

Ensino a Distância

COSMOLOGIA

Da origem ao fim do universo

2015

Módulo 8

*Nem todos aceitam o Big Bang:
as teorias alternativas*

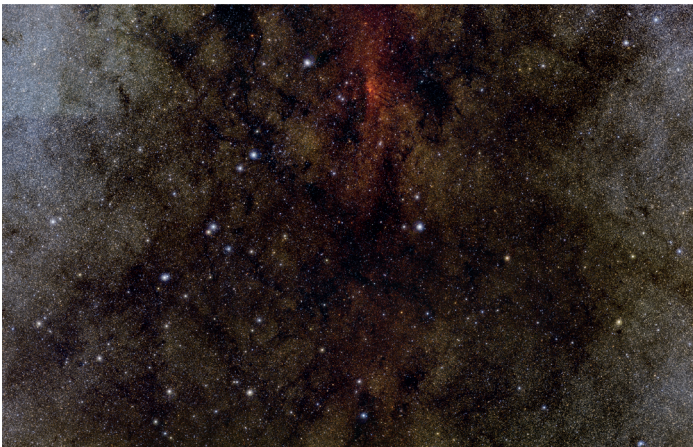


Imagem do centro galáctico da Via Láctea, observada na direção da constelação de Sagitário, obtida pelo VISTA (the Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy), telescópio ligado a organização do ESO (The European Southern Observatory), localizado no Observatório Paranal, deserto de Atacama, norte do Chile. Trata-se de uma composição de imagens que revela cerca de um milhão de estrelas.

Crédito: European Southern Observatory (ESO)/VISTA.

Ensino a Distância

COSMOLOGIA

Da origem ao fim do universo

2015

Módulo 8

*Nem todos aceitam o Big Bang:
as teorias alternativas*

49

A cosmologia de Milne



Edward Arthur Milne

A COSMOLOGIA DE MILNE

Edward Arthur Milne, astrofísico e matemático inglês da Oxford University, Inglaterra, estudou cuidadosamente a “teoria da relatividade geral” proposta por Albert Einstein e duvidou das conclusões a que ela chegava. Em 1935 ele publicou o livro “*Relativity, gravitation and world-structure*” no qual discutia o problema do “universo em expansão” e propunha uma teoria alternativa à teoria da relatividade geral de Albert Einstein. Em 1948, dois anos antes de sua morte, Milne escreveu um livro intitulado “*Kinematic relativity: a sequel to Relativity, gravitation and world-structure*”, no qual apresentava uma nova teoria cosmológica baseada, não na teoria relativística da gravitação, mas sim na “teoria da relatividade especial”. Nesse importante livro, Milne fazia a seguinte crítica aos modelos cosmológicos baseados na teoria da relatividade geral:

“O movimento imposto como consequência de uma geometria que difere da geometria comumente usada na física é louvável. A gravitação como uma deformação do espaço é uma noção digna de crédito, embora isso não dê a mínima informação sobre a natureza ou origem da gravitação. Mas porque a presença da matéria deve afetar o “espaço”, isso foi deixado sem resposta”.

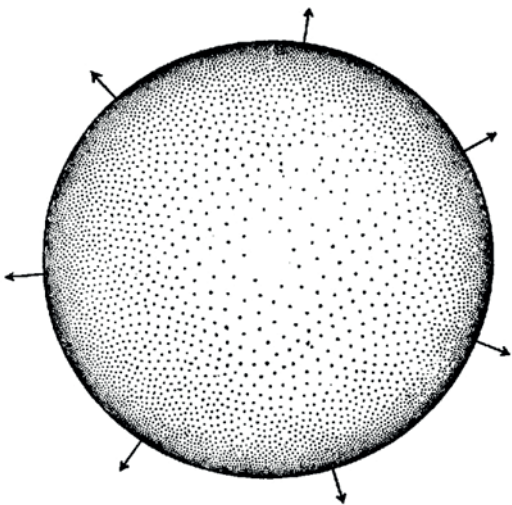
Milne construiu sua própria teoria do universo, conhecida como **relatividade cinemática** (*kinematic relativity*), na qual a gravidade não é incluída como uma suposição inicial. Baseando-se em um pequeno número de axiomas, tais como o princípio cosmológico e as regras da relatividade especial, ele apresentou uma descrição do universo que explicava a gravidade e outras leis da natureza. Milne defendia a ideia de que o propósito da cosmologia era explicar porque as coisas são do modo que observamos, e não apenas fornecer elaboradas descrições alternativas de como as coisas funcionam.

Embora seus esforços não tenham sido bem sucedidos, se considerarmos o que ele esperava obter com sua teoria, não podemos negar que, sem qualquer dúvida, os métodos e critérios por ele utilizados tiveram grande impacto na cosmologia, se o julgarmos pelo que ele realmente obteve.

A descrição de Milne de um universo em expansão, reduzida a seus elementos mais simples, é muito mais fácil de se entender do que a relatividade geral. Seu universo consiste de uma nuvem esférica de partículas que se expande dentro do espaço plano. Isso quer dizer que o universo de Milne possui um “lado de fora”, ou seja, a nuvem de partículas se expande dentro de um espaço previamente vazio.

O universo de Milne tem um centro e uma borda. Ele começa se expandindo a partir de um ponto no espaço, e todas as partículas pertencentes a ele são lançadas em todas as direções, com velocidades que variam de zero até aquelas próximas à velocidade da luz. A superfície da nuvem, ou borda cósmica, se expande dentro do espaço pré-existente com a velocidade da luz. Nas imediações de cada partícula, tanto a distribuição como a recessão de todas as outras partículas, é isotrópica. Devido ao efeito da relatividade, a maioria das partículas está agrupada próxima à borda da nuvem, como mostrado na figura.

O universo finito e limitado de Milne contém “uma infinidade de partículas no campo de visão de qualquer observador, mas na direção do limite de visibilidade elas desaparecem em um fundo contínuo”. Note que no universo de Milne as galáxias preenchem uma bolha de tamanho finito, embora haja um número infinito de galáxias no universo.



