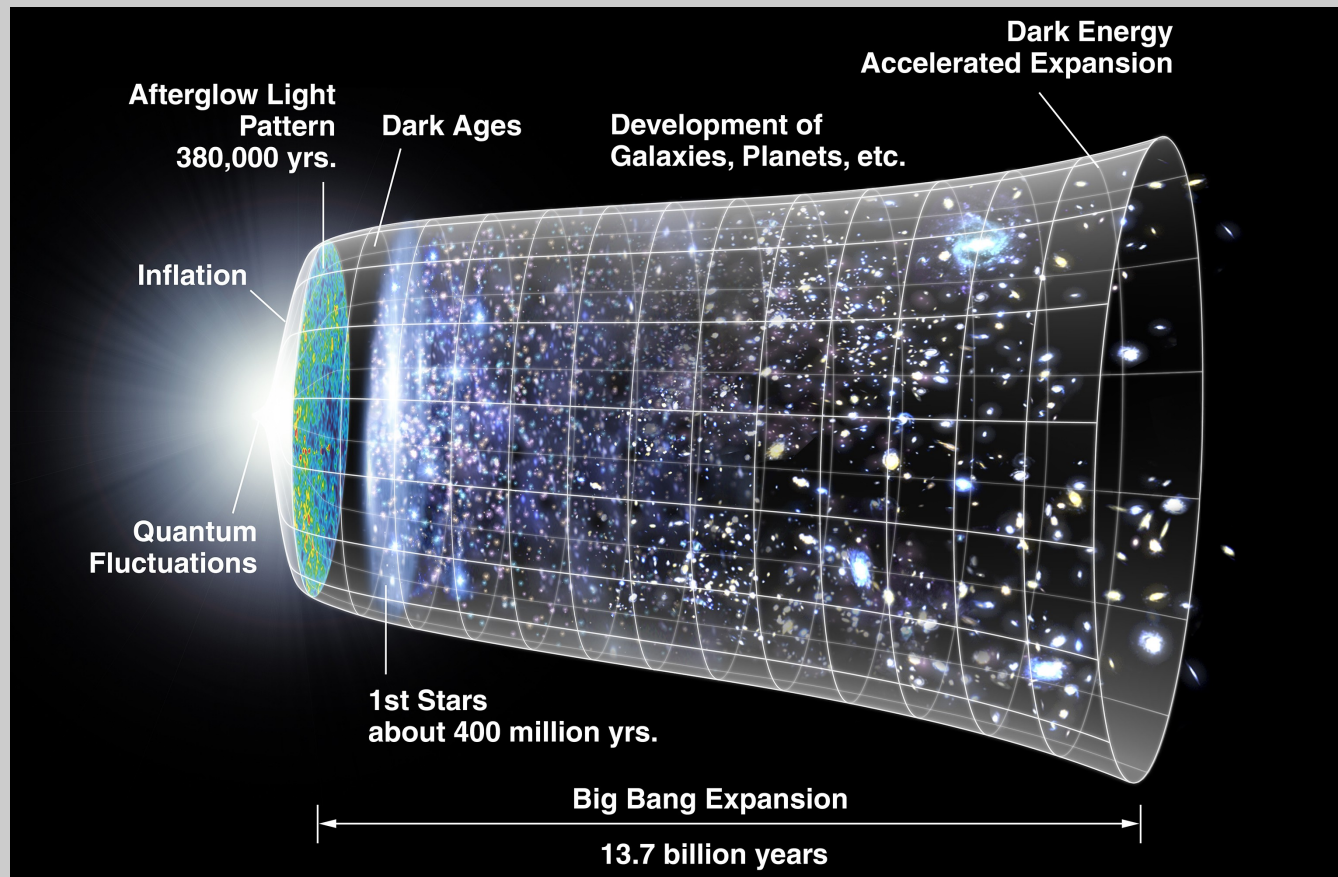


ASTRONOMIA EXTRAGALÁCTICA E COSMOLOGIA



Cosmologia

É o estudo da origem, da evolução e do eventual destino do Universo *como um todo*.

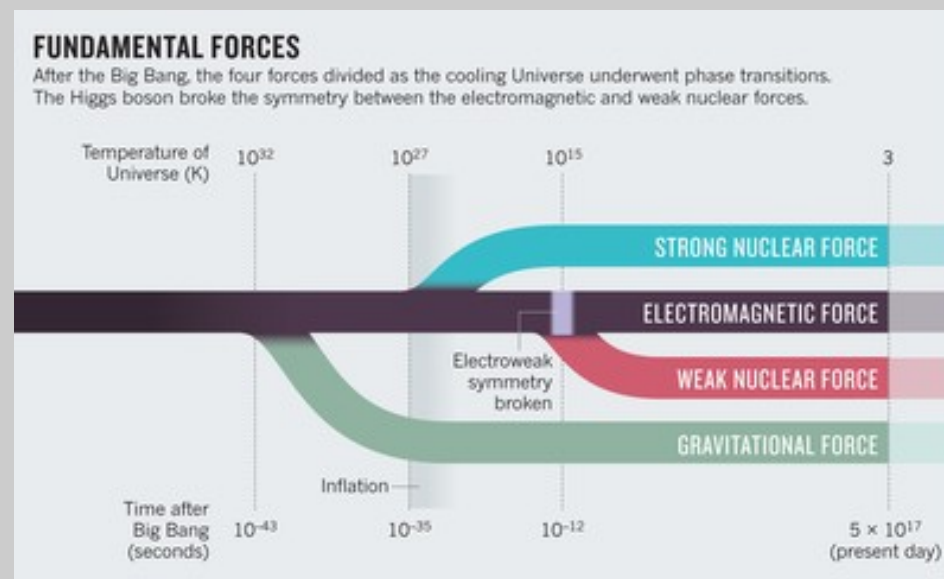


A Cronologia do Universo

- **Inicialmente, o Universo era tão quente e energético que partículas de matéria não podiam existir.**

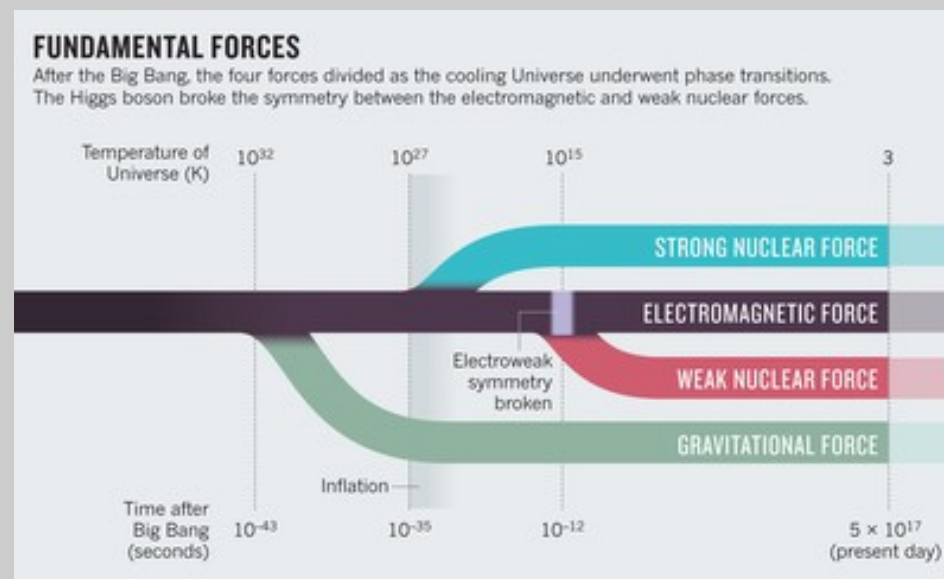
A Cronologia do Universo

- Inicialmente, o Universo era tão quente e energético que partículas de matéria não podiam existir.
- As quatro forças fundamentais estavam unificadas.



