explicar. Veremos o que é a RCF mais adiante, nesta mesma aula.



Era de Planck:

Época até 10^{-43} s após o Big Bang.

As quatro forças da natureza encontravam-se unificadas.

A separação da gravidade marca o tempo de Planck, em $t = 10^{-43}$ s, quando começa a aplicação das leis da Física.

A evolução do Universo no modelo do Big Bang

A teoria do *Big Bang* - que descreve os primeiros momentos do Universo -, presume que o Universo iniciou a partir de um estado extremamente quente e extremamente denso, em que toda a matéria e toda a radiação estavam contidas num espaço infinitamente pequeno. A rápida expansão que então iniciou lembra muito uma explosão, mas na verdade não é uma explosão que ocorre em um ponto do espaço, e sim a geração de espaço em todos os pontos, que se expandem com o tempo. Em 1973 E. Tyron propôs que o início da expansão ocorreu a partir de uma flutuação quântica do vácuo.

A história do Universo começa aos 10^{-43} segundos após o *Big Bang*, o instante chamado **tempo de Planck**. Os instantes anteriores ao *tempo de Planck* são chamados **era de Planck**. De acordo com as leis da mecânica quântica, na *era de Planck* deveria haver uma grande flutuação de energia de ponto a ponto no Universo, por ele ser tão pequeno; de acordo com a relatividade geral, devido à equivalência entre matéria e energia, grandes flutuações de energia devem ter gerado campos gravitacionais rapidamente variáveis, gerando bolhas no espaço-tempo. Ainda não existe uma teoria física capaz de descrever o que estava acontecendo nesses instantes, mas acredita-se que as quatro forças da natureza estavam unificadas em uma só.

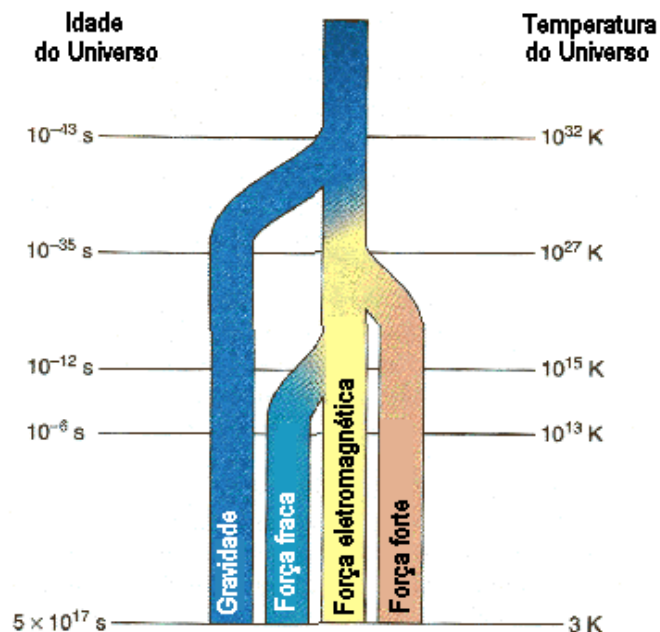
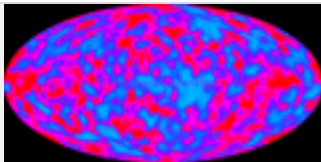


Figura 27.03: Gráfico ilustrando as épocas em que ocorreram as separações das quatro forças da natureza, as quais encontravam-se unificadas na era de Planck.

No **tempo de Planck**, a temperatura do Universo era $T \approx 10^{32}$ K; e a gravidade se separou das outras forças, que continuaram unificadas sob o nome comum de força GUT (GUT significa Teorias da Grande Unificação, na sigla em inglês), englobando a força eletromagnética e as forças nucleares fraca e forte. Essa é a era das GUTs, quando existiam duas forças no Universo: a gravidade e a força GUT. Essa era durou um nanosegundo. Quando o Universo tinha 10^{-35} segundos, a temperatura era 10^{28} K. As teorias da grande unificação predizem que a força nuclear forte se separou da força eletrofraca (eletromagnética unificada com a força nuclear fraca) neste instante, e o Universo ficou dominado por



Inflação:

Expansão dramática ocorrida quando a força forte se separou da força eletro-fraca, durando até aproximadamente 10^{-32} s após o Big Bang:

três forças: gravidade, força nuclear forte e força eletro-fraca. A teoria da **inflação**, que veremos depois, propõe que a separação da força nuclear forte liberou uma grande quantidade de energia que fez o Universo sofrer uma expansão dramática (a inflação): em meros 10^{-36} segundos, o Universo teria aumentado do tamanho de um núcleo atômico para o tamanho do sistema solar.