Dentro dessa estrutura descritiva de movimentos (daí o nome “relatividade cinematográfica”), na qual todas as partículas se movem livremente, não afetadas por forças de qualquer tipo, Milne tentou mostrar que cada partícula manifesta um comportamento que simula o efeito da gravidade. Em outras palavras, ele explicou a gravidade começando com uma estrutura cósmica que não supõe a existência da gravidade.

Os argumentos de Milne eram elaborados, no entanto poucos cientistas os acharam convincentes. O significado físico de sua teoria cosmológica ainda é obscuro e embora Milne não gostasse da relatividade geral, isso não muda o fato de que a equação de Einstein pelo menos é compreensível e parece refletir fielmente vários aspectos do mundo físico.

Milne identificou cada partícula com uma galáxia. Uma vez que existe uma “infinitude de partículas”, seu universo tem uma massa infinita em um volume cósmico finito. Um observador, sobre qualquer partícula, observa somente uma densidade finita por causa dos efeitos da relatividade especial.

É interessante notar que o **universo finito e limitado** de Milne, de massa infinita, pode ser transformado matematicamente, mudando-se os intervalos de espaço e tempo, em um **universo infinito e sem contorno**. Esse novo universo consiste de um espaço que se expande, homogêneo, isotrópico, com curvatura negativa, e com uma população uniforme de galáxias. A reunião compacta de uma infinidade de galáxias agora aparece distribuída ao longo de um espaço infinito. Essa transformação (para a qual o próprio Milne chamou a atenção, mas não defendeu, uma vez que ele não acreditava em espaço curvo) tem a vantagem de fazer as galáxias serem estacionárias em um espaço que se expande e fazer o Big Bang não ser mais um ponto no espaço. Se consideramos o espaço-tempo como sendo fisicamente real, como a teoria da relatividade geral postula, espaço e tempo estão contidos dentro do universo e essa suposição é certamente bem melhor do que a velha ideia de que o universo está contido dentro do espaço e tempo.

Tendo transformado a descrição de Milne em um universo de espaço dinâmico e curvado, somos agora capazes de olhar para ele mais detalhadamente do ponto de vista da teoria da relatividade geral. Tomamos as equações de Friedmann-Lemaître para pressão zero e colocamos a constante cosmológica Λ igual a zero. Uma vez que Milne não exigiu a presença de gravidade na escala cósmica, fazemos a constante gravitacional G ser igual a zero.

A partir dessas equações encontramos que a curvatura $K = -H^2$, onde $K = k/R^2$ e k é a constante de curvatura. Dessa maneira k deve ser negativa, igual a -1 , de modo que o espaço tem curvatura negativa e é infinito em extensão. Temos agora $(dR/dt) = 1$ e então $R = t$ onde t é a idade do universo a partir do instante do Big Bang. Este universo se expande a uma taxa constante ($H = 1/t$, $q = 0$), e o período de Hubble é sempre igual à idade do universo. Assim, quando o universo de Milne é colocado dentro da estrutura da teoria da relatividade geral, ele não tem centro nem borda, ele tem espaço infinito de curvatura negativa, e se expande a uma taxa constante com desaceleração zero.

O modelo cosmológico de Milne é:

- a. ou uma bolha finita que se expande a partir de um ponto, dentro de um universo estático, plano e vazio.
- b. ou um universo que se expande, homogêneo, negativamente curvado e infinito.

As duas descrições embora pareçam ser completamente diferentes estão separadas apenas por uma mudança de coordenadas!

O Universo de Milne é incompatível com várias observações cosmológicas. Em particular, ele não prevê a radiação cósmica de fundo nem a abundância de elementos leves que são medidas no universo.

50

Teoria Escalar-Tensorial de Jordan

O QUE É UM CAMPO ESCALAR?

Todas as coisas contínuas definidas de lugar para lugar e tem somente um único valor em cada ponto é um campo escalar.

A temperatura da nossa atmosfera e o potencial gravitacional Newtoniano são exemplos de campos escalares. Todos os escalares são tensores de ordem zero.

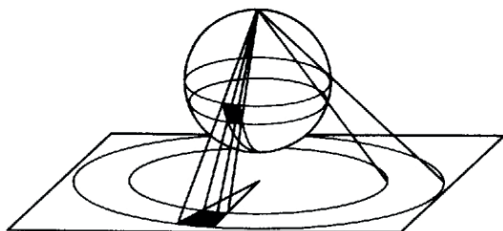


Ilustração da transformação conforme.

JIFFY

Um jiffy é a unidade natural de tempo que descreve o período requerido pela luz para se deslocar a uma distância de 1 fermi. Ela é equivalente a 10^{-23} segundos. Um fermi é uma unidade natural de comprimento e é o tamanho de uma partícula subatômica, tal como um nucleon. Essa unidade é equivalente a 10^{-13} centímetros.

TEORIA ESCALAR-TENSORIAL DE JORDAN

A teoria escalar-tensorial da gravidade foi apresentada em 1939 pelo físico alemão Pascual Jordan. Nessa teoria a ideia é tomar o espaço-tempo da relatividade geral e incluir nele um campo escalar simples que varia de ponto a ponto. A gravidade mantém seu caráter de curvatura dinâmica do espaço-tempo mas é agora modificada pela introdução do campo escalar.

O campo escalar é introduzido em uma maneira notável usando o que é conhecido como uma **transformação conforme**.

Essa transformação é feita multiplicando o intervalo de espaço-tempo pelo escalar. Os intervalos de espaço e tempo são, ao mesmo tempo, esticados ou contraídos por uma quantidade que depende do valor do escalar. Este tipo de transformação é chamado **transformação conforme** porque os ângulos não são alterados. Assim, essa transformação afeta intervalos de espaço e tempo da mesma maneira e a velocidade da luz permanece inalterada.