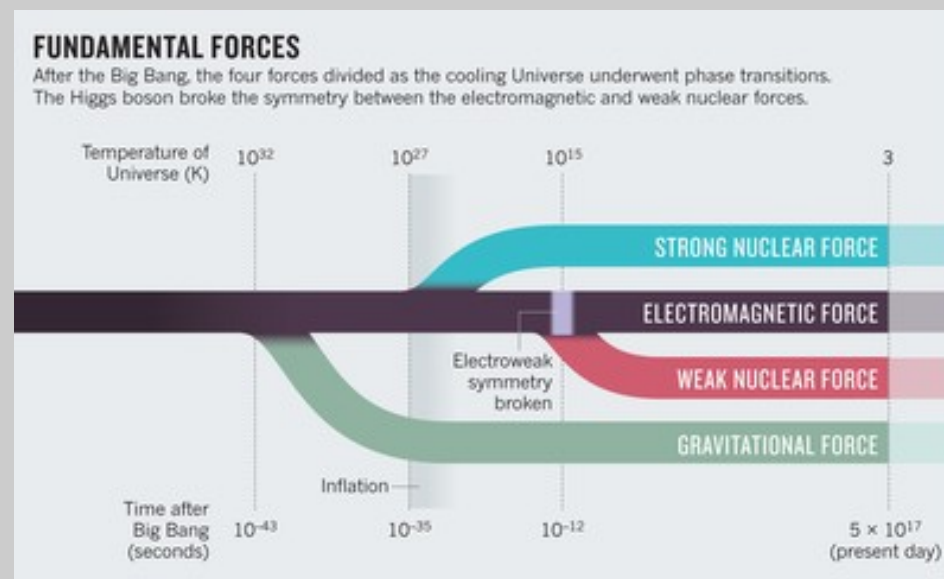
A Cronologia do Universo

- Inicialmente, o Universo era tão quente e energético que partículas de matéria não podiam existir.
- As quatro forças fundamentais estavam unificadas.
- O espaço tempo expandiu-se em uma *época inflacionária* e gradualmente o Universo esfriou-se.



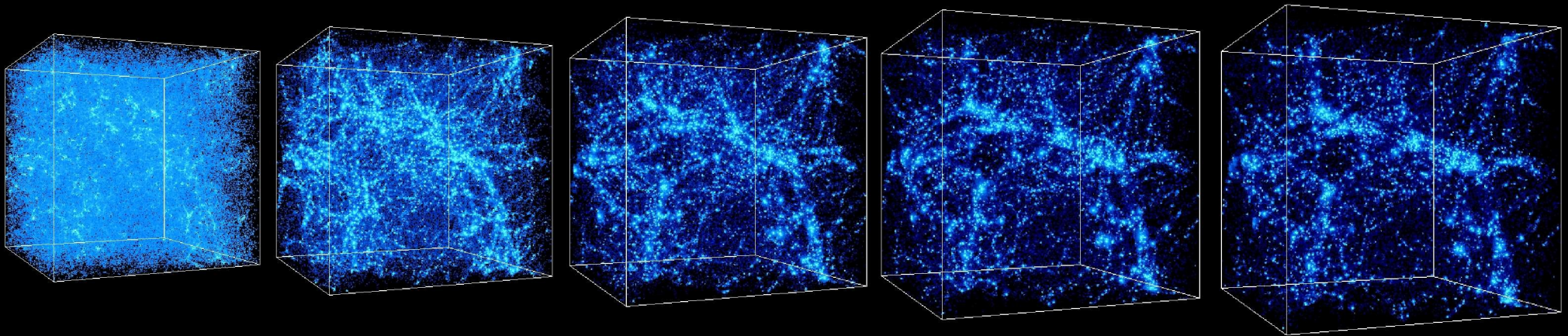
A Cronologia do Universo

- Inicialmente, o Universo era tão quente e energético que partículas de matéria não podiam existir.
- As quatro forças fundamentais estavam unificadas.
- O espaço tempo expandiu-se em uma *época inflacionária* e gradualmente o Universo esfriou-se.
- As forças passaram então por quebra de simetria. Forças forte e eletrofraca separaram-se e as primeiras partículas surgiram.



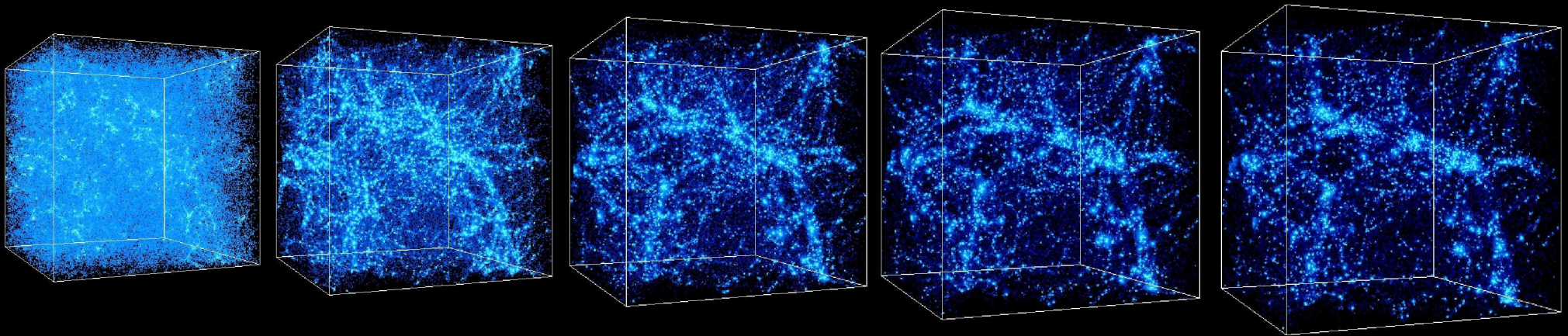
A Cronologia do Universo

- Com a continuidade do esfriamento, os primeiros átomos neutros se formaram (~80% hidrogênio).