O Universo continuou a se expandir e a esfriar (de uma forma mais comedida do que durante a inflação) e aos 10^{-10} segundos a temperatura tinha baixado para 10^{15} K, baixa o suficiente para a força fraca se separar da força eletromagnética. A partir desse instante, o Universo ficou governado pelas quatro forças que conhecemos.

Nessa época, o Universo era cheio de intensa radiação, como tinha sido desde a era de Planck. A colisão de fótons produzia espontaneamente pares de partículas e antipartículas que imediatamente se aniquilavam se convertendo em energia novamente (ver figura 27.04).

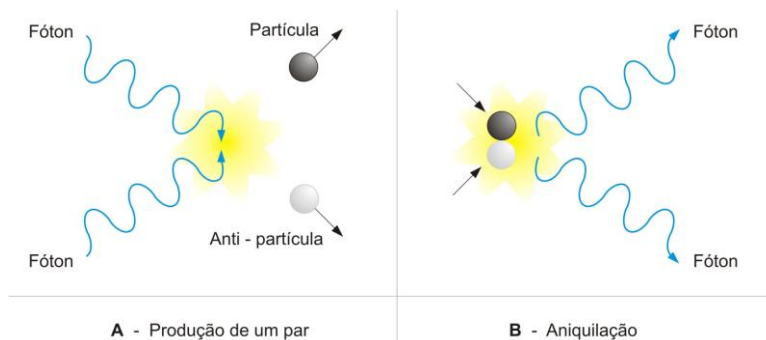


Figura 27.04: À esquerda dois fótons se aniquilam produzindo partículas e antipartículas, logo a seguir, à direita, as partículas e anti-partículas se aniquilam e se convertem em fótons novamente.

Nesses primeiros momentos, havia aproximadamente o mesmo número de fótons e de partículas de matéria, principalmente elétrons, pósitrons, neutrinos, e quarks - as partículas que formam prótons, nêutrons e suas antipartículas. (Os *quarks* são em número total de seis: *up*, *down*, *charm*, *strange*, *top* e *bottom*. O próton é formado por dois *quarks up* e um *quark down*, enquanto o nêutron é formado por dois *quarks down* e um *quark up*.)

Quando a temperatura atingiu cerca de 10^{14} K, ao tempo de vida do Universo de 10^{-7} segundos, os *quarks* deixaram de existir como partículas isoladas e se combinaram em dois (e três) para formar os prótons e nêutrons (e suas antipartículas). A colisão de fótons então produzia prótons e nêutrons, que em seguida se aniquilavam com suas antipartículas. Essa época, que durou até aproximadamente 10^{-4} segundos depois do Big Bang, é chamada era *hadrônica*, ou era das partículas pesadas (hádrons: prótons e nêutrons).

Aos 10^{-4} segundos, a temperatura já não era suficiente para a colisão de fótons produzirem prótons e nêutrons, apenas pares de elétron-pósitron eram produzidos, enquanto prótons e nêutrons continuavam a serem aniquilados com suas antipartículas. Essa é a era das partículas leves, ou era *leptônica*.

Um pouco depois, quando o Universo já tinha 1 segundo de idade, a temperatura caiu abaixo de 10^{10} K, e até os elétrons e pósitrons deixaram de ser produzidos. Colisões entre partículas e antipartículas continuaram a adicionar fótons ao Universo, mas a colisão de fótons não mais adicionou partículas a ele. A taxa de aniquilação de matéria superior à taxa de sua produção diminuiu o conteúdo de

Era Hadrônica:

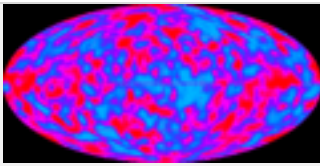
Época entre 10^{-7} e 10^{-4} segundos após o Big Bang.