Se o escalar é em todos os pontos o mesmo, e constante no tempo, então o espaço-tempo é uniformemente mudado por uma quantidade fixa e podemos olhar o processo como meramente uma mudança de nossas unidades convencionais de medição. Se todas as coisas no Universo dobram de tamanho, com a exceção de uma barra de medição de metro, tudo que temos que fazer é reiniciar a barra como sendo metade de um metro, e nada mudou. Chamar um centímetro de um metro não muda o mundo físico. Mas quando o campo escalar varia de lugar para lugar no espaço e no tempo, ele então controla o tamanho relativo e a duração das coisas, e o novo intervalo de espaço-tempo obtido por tal transformação é muito diferente do velho. A transformação agora mudou as propriedades físicas do universo de um modo dramático.

Uma transformação conforme muda a magnitude das unidades básicas que definem intervalos de espaço e tempo. Assim, o raio clássico do elétron e o jiffy (uma medida de tempo) são ambos aumentados ou diminuídos pela mesma quantidade.

Por essa razão uma transformação conforme é algumas vezes chamada de *transformação de unidades*. O principal objetivo de Jordan ao introduzir tal transformação, por meio de um campo escalar, foi quebrar os rígidos vínculos da relatividade geral e ampliar suas possibilidades físicas.

A teoria escalar-tensorial de Jordan modificou a relatividade geral e, como consequência, a matéria não é mais conservada, mas pode ser criada.

Jordan disse:

“A própria conjectura sugere que a criação cósmica de matéria não ocorre como uma criação difusa de prótons, mas pelo súbito aparecimento de gotas inteiras de matéria.”

Segundo Jordan, essas “gotas” seriam estrelas criadas em uma densa forma embrionária.

Na mesma época em que Jordan propôs sua teoria, um grupo de matemáticos japoneses em Hiroshima também desenvolveu uma teoria de criação contínua para um universo tipo de Sitter no qual as galáxias são espontaneamente criadas.

TEORIA DO ESTADO ESTACIONÁRIO DE BONDI E GOLD

O universo em expansão em estado estacionário foi proposto conjuntamente em 1948 por Hermann Bondi e Thomas Gold. Os aspectos em larga escala de tal universo são independentes da localização do observador no espaço e tempo e obedecem ao princípio cosmológico perfeito.

O PRINCÍPIO COSMOLÓGICO PERFEITO

Em 1948 Hermann Bondi e Thomas Gold propuseram que o universo era homogêneo tanto no espaço como no tempo. Assim a afirmação de que “todos os lugares são indistinguíveis no espaço” passou a ser citada como “todos os lugares são indistinguíveis no espaço e no tempo”. Este postulado de homogeneidade ampliado foi chamado de “**princípio cosmológico perfeito**”.

O princípio cosmológico perfeito significa que o universo está em um estado estacionário e nada nele, jamais, muda em aparência. O explorador cósmico, percebendo que todos os locais são semelhantes em cada viagem, conclui que nada mudou entre suas sucessivas viagens. Todas as coisas são as mesmas em todos os lugares no espaço e no tempo, não levando em conta irregularidades sem consequências.

O universo Newtoniano do século XVIII estava em um estado estacionário. Ele também era um universo estático.

À medida que a ciência avançou foi notado que todas as coisas evoluem e nada permanece eternamente inalterado. O Universo Newtoniano então tornou-se estático, mas em evolução (isto é, estava em um estado estacionário). Neste século descobrimos que o universo está se expandindo e por mais ou menos uma década o conceito de estado estacionário foi revivido neste contexto.

Em um universo que se expande em estado estacionário a taxa de expansão é constante e nunca muda. Coisas individuais ficam velhas, mas novas coisas nascem para substituí-las e as distribuições de idade nunca mudam. Por exemplo, isso pode ser visto mais claramente em uma sociedade com crescimento de população zero: os nascimentos cancelam as mortes, mantendo assim uma distribuição de estado estacionário de idades. Em um Universo em estado estacionário que se expande, a matéria deve ser criada continuamente em todos os lugares para manter uma densidade constante: novas galáxias são formadas a partir da matéria criada e velhas galáxias se afastam e se tornam menores em número pela expansão. A descrição de um estado estacionário que se expande, quando olhada em detalhe, é maravilhosamente auto-consistente.

O princípio da localização assegura ao observador que um universo isotrópico é também homogêneo no espaço. Mas o princípio não ajuda muito quando queremos estabelecer homogeneidade no tempo. Isso acontece porque o tempo é peculiarmente assimétrico e não podemos perceber o futuro com a mesma clareza que percebemos o passado. Se pudessemos ver o futuro, e consequentemente pudessemos ver uma simetria passado-futuro, então por meio do princípio da localização poderíamos estabelecer a homogeneidade no tempo com base no fato de que uma posição especial no tempo é improvável de ocorrer.

A TEORIA DE CRIAÇÃO CONTÍNUA DE BONDI E GOLD

Um universo em expansão em estado estacionário tem idade infinita (não tem começo). Em 1948 isso era um aspecto atraente desse modelo, principal-

51

Teoria do Estado Estacionário de Bondi e Gold



Hermann Bondi (1919 - 2005) e Thomas Gold (1920 - 2004).

Note que *estático* significa que o universo não está nem expandindo nem contraindo, enquanto que estado *estacionário* significa que nada muda em aparência. Um rio pode estar em um estado estacionário, mas a água está fluindo e, portanto, ele não é estático.

mente por causa dos problemas que surgiam na escala de tempo de vários universos evolucionários (nessa época o período de Hubble [a idade do universo] era encontrado ser menor que a idade do Sistema Solar, o que era um absurdo).

Bondi e Gold descreveram as propriedades principais de um universo em expansão em um estado estacionário. Uma vez que nada muda no cenário cósmico, a curvatura K , o termo de Hubble H , e o termo de desaceleração q devem todos permanecer constantes. A curvatura K é igual a k/R^2 , e como o fator de escala R aumenta com a expansão, a curvatura somente pode permanecer constante quando k é zero. O espaço é, dessa forma, plano e de extensão infinita. Uma vez que o termo de Hubble também é constante, segue que (dR/dt) é proporcional a R , e o fator de escala aumenta exponencialmente como ocorre no universo de de Sitter. Isso assegura que o termo de desaceleração tem o valor fixo -1 .