A Cronologia do Universo

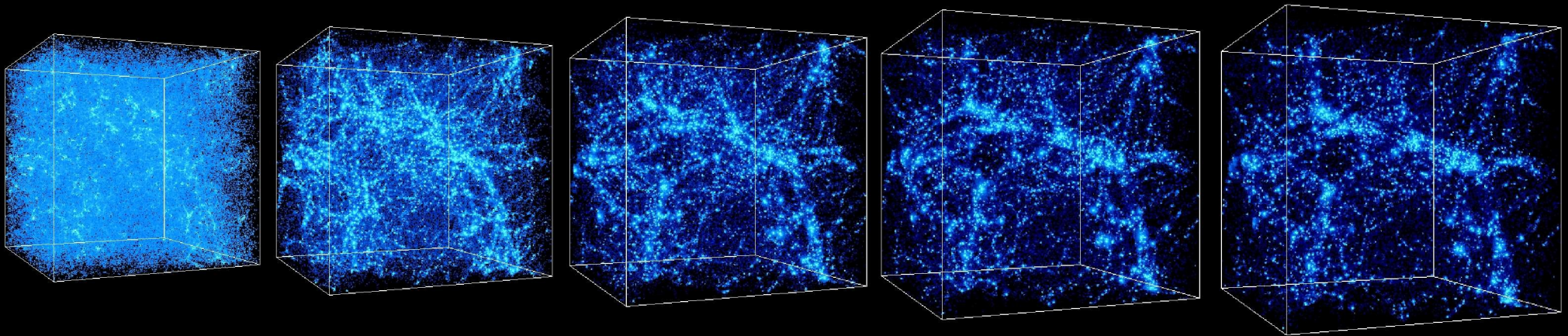
- Com a continuidade do esfriamento, os primeiros átomos neutros se formaram (~80% hidrogênio).
- A radiação cósmica de fundo em micro-ondas foi emitida.



A Cronologia do Universo

- Com a continuidade do esfriamento, os primeiros átomos neutros se formaram (~80% hidrogênio).
- A radiação cósmica de fundo em micro-ondas foi emitida.
- Estruturas em larga escala começaram a formar-se: estrelas, quasares, galáxias, aglomerados de galáxias.

<https://www.youtube.com/watch?v=74lsySs3RGU>



A Era de Planck – 0 a 10^{-43} s

→ Época em que a temperatura era alta e as forças estavam unificadas.

A Era de Planck – 0 a 10^{-43} s

- Época em que a temperatura era alta e as forças estavam unificadas.
- Como a escala do Universo era extremamente pequena, efeitos quânticos de gravidade dominavam as interações físicas.

A Era de Planck – 0 a 10^{-43} s

- Época em que a temperatura era alta e as forças estavam unificadas.
- Como a escala do Universo era extremamente pequena, efeitos quânticos de gravidade dominavam as interações físicas.
- Pouco é entendido da física nessa época, até porque não conseguimos realizar experimentos a energias tão altas.

A Era de Planck – 0 a 10^{-43} s

- Época em que a temperatura era alta e as forças estavam unificadas.
- Como a escala do Universo era extremamente pequena, efeitos quânticos de gravidade dominavam as interações físicas.
- Pouco é entendido da física nessa época, até porque não conseguimos realizar experimentos a energias tão altas.
- Diferentes cenários são propostos por diferentes hipóteses para tratá-la.

A Era de Planck – 0 a 10^{-43} s

- Época em que a temperatura era alta e as forças estavam unificadas.
- Como a escala do Universo era extremamente pequena, efeitos quânticos de gravidade dominavam as interações físicas.
- Pouco é entendido da física nessa época, até porque não conseguimos realizar experimentos a energias tão altas.
- Diferentes cenários são propostos por diferentes hipóteses para tratá-la.
 - A Teoria do Big Bang tradicional prevê uma singularidade gravitacional, mas ela é baseada na Relatividade Geral, que não incorpora efeitos quânticos.

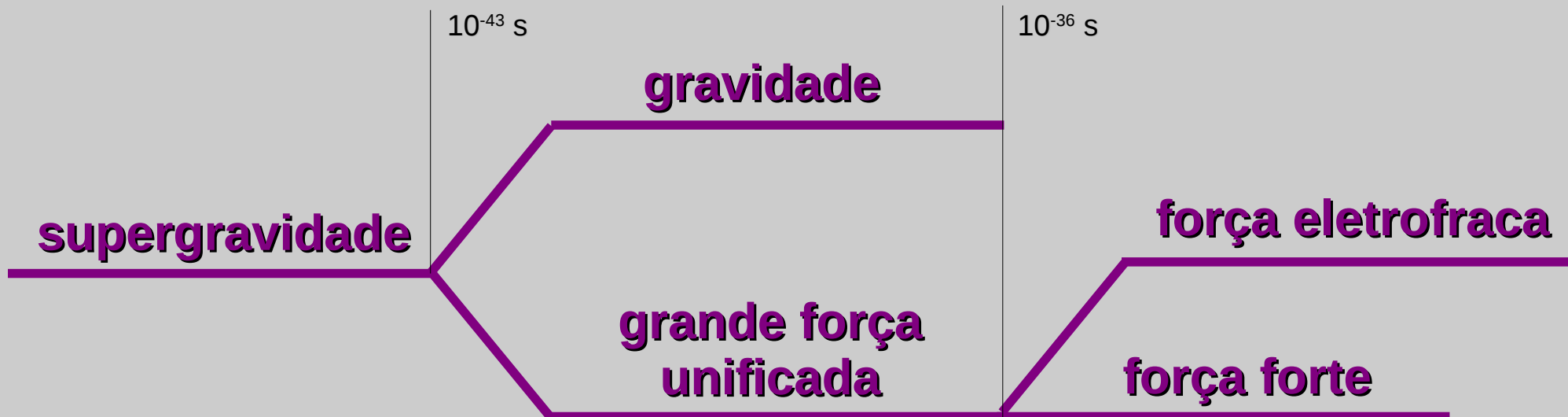
Era da Grande Unificação – 10^{-43} a 10^{-36} s

→ Conforme o Universo expandia e esfriava, passou por temperaturas de transição em que as forças separaram-se.



Era da Grande Unificação – 10^{-43} a 10^{-36} s

- Conforme o Universo expandia e esfriava, passou por temperaturas de transição em que as forças separaram-se.
- Esses processos são *transições de fase*, assim como, por exemplo, condensação e sublimação.



Era da Grande Unificação – 10^{-43} a 10^{-36} s

- Conforme o Universo expandia e esfriava, passou por temperaturas de transição em que as forças separaram-se.
- Esses processos são *transições de fase*, assim como, por exemplo, condensação e sublimação.
- Esta era começou quando a gravidade separou-se das demais forças, conhecidas como forças de calibre (ou forças de *gauge*).