Colisão de fótons produzia partículas pesadas (prótons e nêutrons) e suas antipartículas.

Era Leptônica:

Época entre 10^{-4} e 10^{-1} segundos após o Big Bang.

Colisão de fótons produzia pares de partícula-antipartículas leves (elétrons e pósitrons).



Nucleossíntese:

Ocorreu aos 3 min e formou o hidrogênio, o deutério, o hélio e pequena quantidade de lítio.

Durante séculos o Universo foi constituído de hidrogênio, núcleos de hélio e elétrons livres.

Devido às colisões dos elétrons livres com os fótons o Universo se mantinha opaco.

Recombinação

Aos 380.000 anos, a temperatura baixou a 3.000 K, os elétrons se combinaram aos núcleos formando átomos estáveis, aí o Universo ficou transparente. Dessa época provém a radiação cósmica de fundo.

matéria do Universo e aumentou o seu conteúdo de radiação.

Se houvesse uma perfeita simetria entre matéria e antimatéria todos os pares seriam aniquilados e não sobraria matéria no Universo. Mas, a simetria não era perfeita, houve um pequeno excesso de uma parte em um bilhão de matéria sobre antimatéria. Devemos nossa existência a essa assimetria.

Aos 3 minutos, a temperatura já tinha baixado a um bilhão de kelvin, permitindo a formação de núcleos leves pela colisão e fusão de prótons e nêutrons. Essa **nucleossíntese primordial** formou hidrogênio, deutério, hélio, e uma pequena quantidade de lítio. Todos os demais elementos seriam formados mais tarde, no interior das estrelas.

Durante centenas de anos, o Universo consistiu de um plasma com núcleos de hidrogênio, núcleos de hélio e elétrons livres. O grande número de elétrons livres mantinha os fótons colidindo continuamente com eles, deixando o Universo opaco.

Depois de 380.000 anos, a temperatura já se reduzira a meros 3.000 K, a metade da temperatura da superfície do Sol. Os núcleos de hidrogênio e de hélio capturaram os elétrons, formando átomos neutros estáveis. Essa é a **era da recombinação**. <http://astro.if.ufrgs.br/univ/univ.htm>.

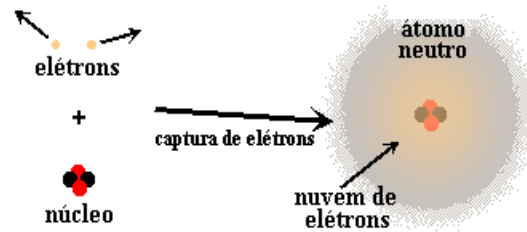
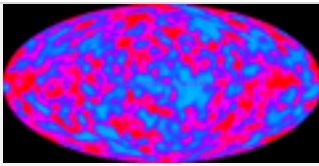


Figura 27.05: Formação de um átomo neutro pela captura de elétrons por um núcleo.

Com os elétrons agora presos aos átomos, os fótons deixaram de sofrer os sucessivos espalhamentos e o Universo se tornou transparente, os fótons podendo viajar livremente no espaço. Essa radiação de 3.000 K, expandindo-se com o Universo, é o que detectamos como radiação de fundo do Universo (RCF).

À medida que o Universo continuou a expandir e a esfriar, a matéria lentamente se condensou formando nuvens protogalácticas onde começaram a se formar estrelas. As primeiras galáxias se formaram quando o Universo tinha em torno de 1 bilhão de anos. Gerações consecutivas de formação estelar nas galáxias formaram os elementos mais pesados do que o hélio e os incorporaram nas novas estrelas formadas, algumas das quais com sistemas planetários. Em pelo menos uma dessas estrelas - O Sol - a vida se desenvolveu.



Formação das galáxias:

Quando o Universo tinha 1 bilhão de anos.