Pela própria definição de “estado estacionário”, um universo em expansão em estado estacionário somente é possível se há uma criação contínua de nova matéria, em todos os lugares, de modo a ser mantida uma densidade constante. Mas porque isso não é observado? Para manter o conteúdo do universo em estado estacionário, a matéria deve ser criada a uma taxa de cerca de 1 átomo de hidrogênio por metro cúbico a cada 5 bilhões de anos, equivalente a uma galáxia por ano dentro do universo observável. Seria inútil tentar detectar essa lenta taxa de criação no laboratório.



Thomas Gold (à esquerda), Hermann Bondi e Fred Hoyle (à direita).

Segundo Bondi e Gold:

“Deve haver criação contínua de matéria no espaço a uma taxa que é, entretanto, de longe, baixa demais para a observação direta”.

A nova matéria do universo é criada não a partir da radiação, como no universo de estado estacionário proposto pelo físico norte-americano MacMillan, nem a partir de qualquer coisa pré-existente, mas a partir de “coisa alguma” e de “lugar nenhum”.

O universo em estado estacionário se auto-regenera em um terço de um período de Hubble. Como o tempo de expansão é de 15 bilhões de anos, o tempo de regeneração é de 5 bilhões de anos. A idade média de todas as coisas que resistem depois da criação, tais como nucleons e galáxias, é também um terço de um período de Hubble. Algumas galáxias são jovens e foram formadas bem recentemente; outras são excessivamente velhas. A idade média de todas as galáxias é de 5 bilhões de anos. Nossa Galáxia, que tem cerca de 10 bilhões de anos, é, por conseguinte, duas vezes mais velha que a galáxia média existente em um universo em estado estacionário. Em um universo criado por um Big Bang, praticamente todas as galáxias têm a mesma idade, cerca de 10 bilhões de anos. Esses valores preocuparam os cientistas que acreditavam na teoria de um universo em estado estacionário. Eles teriam que explicar porque a nossa Galáxia tem 10 bilhões de anos, sendo duas vezes mais velha que a idade média das galáxias no universo em estado estacionário. Não obstante, esse valor de idade, coincidentemente, é a idade certa para um universo criado por um Big Bang.

ESTADO ESTACIONÁRIO X BIG BANG

A controvérsia estado estacionário versus Big Bang durou até o final dos anos de 1960. Um dos argumentos mais fortes dos cosmólogos que defendiam a teoria do estado estacionário era de que a criação contínua de matéria não é

52

Teoria do estado estacionário de Fred Hoyle

algo mais estranha ou mais difícil de “engolir” do que a suposição da criação de toda a matéria do universo em um único instante, o instante da ocorrência de um Big Bang. Além disso, para os defensores da teoria do estado estacionário, sua teoria possuía muito mais apelo estético.

A criação da matéria dentro do espaço e tempo não pode ser olhada como equivalente à criação de um universo contendo espaço e tempo.

Hoje existem fortes evidências que nos mostram que o universo não está em um estado estacionário. Os números de radiofontes e quasares eram maiores no passado do que são no presente. Mais ainda, a exigência dos cosmólogos defensores da teoria do estado estacionário para que fossem mostradas as “cinzas” do Big Bang foi satisfeita pela descoberta da radiação cósmica de fundo de microondas com baixa temperatura.

Não é fácil conceber uma ideia de importância cosmológica geral, particularmente uma que pode ser aceita dentro do tempo de vida do ser humano. O princípio cosmológico perfeito, embora admitido, foi um empreendimento raro que merece nossa admiração e um lugar assegurado na história da cosmologia.

TEORIA DO ESTADO ESTACIONÁRIO DE FRED HOYLE

Uma das teorias mais polêmicas desenvolvidas pelo astrofísico inglês Fred Hoyle diz respeito à Cosmologia. Ele foi um dos criadores, junto com os físicos Hermann Bondi e Thomas Gold, de uma teoria cosmológica que ficou conhecida como “Teoria do Estado Estacionário” segundo a qual o universo se expandia, mas era eterno. Hoyle, um ateu convicto, ficava incomodado com a chamada Teoria do Big Bang, criada pelo físico ucraniano (radicado nos Estados Unidos), George Gamow que dizia que o Universo teve um começo. Aliás, foi Hoyle quem inventou o termo “Big Bang” ao se referir de modo pejorativo a essa teoria durante uma entrevista à rádio inglesa BBC.

Segundo Hoyle, o Universo era infinitamente velho e nele a matéria era criada continuamente para preenchê-lo à medida que ele se expandia. Essa era sua “Teoria do Estado Estacionário”.

Seguindo uma “discussão com o senhor T. Gold” Fred Hoyle mostrou como a teoria da relatividade geral poderia ser modificada para permitir uma criação contínua de matéria.

No ano em que Bondi e Gold lançaram sua teoria do estado estacionário, Hoyle usou uma teoria escalar-tensor (ideia já proposta anteriormente por Pascual Jordan) e encontrou que a densidade constante do universo e o termo de Hubble estão relacionados pela equação

$$8 \pi G \rho = 3 H^2$$

A teoria de criação contínua de matéria proposta por Hoyle não indica a forma na qual a matéria é criada. Sua teoria viola a lei de conservação da matéria, que está implícita na relatividade geral, por meio de um artifício matemático. Muitas pessoas não se sentem à vontade quando vêem a matéria criada deste modo e sentem que a matemática não é física até que ela seja endossada pelas observações e confirmada pelas experiências. Os defensores do estado estacionário algumas vezes têm dito que a criação contínua significa que o universo está necessariamente em um estado estacionário, mas isso não é verdade: quando a criação e a expansão não estão exatamente sincronizadas é possível ter universos em expansão nos quais a densidade ou aumenta ou diminui.