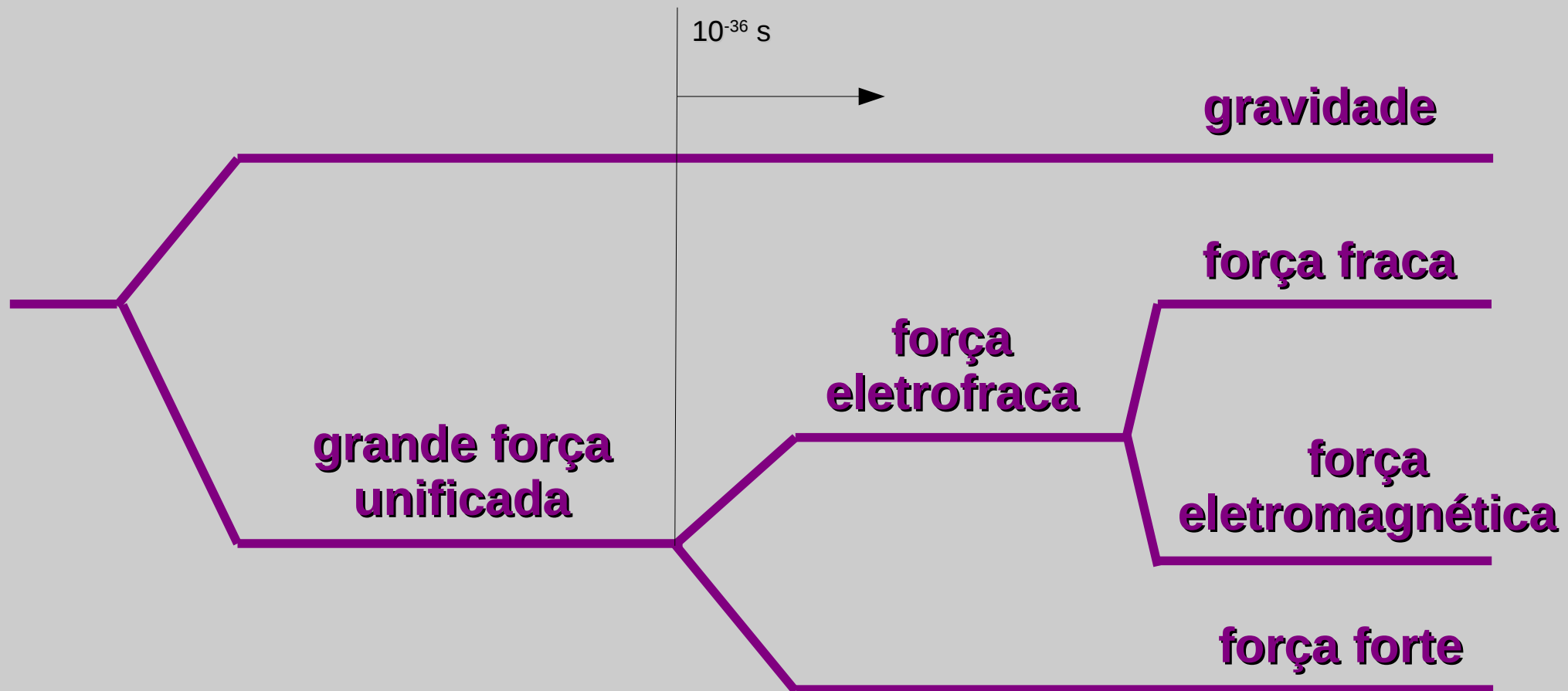
Era da Grande Unificação – 10^{-43} a 10^{-36} s

- Conforme o Universo expandia e esfriava, passou por temperaturas de transição em que as forças separaram-se.
- Esses processos são *transições de fase*, assim como, por exemplo, condensação e sublimação.
- Esta era começou quando a gravidade separou-se das demais forças, conhecidas como forças de calibre (ou forças de *gauge*).
- A era termina quando as forças eletrofraca e forte se separam.



Era Eletrofraca – 10^{-36} a 10^{-32} s

→ Começou quando a temperatura era baixa o suficiente ($\sim 10^{28}$ K) para que a força forte se separasse da eletrofraca.



Era Inflacionária – ???

→ Foi uma era de expansão acelerada produzida por um campo hipotético chamado *ínflaton*, com propriedades semelhantes à energia escura e ao campo de Higgs.

Era Inflacionária – ???

- Foi uma era de expansão acelerada produzida por um campo hipotético chamado *ínflaton*, com propriedades semelhantes à energia escura e ao campo de Higgs.
- Essa expansão rápida faria o Universo mais homogêneo, o que explicaria o que é observado hoje no Universo em grande escala, mesmo que o Universo fosse altamente desordenado antes da inflação.

Era Inflacionária – ???

- Foi uma era de expansão acelerada produzida por um campo hipotético chamado *ínflaton*, com propriedades semelhantes à energia escura e ao campo de Higgs.
- Essa expansão rápida faria o Universo mais homogêneo, o que explicaria o que é observado hoje no Universo em grande escala, mesmo que o Universo fosse altamente desordenado antes da inflação.
- O período encerrou-se quando o campo *ínflaton* decaiu em partículas comuns em um processo chamado *reaquecimento*. A partir daí, o Universo continuou se expandindo de forma normal.

Era Inflacionária – ???

- Foi uma era de expansão acelerada produzida por um campo hipotético chamado *ínflaton*, com propriedades semelhantes à energia escura e ao campo de Higgs.
- Essa expansão rápida faria o Universo mais homogêneo, o que explicaria o que é observado hoje no Universo em grande escala, mesmo que o Universo fosse altamente desordenado antes da inflação.
- O período encerrou-se quando o campo *ínflaton* decaiu em partículas comuns em um processo chamado *reaquecimento*. A partir daí, o Universo continuou se expandindo de forma normal.
- A duração do período é incerta.

Bariogênese

→ É um fato observacional que o Universo contém muito mais partículas do que antipartículas, mas não existem evidências observacionais o suficiente para que se encontre uma explicação.

Bariogênese

- É um fato observacional que o Universo contém muito mais partículas do que antipartículas, mas não existem evidências observacionais o suficiente para que se encontre uma explicação.
- Esse é o período em que essa assimetria ocorreu. Existem algumas teorias para explicá-la, exigindo (condições de *Sakharov*):
 - violação da conservação do número bariônico;
 - violação de simetria CP;
 - interações fora de equilíbrio termodinâmico.

Bariogênese

- É um fato observacional que o Universo contém muito mais partículas do que antipartículas, mas não existem evidências observacionais o suficiente para que se encontre uma explicação.
- Esse é o período em que essa assimetria ocorreu. Existem algumas teorias para explicá-la, exigindo (condições de *Sakharov*):
 - violação da conservação do número bariônico;
 - violação de simetria CP;
 - interações fora de equilíbrio termodinâmico.
- Contudo, experimentos indicam que essas assimetrias ocorrem muito pouco para explicar a assimetria bárion-antibárion observada.

Quebra de Simetria Eletrofraca e a Era dos Quarks

– 10^{-12} a 10^{-6} s

→ Acredita-se que com a contínua queda de temperatura, o campo de Higgs levou espontaneamente à quebra da simetria de calibre eletrofraca, o que teve duas consequências:

Quebra de Simetria Eletrofraca e a Era dos Quarks

– 10^{-12} a 10^{-6} s

→ **Acredita-se que com a contínua queda de temperatura, o campo de Higgs levou espontaneamente à quebra da simetria de calibre eletrofraca, o que teve duas consequências:**

1. As forças fraca e eletromagnética se separaram, com respectivos bósons (W, Z e fótons) que se manifestam de formas diferentes no presente Universo.