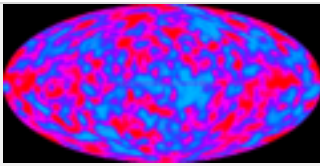
Tabela 27.01: Resumo dos principais eventos na evolução do Universo.

| Idade Cósmica | Temperatura | Eventos Marcantes |
|------------------------|---------------|--|
| $< 10^{-43}$ s | $> 10^{32}$ K | <i>Big Bang</i> . Unificação das 4 forças. Era de Planck. |
| 10^{-43} s | 10^{32} K | Tempo de Planck. Gravidade se separa das outras forças. Era das GUT's (Teoria da Grande Unificação das forças nucleares forte e fraca e da força eletromagnética). |
| 10^{-35} s | 10^{28} K | Força nuclear forte se separa da força eletrofraca. |
| 10^{-32} s | 10^{27} K | Era da inflação. Universo se expande rapidamente. |
| 10^{-10} s | 10^{15} K | Era da radiação. Forças eletromagnética e fraca se separam. |
| 10^{-7} s | 10^{14} K | Era das partículas pesadas (era hadrônica). A colisão de fótons dá origem aos prótons, aos antiprótons, aos quarks e aos antiquarks. |
| 10^{-1} s | 10^{12} K | Era das partículas leves (era leptônica). Fótons retêm energia suficiente apenas para construir partículas leves como elétrons e pósitrons. |
| 3 min | 10^{10} K | Era da nucleossíntese. Prótons e elétrons interagem para formar nêutrons. Prótons e nêutrons formam núcleos de deutério, de hélio, e pequena quantidade de lítio e de berílio. Todos os átomos encontram-se ionizados. |
| 380×10^3 anos | 10^3 K | Era da recombinação. Os elétrons se unem aos núcleos para formarem os átomos. A radiação pode fluir livremente pelo espaço. (O Universo fica transparente.) |
| 1×10^8 anos | 20 K | Formação das galáxias. |
| 10×10^8 anos | 3 K | Era presente. Formação do Sistema Solar. Desenvolvimento da vida. |

Evidências observacionais do Big Bang

Para ser uma teoria científica, a teoria do *Big Bang* deve fazer previsões que possam ser verificadas através de observações ou experimentos. Na aula anterior já tínhamos visto duas evidências a favor de que o *Big Bang* realmente aconteceu: A expansão do Universo e a escuridão da noite. Uma outra evidência é a abundância observada de hélio no Universo: na seção anterior vimos que a teoria do *Big Bang* prediz que a nucleossíntese primordial formou hidrogênio, deutério hélio e um pouco de lítio. A abundância de hélio que se observa no Universo (que atualmente tem basicamente 25% de hélio e 75% de hidrogênio) condiz com o que a teoria prediz, pois ultrapassa em 90% a quantidade de hélio formado no interior das estrelas. Isso indica que grande parte do hélio deve ter se formado no início, antes da formação de galáxias e estrelas.

Mas a principal descoberta que deu aceitação definitiva à teoria do *Big Bang* foi a descoberta, em 1965, da radiação cósmica de fundo.



Radiação Cósmica de Fundo:

Radiação que permeia todo o Universo e chega até nós de todas as direções, na faixa de micro-ondas. Corresponde à radiação de um corpo negro com temperatura de 2,7 K. É a principal evidência para a teoria do Big Bang.

A RCF apresenta pequenas flutuações, essas flutuações que causaram aglomerações de matéria no Universo jovem e por fim deram origem às estrelas e às galáxias.

A radiação cósmica de fundo

Os rádio-astrônomos **Arno Allan Penzias** (1933-) e **Robert Woodrow Wilson** (1936-), dos Bell Laboratories, nos Estados Unidos, estavam trabalhando na calibração de uma antena de micro-ondas que seria usada para comunicação por satélites, e perceberam que todas as medidas apresentavam um ruído cuja fonte eles não conseguiam descobrir qual era; por mais que tentassem corrigir o ruído, ele permanecia, independentemente da direção para onde apontassem a antena, como se fosse uma emissão que viesse de todos os pontos do Universo.

Ao mesmo tempo, na Universidade de Princeton, um grupo de físicos - **Robert Henry Dicke** (1916-1997), **Philip James Edward Peebles** (1935-), **Peter G. Roll**, e **David T. Wilkinson** (1935-2002), estavam construindo uma antena para procurar pela radiação que deveria permear o universo como relíquia do Big Bang - a radiação que teria sido emitida quando o Universo se tornou transparente. Eles calculavam que, pela expansão do Universo, essa radiação que tinha 3.000 K quando foi emitida deveria ter atualmente uma temperatura de poucos kelvins, e deveria ser detectável em micro-ondas.