Fred Hoyle (1915 - 2001).

53

Teoria de William McCrea



William McCrea (1904 - 1999).

A teoria do estado estacionário, como ela foi proposta, não explica porque matéria é criada a uma taxa que mantém um estado estacionário. Não há como garantir que o universo se auto-replicará fielmente a cada 5 bilhões de anos e se lembrará como as coisas eram há trilhões de anos.

TEORIA DE WILLIAM MCCREA

O conceito de pressão negativa

Todos nós temos familiaridade com o conceito de pressão positiva. Ela existe tanto nas estrelas como nas máquinas a vapor. A noção de pressão negativa é, no mínimo, surpreendente.

O cosmólogo britânico William McCrea, argumentou em 1951 que a ideia de uma pressão negativa no Universo, equivalente a um estado de tensão cósmica, não podia ser descartada com base na experiência ordinária.

Uma tensão cósmica, a mesma em todos os pontos, não participa diretamente na determinação do comportamento das galáxias, estrelas e máquinas a vapor. Somos informados da existência de pressões ordinárias quando elas variam de um lugar para o outro e têm gradientes, como nas estrelas e na atmosfera da Terra, e quando elas estão agindo sobre paredes, como nos aquecedores. Mas quando a pressão é a mesma em todos os pontos, não confinada e sem gradientes, ela não produz efeito perceptível, exceto no comportamento dinâmico do Universo.

O mesmo pode ser dito de uma pressão negativa: ela pode existir mas não podemos detectá-la, exceto na maneira pela qual ela afeta a dinâmica do Universo.

Na discussão das equações da teoria da relatividade geral, dissemos que o lado esquerdo da equação representa o espaço-tempo dinâmico e o lado direito representa “matéria”. Enquanto que o significado do lado esquerdo dessas equações é bastante claro, o lado direito é obscuro: ninguém sabe ao certo o que “matéria” significa nesse contexto e em várias ocasiões coisas estranhas têm sido colocadas no lado direito da equação de Einstein. A convenção exige que mantenhamos o lado direito tão simples e limpo quanto possível e coloquemos lá somente coisas como densidade e pressão positiva que são familiares no mundo diário.

Uma tensão cósmica uniforme do tipo de uma pressão negativa, não tendo efeito sobre a estrutura dos planetas e estrelas, não é familiar e é usualmente excluída.

Mas McCrea argumentou que o Universo talvez seja governado por forças que não se manifestam diretamente nos laboratórios e, por isso, não podemos confiar no senso comum para saber o que deveria estar no lado direito da equação de Einstein, quando usada em cosmologia. Poderia existir uma tensão cósmica negativa capaz de alterar inteiramente todos os prévios modelos do Universo.

Vamos considerar o efeito da pressão negativa em um universo em expansão. Um universo em um estado de tensão deve liberar energia à medida que se expande. Um pedaço de elástico quando esticado se torna mais quente e isto ocorre porque o trabalho feito enquanto o elástico está esticado libera energia. Algo similar ocorre em um Universo de pressão negativa: à medida que ele se expande, energia é liberada, e esta energia poderia tomar a forma de matéria recentemente criada.

Em um universo com uma tensão muito grande, igual à densidade de energia (isso é, $p = -\rho c^2$), a energia liberada pela expansão é suficiente para manter a densidade de matéria constante.

Essa é a brilhante explicação dada por McCrea para a criação contínua de matéria em um universo em estado estacionário: a energia liberada pela expansão aparece como matéria recentemente criada, e a densidade média de matéria permanece constante.

Em 1951, McCrea escreveu:

“Essa discussão parece mostrar que a simples admissão de que o zero de tensão absoluta pode ser colocado em qualquer lugar, ao contrário do que é suposto atualmente com bases um tanto arbitrárias, permite todos os resultados de Hoyle serem deduzidos dentro do sistema da teoria da relatividade geral. Além disso, essa dedução dá aos resultados uma coerência física inteligível.”

Se estamos dispostos a sacrificar nossa crença institucional de que a pressão deve sempre ser positiva e acolher a possibilidade de tensão cósmica, somos confrontados com uma desconcertante variedade de novos universos.

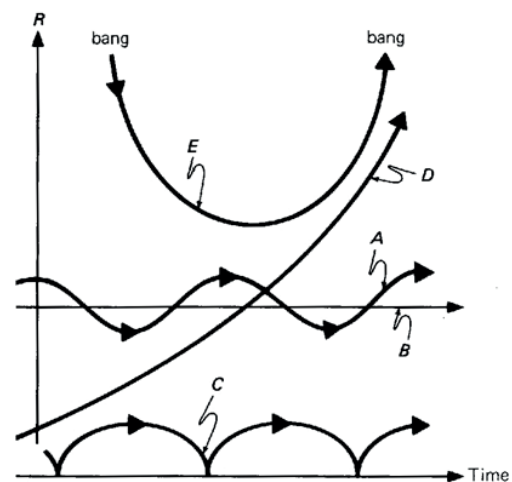
Alguns exemplos.

1. quando a tensão é igual a 1/3 da densidade de energia ($p = - (1/3) \rho c^2$), a gravidade se torna ineficiente e o universo é controlado por outras coisas, tais como a constante cosmológica Λ .
2. quando a tensão é menor que a densidade de energia, mas maior do que 1/3, existem universos que oscilam em tamanho sem Big Bang. Suas oscilações são lentamente amortecidas, e eles se tornam universos estáticos de Einstein.
3. quando a tensão é maior do que a densidade de energia encontramos aqueles incríveis universos nos quais a densidade aumenta com a expansão, os quais começam com nada e se expandem até se tonarem Big Bangs, e aqueles nos quais a densidade diminui com a contração, os quais colapsam para nada.