Quebra de Simetria Eletrofraca e a Era dos Quarks

– 10^{-12} a 10^{-6} s

→ Acredita-se que com a contínua queda de temperatura, o campo de Higgs levou espontaneamente à quebra da simetria de calibre eletrofraca, o que teve duas consequências:

1. As forças fraca e eletromagnética se separaram, com respectivos bósons (W, Z e fótons) que se manifestam de formas diferentes no presente Universo.

2. Pelo *mecanismo de Higgs*, todas as partículas elementares adquiriram massas. A níveis mais altos de energia, elas eram não massivas.

Quebra de Simetria Eletrofraca e a Era dos Quarks

– 10^{-12} a 10^{-6} s

→ Acredita-se que com a contínua queda de temperatura, o campo de Higgs levou espontaneamente à quebra da simetria de calibre eletrofraca, o que teve duas consequências:

1. As forças fraca e eletromagnética se separaram, com respectivos bósons (W, Z e fótons) que se manifestam de formas diferentes no presente Universo.

2. Pelo *mecanismo de Higgs*, todas as partículas elementares adquiriram massas. A níveis mais altos de energia, elas eram não massivas.

→ No fim deste período, as interações fundamentais (gravidade, eletromagnetismo e forças forte e fraca) tinham suas formas atuais, e todas as partículas tinham massas, mas a temperatura do Universo ainda era muito alta para permitir que os quarks se juntassem para formar hádrons (como prótons e nêutrons).

Fermions

matter particles

Quarks



Leptons



Gauge bosons

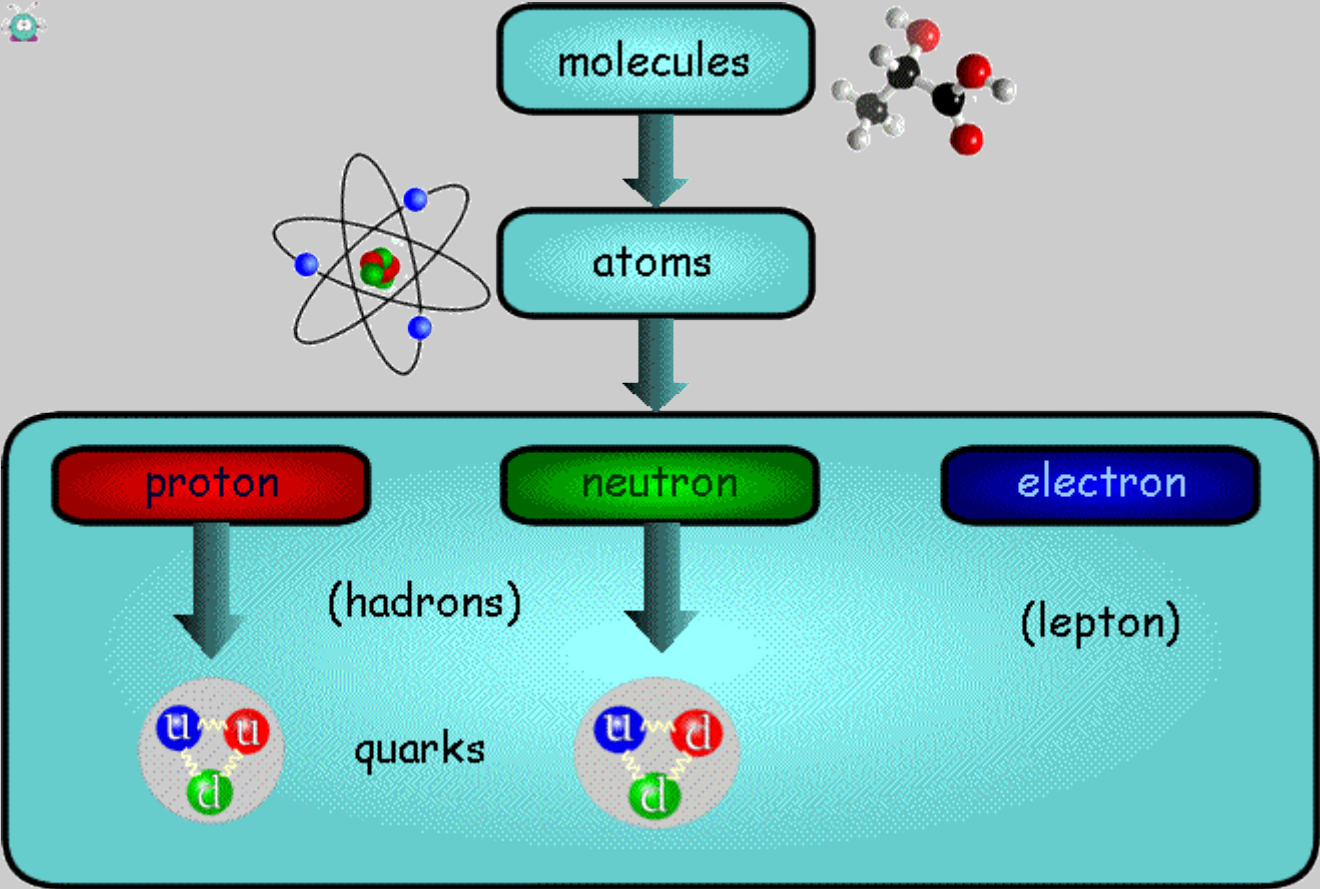
force carriers



Higgs boson

origin of mass





Era dos Hádrons – 10^{-6} a 1s

- O plasma de quarks e glúons que compõe o Universo se esfria até que hádrons se formem.

Era dos Hádrons – 10^{-6} a 1s

- O plasma de quarks e glúons que compõe o Universo se esfria até que hádrons se formem.
- Por volta de 1 s após o Big Bang, neutrinos se desacoplaram e passaram a viajar livremente pelo espaço.

Era dos Hádrons – 10^{-6} a 1s

- O plasma de quarks e glúons que compõe o Universo se esfria até que hádrons se formem.
- Por volta de 1 s após o Big Bang, neutrinos se desacoplaram e passaram a viajar livremente pelo espaço.
- Esse fundo de neutrinos é análogo à radiação cósmica de fundo em micro-ondas, emitida muito tempo depois, mas tem energia tão baixa que provavelmente nunca será detectado.

Era dos Hádrons – 10^{-6} a 1s

- O plasma de quarks e glúons que compõe o Universo se esfria até que hádrons se formem.
- Por volta de 1 s após o Big Bang, neutrinos se desacoplaram e passaram a viajar livremente pelo espaço.
 - Esse fundo de neutrinos é análogo à radiação cósmica de fundo em micro-ondas, emitida muito tempo depois, mas tem energia tão baixa que provavelmente nunca será detectado.
- Existem, contudo, evidências indiretas de que esse fundo de neutrinos existe, como anisotropias na radiação cósmica de fundo em micro-ondas.