A existência dessa radiação com a temperatura atual de 5 K, já havia sido predita em 1948 por Ralph Asher Alpher e Robert Herman, associados de George Gamow.

Penzias e Wilson souberam do trabalho do grupo de Dicke e acabaram por perceber que o que eles supunham que fosse um ruído era na verdade a radiação remanescente do estado quente em que o Universo se encontrava em seu início. Em 1978 eles receberam o Prêmio Nobel pela descoberta da radiação cósmica de fundo.

Mapeamento da Radiação cósmica: satélite COBE

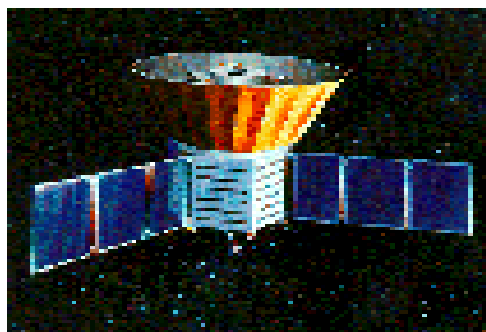
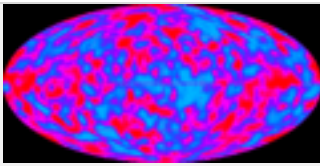


Figura 27.06: Satélite COBE.

Em 18 de novembro de 1989, a NASA lançou um satélite chamado Cosmic Background Explorer (COBE), operando na faixa de microondas, para analisar detalhadamente a **radiação do fundo do universo**. Como planetas, estrelas, galáxias e nuvens de gás emitem muito pouco micro-ondas, o satélite podia enxergar diretamente a luz que o Universo emitiu quando passou de opaco para transparente, na chamada **época da recombinação**, cerca de 380 mil anos depois do *Big Bang*.

Os dados obtidos pelo COBE, mostrados na figura 27.07, ajustam perfeitamente aos resultados de um corpo negro com temperatura de 2,74 K.



Esse valor fecha com o esperado para a radiação de 3.000 K emitida na era da recombinação, devido ao *redshift* com valor de $z = 1.000$ correspondente à expansão do Universo desde aquela época até hoje; a expansão do Universo estica o comprimento de onda pelo mesmo fator que o Universo se expande entre a emissão e a observação.

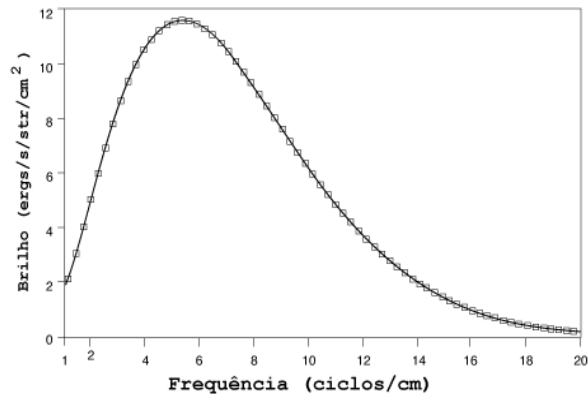
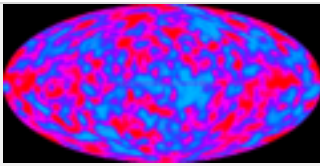


Figura 27.07: Resultados do satélite COBE, mostrando que a radiação do fundo do Universo segue mesmo a lei da radiação de Planck.

A radiação de fundo do Universo mostra suas condições 380 mil anos após o *Big Bang*, quando o Universo era dominado por radiação. Nesta época a temperatura do Universo caiu para cerca de 3.000 K, suficiente para que os prótons e as partículas alfa (He), formadas nos três primeiros minutos do Universo, começassem a capturar elétrons e formar átomos de hidrogênio e hélio neutros. Os cosmólogos chamam esta fase de **recombinação**, ou fase de desacoplamento, passando de um Universo dominado por radiação, onde a temperatura da matéria era a mesma temperatura da radiação, para um dominado por matéria.

Outro experimento do satélite COBE, divulgado em abril de 1992, mostrou que a RCF não é perfeitamente isotrópica, mas sim apresenta pequeníssimas variações da temperatura (seis partes por milhão), como ilustrado na figura que abre esta aula.