A figura ao lado mostra exemplos de tipos diferentes de universos em tensão. A pressão é $p = (\gamma - 1) \rho c^2$, onde ρ é a densidade de massa. Vejamos sua descrição:

- letra A: universo oscilante fechado com $\gamma > 0$ mas $< 2/3$
- letra B: universo estável, estático, fechado com $\gamma > 0$ mas $< 2/3$
- letra C: universo oscilante, fechado, de densidade constante com $\gamma = 0$
- letra D: universo em estado estacionário, plano, com densidade constante e $\gamma = 0$
- letra E: universo com $\gamma < 0$ que se expande para se tornar um Big Bang

Consideraremos a seguir o efeito da pressão negativa no universo. William McCrea apresentou a ideia alternativa de que a criação contínua é o resultado de uma pressão cósmica negativa. Tal tensão cósmica, quando igual à densidade de energia, mantém um estado de densidade constante. A teoria de McCrea não explica porque a tensão tem esse valor e, assim como a teoria de Hoyle, ela falha em explicar porque matéria, e não a antimatéria, é criada.



Exemplo de tipos diferentes de universos em tensão.

54

Teoria de Hoyle-Narlikar



Jayant Narlikar (1938).

De acordo com o trabalho original de Bondi e Gold, a criação é uniforme em todos os lugares, e matéria recentemente criada eventualmente se condensa e forma novas galáxias. William McCrea, em 1964, chamou a atenção para a possibilidade de que o processo de criação não uniforme no espaço seja mais ativo naquelas regiões onde a matéria já está concentrada.

McCrea escreveu em 1964:

“Toda matéria é o fomentador potencial da criação de matéria. Toda a matéria está normalmente nas galáxias e assim a criação de nova matéria normalmente promove simplesmente o crescimento das galáxias. Mas ocasionalmente um fragmento de matéria se separa de sua galáxia. Qualquer de tais fragmentos é um potencial fomentador de uma nova criação; se ele é bem sucedido como tal, ele é o embrião de uma nova galáxia.”

Essa ideia de galáxias promovendo criação se ajustava em um cenário de galáxias periodicamente explodindo e ejetando fragmentos.

TEORIA DE HOYLE-NARLIKAR

Como vimos, Hoyle usou a teoria escalar-tensor para criar matéria em um universo em estado estacionário que se expandia. A taxa de criação C foi ajustada de modo que a densidade permanecesse constante. Entretanto, uma pequeníssima modificação poderia muito facilmente fazer com que a taxa de criação ficasse ou rápida demais ou lenta demais. Em ambos os casos a situação de estado estacionário seria perdida.

A teoria do estado estacionário foi superada por descobertas observacionais que seus criadores não previram. Hoyle ganhou notoriedade como seu mais ativo defensor e, trabalhando com o físico indiano Jayant Narlikar, procurou incessantemente por modificações da teoria do estado estacionário que a poriam em conformidade com as novas descobertas.

A última ideia de Hoyle-Narlikar foi que partículas não são criadas; em vez disso, devido a uma interação universal, suas massas mudam com o tempo. Como resultado, “os mistérios usuais que dizem respeito à chamada origem do universo começam agora a dissolver”, escreveu Hoyle em 1975. O universo é suposto ser estático, e átomos, seres humanos, e estrelas, diminuem lentamente em tamanho por causa do crescimento na massa das partículas subatômicas. O universo em expansão com átomos de massa constante foi transformado em um universo estático de átomos que encolhem. O Big Bang, ou “criação do universo”, que Hoyle detestava foi banido e se tornou um momento quando todas as massas estavam próximas a zero. De acordo com essa descrição a radiação cósmica de fundo de 3 graus não é um produto do Big Bang mas, na verdade, luz estelar proveniente de uma fase muito primitiva do universo e que foi termalizada pelo espalhamento feito por átomos.

Essa teoria do “átomo que encolhe”, considerada e rejeitada pelo astrofísico inglês Arthur Eddington, mantinha a idade infinita do universo do estado estacionário mas abandonava a ideia de criação contínua.

TEORIA DE BRANS-DICKE

Robert Dicke (imagem a esquerda) e Carl Brans (imagem a direita) usaram a teoria escalar-tensorial como base para investigar o **princípio de Mach**. Esse princípio é uma lei puramente conjectural e vários cientistas se esforçaram para dar a ela um fundamento teórico mais seguro.

O problema é encontrar uma maneira na qual o valor da constante gravitacional G é determinado pelo Universo. Uma vez que o universo está se expandindo, essa variação contínua deve retroagir sobre o valor de G de modo que ele também varie continuamente. O princípio de Mach, dentro da estrutura de um universo que expande, sugere então que G não pode ser constante no tempo.

Brans e Dicke usaram a teoria escalar-tensorial porque ela permite G variar com a expansão. Segundo eles esse acoplamento da variação de G com a expansão do universo está em acordo com o princípio de Mach e é a justificativa para usar a teoria escalar-tensor.

Ninguém está muito certo do que o princípio de Mach realmente significa e cada cientista (ou filósofo) tem uma interpretação diferente. Qualquer variação no valor de G , não importa quão pequena seja, pode ser olhada como evidência de um efeito machiano.

55

Teoria de Brans-Dicke



À esquerda: Carl Brans (1935); À direita: Robert Dicke (1916 - 1997).



PRINCÍPIO DE MACH

Ernst Mach acreditava que a massa inercial é resultado de uma partícula “sentir” a presença de todas as outras partículas existentes no Universo. Partículas distantes, localizadas além do comprimento de Hubble, não são observáveis e, por isso, não contribuem para a determinação da massa inercial local.

Lembre também que:

- A massa gravitacional, m_{grav} , de uma partícula é determinada pela sua resposta à gravidade.
- A massa inercial, m_{inerc} , de uma partícula é determinada pela sua resposta ao movimento acelerado.

Tanto na física Newtoniana como na Teoria da Relatividade Geral essas duas massas são consideradas iguais e podemos escrever apenas m para representá-las.

A teoria escalar-tensorial permite que a variação de G seja grande ou pequena. Se a variação de G é suficientemente pequena para nunca estar em conflito com a observação, podemos dizer que o universo obedece ao princípio de Mach.