Era dos Léptons - 1 a 10s

- A maioria dos hádrons e anti-hádrons aniquilou-se no fim da era dos hádrons, de modo que léptons e anti-léptons dominaram a massa do Universo.

Era dos Léptons – 1 a 10s

- A maioria dos hádrons e anti-hádrons aniquilou-se no fim da era dos hádrons, de modo que léptons e anti-léptons dominaram a massa do Universo.
- Aproximadamente 10s depois do Big Bang, a temperatura do Universo caiu tanto que novos pares lépton/anti-lépton deixaram de ser criados, e a maioria dos pares existentes se aniquila, deixando um quantidade residual de léptons.

Era dos Fótons – 10s a 380 000 anos

→ Como a maior parte dos pares lépton/anti-léptons foram aniquilados, a energia do Universo passa a ser dominada por fótons.

Era dos Fótons – 10s a 380 000 anos

- Como a maior parte dos pares lépton/anti-léptons foram aniquilados, a energia do Universo passa a ser dominada por fótons.
- Esses fótons interagem com prótons, elétrons e até mesmo alguns núcleos pelos próximos 380 000 anos.

*** Nucleossíntese primordial – 3 a 20 min**

→ Durante a era dos fótons, a temperatura do Universo caiu o suficiente para que núcleos atômicos se formassem.

* **Nucleossíntese primordial – 3 a 20 min**

- **Durante a era dos fótons, a temperatura do Universo caiu o suficiente para que núcleos atômicos se formassem.**
- **Prótons e nêutrons combinaram-se em núcleos atômicos por processo de fusão nuclear.**

* Nucleossíntese primordial – 3 a 20 min

- Durante a era dos fótons, a temperatura do Universo caiu o suficiente para que núcleos atômicos se formassem.
- Prótons e nêutrons combinaram-se em núcleos atômicos por processo de fusão nuclear.
- Esse processo gerou deutérios, que se fundiram em ^4He .

* Nucleossíntese primordial – 3 a 20 min

- Durante a era dos fótons, a temperatura do Universo caiu o suficiente para que núcleos atômicos se formassem.
- Prótons e nêutrons combinaram-se em núcleos atômicos por processo de fusão nuclear.
- Esse processo gerou deutérios, que se fundiram em ^4He .
- No fim deste processo, que dura apenas cerca de 17 minutos, todos os nêutrons foram incorporados em núcleos de hélio.

* Nucleossíntese primordial – 3 a 20 min

- Durante a era dos fótons, a temperatura do Universo caiu o suficiente para que núcleos atômicos se formassem.
- Prótons e nêutrons combinaram-se em núcleos atômicos por processo de fusão nuclear.
- Esse processo gerou deutérios, que se fundiram em ^4He .
- No fim deste processo, que dura apenas cerca de 17 minutos, todos os nêutrons foram incorporados em núcleos de hélio.
- O saldo final é uma quantidade três vezes maior (em massa) de hidrogênio do que de hélio e apenas traços de outros átomos leves (Li, Be).

Prevalência de Matéria – 70 000 anos

- Neste ponto, as densidades de matéria (átomos) e radiação (fótons) são iguais.

Prevalência de Matéria – 70 000 anos

- Neste ponto, as densidades de matéria (átomos) e radiação (fótons) são iguais.
- O *comprimento de Jeans*, que determina o tamanho mínimo de uma estrutura que pode colapsar por efeito gravitacional, diminui e perturbações podem crescer em amplitude.

Prevalência de Matéria – 70 000 anos

- Neste ponto, as densidades de matéria (átomos) e radiação (fótons) são iguais.
- O *comprimento de Jeans*, que determina o tamanho mínimo de uma estrutura que pode colapsar por efeito gravitacional, diminui e perturbações podem crescer em amplitude.
- De acordo com Λ CDM, matéria escura fria domina neste estágio, permitindo que o colapso gravitacional amplifique as inhomogeneidades que permaneceram após o período de inflação.

Prevalência de Matéria – 70 000 anos

- Neste ponto, as densidades de matéria (átomos) e radiação (fótons) são iguais.
- O *comprimento de Jeans*, que determina o tamanho mínimo de uma estrutura que pode colapsar por efeito gravitacional, diminui e perturbações podem crescer em amplitude.
- De acordo com Λ CDM, matéria escura fria domina neste estágio, permitindo que o colapso gravitacional amplifique as inhomogeneidades que permaneceram após o período de inflação.
- Contudo, como as teorias sobre a natureza da matéria escura são inconclusivas, não existe consenso sobre sua origem.

Recombinação – 377 000 anos

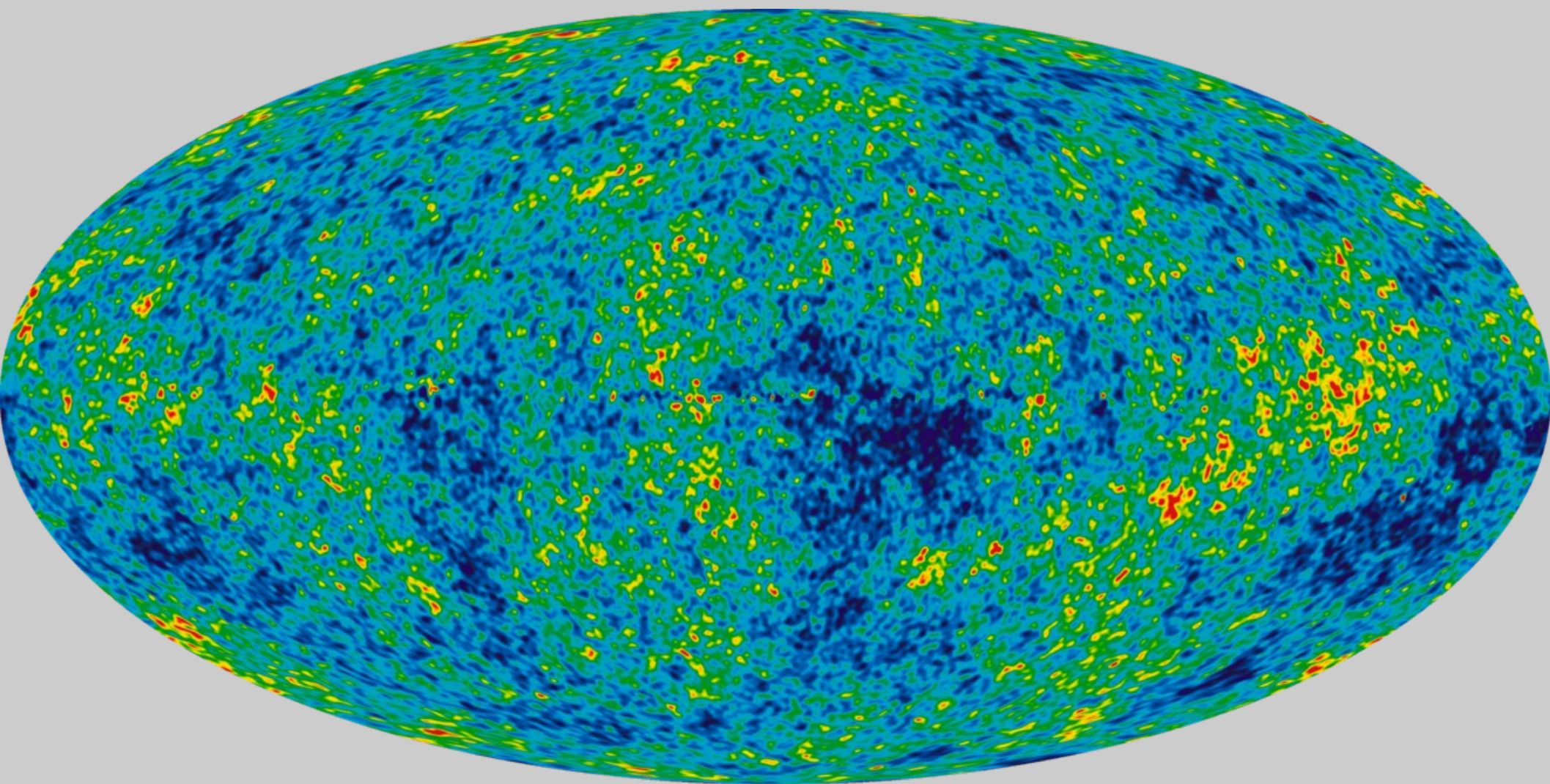
→ Os primeiros núcleos formados, de hidrogênio e hélio, estavam ionizados. Conforme o Universo esfriava, elétrons foram capturados por esses íons, formando átomos neutros.