Nos modelos de formação de galáxias, essas flutuações são necessárias para permitir que a matéria formada posteriormente se aglomerasse gravitacionalmente para formar estrelas e galáxias, distribuídas em grupos, bolhas, paredes e vazios, como observamos.



Resumo

As teorias cosmológicas partem de um pressuposto básico, o **Princípio Cosmológico**, segundo o qual o Universo é homogêneo (mesma densidade em todo lugar) e isotrópico (mesma aparência em qualquer direção). Portanto, não há direção especial no Universo nem lugar especial no Universo. As observações mostram que, em escalas de 1 bilhão de anos-luz, o Universo é realmente uniforme.

No século XX havia dois principais tipos de teorias cosmológicas, as teorias evolutivas, que propõem que o Universo é homogêneo e isotrópico, mas não teve sempre a mesma aparência (entre as quais está a teoria do *Big Bang*) e as teorias estacionárias, que pressupõem o princípio cosmológico perfeito: o Universo é homogêneo, isotrópico e imutável no tempo.

A teoria do *Big Bang*, teoria mais aceita atualmente, propõe que o Universo iniciou a partir de um estado extremamente quente e extremamente denso, em que toda a matéria e toda a radiação estavam contidas num espaço infinitamente pequeno. Nos primeiros momentos do Universo ele era tão quente que a colisão de fótons produzia espontaneamente pares de partículas e antipartículas que imediatamente se aniquilavam se convertendo em energia novamente. O Universo foi esfriando à medida que expandia, e quanto menor a temperatura, menor a energia de radiação, e menor a massa das partículas que podem ser produzidas nas colisões de fótons.

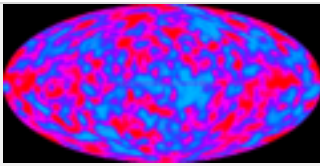
A nucleossíntese primordial aconteceu aos 3 minutos, e formou hidrogênio, deutério, hélio, e uma pequena quantidade de lítio. Todos os demais elementos seriam formados mais tarde, no interior das estrelas.

Até os 380 mil anos o Universo era um plasma opaco e brilhante, em que matéria e radiação estavam misturadas. Aos 380 mil anos, quando a temperatura tinha baixado a 3 000 K, os elétrons se combinaram aos núcleos para formar átomos estáveis, e o universo se tornou transparente.

As galáxias foram formadas quando o Universo tinha 1 bilhão de anos.

A radiação emitida na época da recombinação (quando o Universo se tornou transparente) permeia todo o Universo, chegando a nós de qualquer direção. É chamada radiação cósmica de fundo (RCF) e foi detectada pela primeira vez em 1965, na faixa de micro-ondas, constituindo desde então a principal evidência para a teoria do *Big Bang*.

A RCF corresponde à radiação de um corpo negro com temperatura de 2,7 K. Essa radiação não é perfeitamente uniforme, mas sim apresenta pequenas flutuações em sua temperatura, detectadas em 1992 pelo satélite. Essas flutuações causaram as aglomerações de matéria no Universo jovem, que acabaram por dar origem às estrelas e galáxias.



Questões de fixação

Após a leitura e compreensão dos assuntos tratados nessa aula responda as questões de fixação a seguir, discuta suas respostas com seus colegas no fórum de discussões.

Bom trabalho!

1.

a) O que é o princípio cosmológico?

b) De acordo com ele, qual a temperatura da radiação cósmica de fundo para um hipotético observador em uma galáxia a 10 bilhões de anos-luz de nós?

2.

a) O que é o Big Bang?

b) Que evidências observacionais suportam essa teoria?

3.

a) Que elementos químicos foram formados no início do universo?

b) De acordo com a cronologia dos primeiros minutos do universo, o que foi formado primeiro, o núcleo do hidrogênio ou o núcleo do hélio?

c) Por que a abundância de hélio observada é uma evidência de que a teoria do *Big Bang* está certa?

4. Sobre a radiação cósmica de fundo;

a) O que é?

b) Qual a temperatura a que ela corresponde?

c) Em que região do espectro ela é detectada?

d) De onde ela provém?

e) Em que época do Universo ela foi gerada?

f) Por que ela é uma evidência a favor da teoria do *Big Bang*?

Até a próxima aula!