O universo de Brans-Dicke é bem flexível e pode ter uma variação em G tão pequena quanto se queira. Observações de movimentos orbitais dentro do Sistema Solar mostram que a variação de G , se ela existe, é muito pequena. Estudos teóricos do hélio produzido no universo primordial também indicam que a variação de G deve ser extremamente pequena. A consequência disso é que o universo de Brans-Dicke se tornou quase indistinguível de um universo no qual G é constante.

Ernst Mach (1838 - 1916).

56

Teoria de Alfvén-Klein

TEORIA DE ALFVÉN-KLEIN

Em 1963 o físico sueco Oskar Klein apresentou um novo modelo cosmológico juntamente com seu compatriota, o físico Hannes Alfvén.

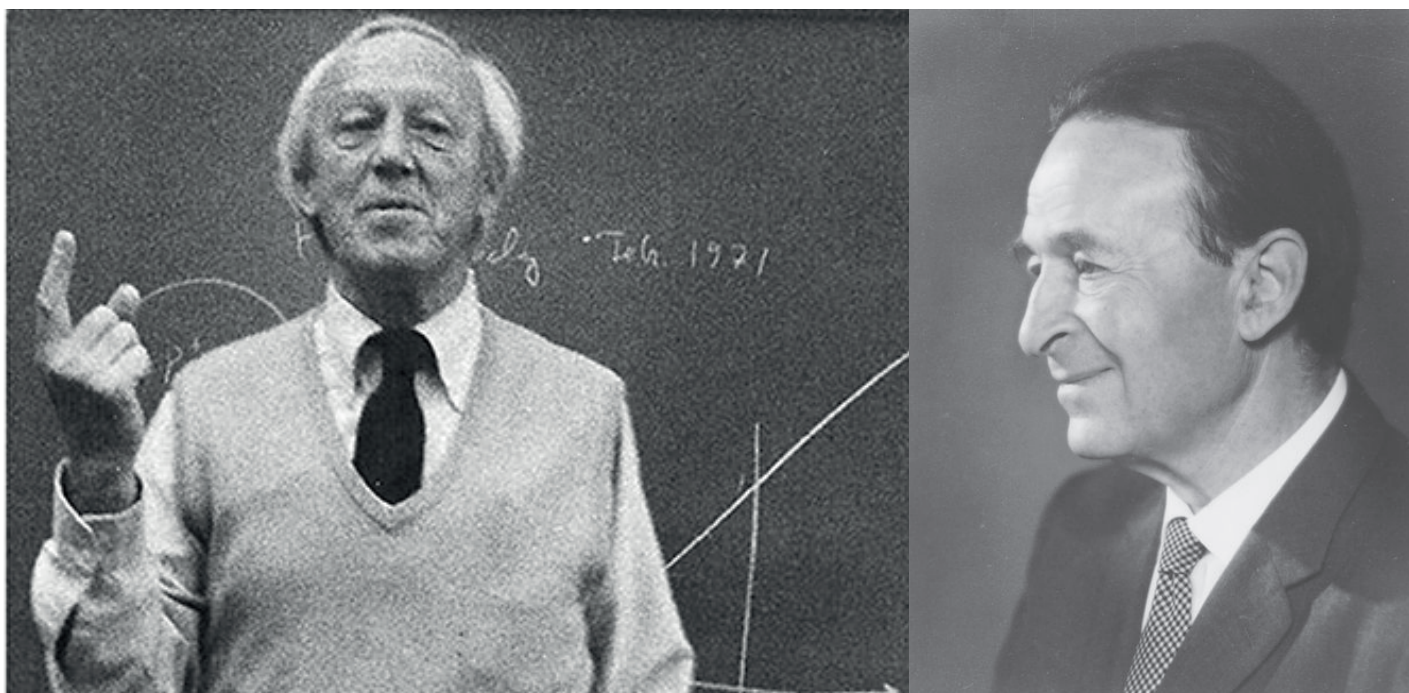
Em 1937 Hannes Olof Gösta Alfvén declarou que se existe plasma em todo o universo ele poderia transportar correntes elétricas capazes de gerar um campo magnético na nossa Galáxia. Conhecido por suas opiniões ortodoxas em vários campos da física, Alfvén era um feroz crítico da “teoria do Big Bang” que, para ele, não passava de um mito científico criado para explicar a criação bíblica.

O modelo cosmológico proposto por Alfvén e Klein é conhecido como “cosmologia de plasma” e foi por muitos considerado um modelo alternativo tanto à teoria do Big Bang como à teoria do estado estacionário.

A cosmologia de plasma tenta explicar o desenvolvimento do universo visível por meio da interação de forças eletromagnéticas sobre o plasma que permeia todo o universo.

Para Alfvén, o universo estava preenchido pelo “ambiplasma”, uma mistura em iguais proporções de matéria e anti-matéria ionizadas. Esses dois componentes se separaram naturalmente à medida que ocorreram reações de aniquilação entre a matéria e a antimatéria. Isso foi acompanhado por uma liberação de energia incrivelmente grande.

As origens da cosmologia de plasma foram apresentadas por Alfvén em seu livro *Worlds-Antiworlds*, publicado em 1956. Ele se baseou em algumas ideias propostas pelo físico Oskar Klein de que os plasmas astrofísicos desempenharam um importante papel na formação de galáxias. Em 1971, Klein ampliou as propostas de Alfvén desenvolvendo o que passou a ser conhecido como “modelo cosmológico de Alfvén-Klein”.



À esquerda: Hannes Alfvén (1908 - 1995); À direita: Oskar Klein (1894 - 1977).

A cosmologia de Alfvén-Klein baseia-se em gigantescas explosões astrofísicas que resultam de uma hipotética mistura da matéria e antimatéria cósmicas que criaram o universo ou, como eles preferiam chamar a “meta-galáxia”.