Recombinação – 377 000 anos

- Os primeiros núcleos formados, de hidrogênio e hélio, estavam ionizados. Conforme o Universo esfriava, elétrons foram capturados por esses íons, formando átomos neutros.
- Esse processo é relativamente rápido e é conhecido como *recombinação*. No fim da recombinação, a maioria dos prótons forma átomos neutros e, com isso, o Universo torna-se transparente.

Recombinação – 377 000 anos

- Os primeiros núcleos formados, de hidrogênio e hélio, estavam ionizados. Conforme o Universo esfriava, elétrons foram capturados por esses íons, formando átomos neutros.
- Esse processo é relativamente rápido e é conhecido como *recombinação*. No fim da recombinação, a maioria dos prótons forma átomos neutros e, com isso, o Universo torna-se transparente.
- Os fótons presentes nessa época são os mesmo que vemos na radiação cósmica de fundo em micro-ondas, que é então um registro do Universo em tal época, incluindo as pequenas flutuações geradas durante a inflação.



Formação de Estruturas

- Segundo o modelo do Big Bang, estruturas formaram-se de maneira hierárquica, com estruturas menores formando-se antes das maiores.

Formação de Estruturas

- Segundo o modelo do Big Bang, estruturas formaram-se de maneira hierárquica, com estruturas menores formando-se antes das maiores.
- Primeiras estruturas: quasares e estrelas de população III.

Formação de Estruturas

- Segundo o modelo do Big Bang, estruturas formaram-se de maneira hierárquica, com estruturas menores formando-se antes das maiores.
- Primeiras estruturas: quasares e estrelas de população III.
 - As estrelas de população III começam o processo de transformar os elementos leves que se formaram no Big Bang em elementos pesados.

Formação de Estruturas

- Segundo o modelo do Big Bang, estruturas formaram-se de maneira hierárquica, com estruturas menores formando-se antes das maiores.
- Primeiras estruturas: quasares e estrelas de população III.
 - As estrelas de população III começam o processo de transformar os elementos leves que se formaram no Big Bang em elementos pesados.
- Estima-se que essas estrelas formaram-se 560 milhões de anos após o Big Bang.

Formação de Estruturas

- Segundo o modelo do Big Bang, estruturas formaram-se de maneira hierárquica, com estruturas menores formando-se antes das maiores.
- Primeiras estruturas: quasares e estrelas de população III.
 - As estrelas de população III começam o processo de transformar os elementos leves que se formaram no Big Bang em elementos pesados.
- Estima-se que essas estrelas formaram-se 560 milhões de anos após o Big Bang.
 - Grandes volumes de matéria colapsaram para formar galáxias. Estrelas de população II formaram-se durante este processo, e estrelas de população I formaram-se depois.

Formação de Estruturas

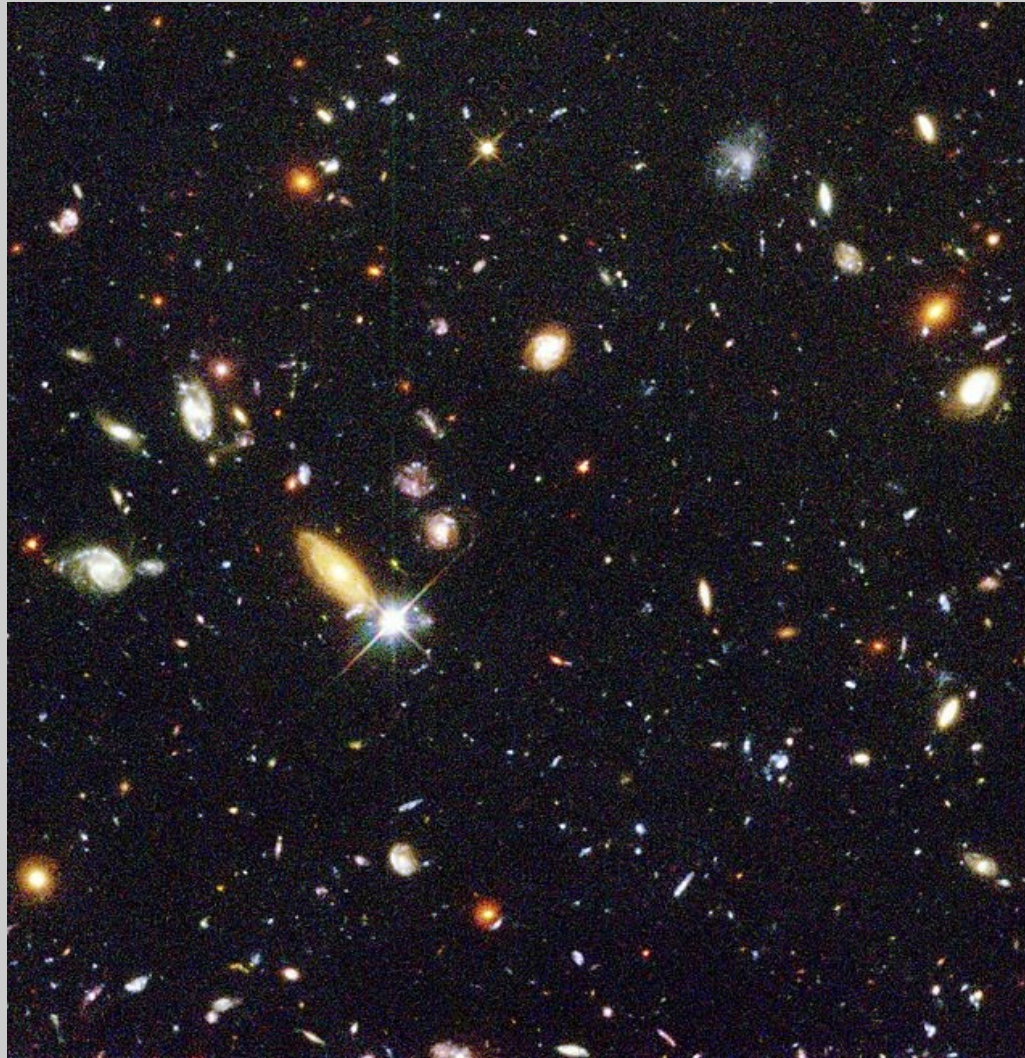
- Segundo o modelo do Big Bang, estruturas formaram-se de maneira hierárquica, com estruturas menores formando-se antes das maiores.
- Primeiras estruturas: quasares e estrelas de população III.
 - As estrelas de população III começam o processo de transformar os elementos leves que se formaram no Big Bang em elementos pesados.
- Estima-se que essas estrelas formaram-se 560 milhões de anos após o Big Bang.
 - Grandes volumes de matéria colapsaram para formar galáxias. Estrelas de população II formaram-se durante este processo, e estrelas de população I formaram-se depois.
- Interação gravitacional faz com que galáxias aproximem-se e formem grupos, aglomerados e super-aglomerados.