De acordo com a teoria de Alfvén e Klein, o “ambiplasma” naturalmente formaria bolsões de matéria e bolsões de antimatéria que se expandiriam e a aniquilação de matéria e antimatéria ocorreria em seus contornos. Para eles, vivemos, por um acaso, em um dos bolsões onde a maior parte da matéria existente é bárions e não antibárions.

Outro ponto importante dessa teoria é o fato de que eles consideram que o universo sempre existiu.

A cosmologia de plasma praticamente foi abandonada a partir dos resultados observacionais obtidos pelo satélite artificial norte-americano COBE sobre a radiação de fundo de microondas que permeia o universo.

OS UNIVERSOS MIXMASTER DE CHARLES MISNER

Alguns cientistas afirmam que, inicialmente, o universo estava em um estado sem forma e caótico. Essa é a chamada “escola do caos”. Segundo essa “escola”, no começo de tudo, quando, como eles mesmos dizem, “o céu acima e a Terra abaixo não tinham sido formados”, havia em todo o Universo um caos indescritível. Para eles foi a ação de causas naturais que fez emergir, a partir desse imenso caos, um estado de uniformidade no Universo. Infelizmente, ninguém foi capaz de explicar de modo razoável como a homogeneidade poderia surgir a partir do caos. Nesse tópico as teorias cosmológicas modernas não esclarecem muito mais do que a cosmologia dos povos antigos.

Um dos maiores defensores da ideia de que a uniformidade do Universo surgiu a partir de um estado inicial de caos é o cientista norte-americano Charles Misner, da Maryland University, Estados Unidos.

Os defensores dessas ideias acreditam poder explicar não somente a homogeneidade do Universo mas também a radiação cósmica de 3 graus e até mesmo a origem das galáxias. Para eles o mecanismo capaz de fazer essa homogeneização do Universo, seja ele qual for, libera energia que aquece o Big Bang.

Para os defensores dessas teorias, a radiação cósmica de fundo que medimos atualmente ter uma temperatura de 3 Kelvin é um resíduo deste processo de aquecimento. Eles também afirmam que a não-homogeneidade inicial deixa irregularidades, talvez sob a forma de pequenas flutuações de densidade, que mais tarde servem como elementos aglutinadores de matéria dando origem às galáxias.

Universos homogêneos, mas anisotrópicos, têm sido estudados para ver se a anisotropia inicial pode diminuir, resultando um estado isotrópico semelhante àquele apresentado hoje pelo nosso universo. Esses “universos mixmaster” (assim chamados por Charles Misner) movimentam-se para trás e para a frente em convulsões gigantescas: eles se expandem em uma direção enquanto oscilam rapidamente nas outras duas direções (imagine um cilindro pulsando ao longo do raio enquanto está sendo esticado). Além disso, repetidamente, era após era, cada uma durando mais tempo do que a anterior, as direções de expansão e oscilação são trocadas. A questão é até que ponto essas convulsões serão amortecidas por meio de mecanismos dissipativos pela matéria e radiação existentes no universo. A princípio, parecia que os neutrinos existentes no universo primordial seriam capazes de enfraquecer essas convulsões e criar o estado de isotropia, mas investigações posteriores, de um tipo mais geral, mostraram que não é possível atingir um alto grau de isotropia a partir de um estado anterior de anisotropia extrema.

Se o Universo é inicialmente caótico, o processo capaz de produzir sua homogeneização deve satisfazer a certas condições. A radiação cósmica de fundo de 3 graus é 99,9% isotrópica e, desse modo, já há um alto grau de isotropia, e daí homogeneidade, quando o universo tem somente um milhão de anos (a radiação se deslocou livremente a partir daquela época primordial). A maior parte do hélio é produzida quando o universo tem algumas poucas centenas de segundo de idade, e sua abundância atual estabelece limites severos sobre a anisotropia no instante de sua formação. Uma grande parte da não-homogeneidade existente deve, por isso, ter sido anulada na época em que o universo



Charles Misner (1932).

tinha somente um minuto de idade. É bom ter em mente que o mecanismo de homogeneização não deve ter uma eficiência tão grande capaz de remover todas as irregularidades existentes no universo. Devemos lembrar que algumas irregularidades devem sobreviver para que mais tarde se desenvolvam criando galáxias e até mesmo aglomerados de galáxias. O mecanismo de homogeneização deve também explicar porque a radiação cósmica tem atualmente uma temperatura de 3 graus. Além disso, seria bom se esse mecanismo pudesse explicar a entropia específica do universo, mas isso seria pedir demais, pois exige nossa compreensão de porque a matéria foi mais favorecida do que a antimatéria no desenvolvimento do universo.

Uma possibilidade atraente é que o caos inicial tenha sido dissipado de modo extremamente rápido pela intensa criação de partículas, como consequência da criação de buracos negros quânticos, ocorrida quando o universo tinha somente 10^{-45} segundos de idade. O caos é formado por perturbações ocorridas na estrutura semelhante a uma espuma que forma o espaço-tempo nas suas dimensões da ordem de Planck, por intensas ondas gravitacionais e por flutuações de campo, capazes de criar partículas do mesmo modo como campos elétricos muito fortes criam elétrons e pósitrons. Espectadoras disso tudo seriam as partículas virtuais, sempre prontas para deixar seu estado virtual e se tornar reais, e que podem roubar do caos sua frenética energia. Desta maneira, o universo talvez pudesse ser homogeneizado pela criação desse denso mar de partículas reais energéticas. A densidade de energia máxima que o espaço-tempo pode conter, corresponde a 10^{100} gramas por metro cúbico, e presumivelmente o caos máximo tem essa densidade, a qual nunca pode ser excedida. O caos máximo assegura densidade de energia uniforme e quando dissipado deixa uma densidade uniforme de partículas. Isso pode ser a resposta para o mistério da homogeneidade: o universo estaria inicialmente, em todos os pontos, em um estado de caos máximo e suas várias regiões não têm que interagir uma com a outra para atingir a homogeneidade.

ENTROPIA

É a quantidade de energia que pode ser extraída de um sistema. No caso da expansão do universo a entropia está aumentado.