Idade cósmica	Temperatura	Eventos marcantes
$< 10^{-44}$ segundos	$> 10^{32}$ K	Big Bang.
		Unificação das 4 forças.
		Era de Planck.
10^{-44} segundos	10^{32} K	Gravidade se separa das outras forças.
		Era das GUT's (teorias da grande unificação
		das forças nucleares forte e fraca e da força eletromagnética).
10^{-35} segundos	10^{28} K	Força nuclear forte se separa da força
		eletro-fraca.
10^{-32} segundos	10^{27} K	Fim da era da Inflação. Universo se expande rapidamente.
10^{-10} segundos	10^{15} K	Era da radiação. Forças eletromagnéticas e fracas se separam.

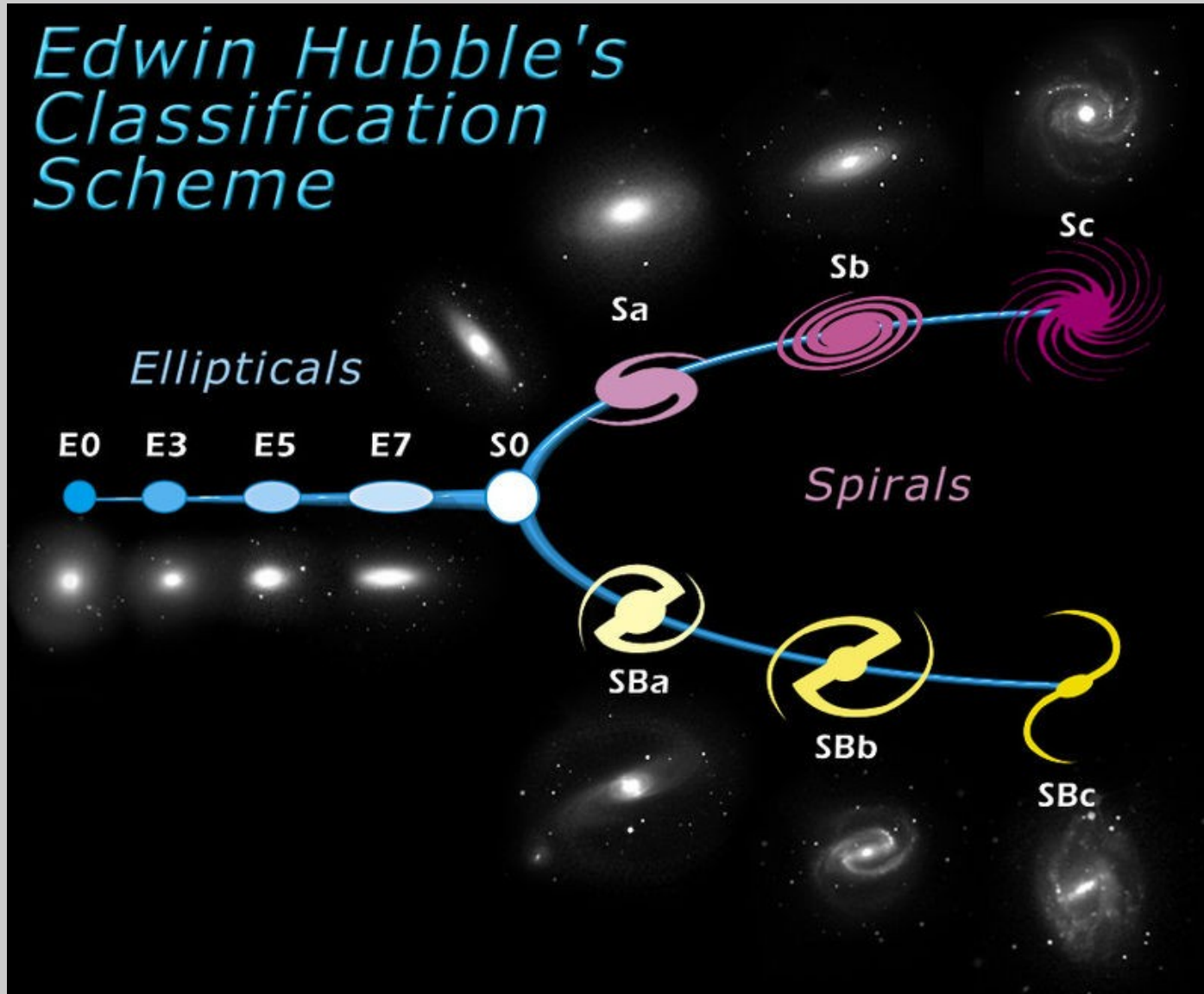
10^{-7} segundos	10^{14} K	Era das partículas pesadas (era hadrônica).
		Fótons colidem para construir
		prótons, antiprótons, quarks, e antiquarks.
10^{-1} segundos	10^{12} K	Era das partículas leves (era leptônica).
		Fótons retêm energia suficiente apenas para construir
		partículas leves como elétrons e pósitrons.
3 minutos	10^{10} K	Era da nucleossíntese.
		Prótons e elétrons interagem para formar nêutrons.
		Prótons e nêutrons formam núcleos de deutério, hélio,
		e pequena quantidade de lítio e berílio.
380 000 anos	3000 K	Era da recombinação. Universo fica transparente.
		Radiação pode fluir livremente pelo espaço.
481 000 000 anos	100 K	Era da reionização, com a formação das primeiras estrelas.
1×10^9 anos	20 K	Formação de protoaglomerados de galáxias e de galáxias.
10×10^9 anos	3 K	Era presente.
		Formação do sistema solar.
		Desenvolvimento da vida.

Astronomia Extragaláctica

Estudo de objetos fora da Via-Láctea.

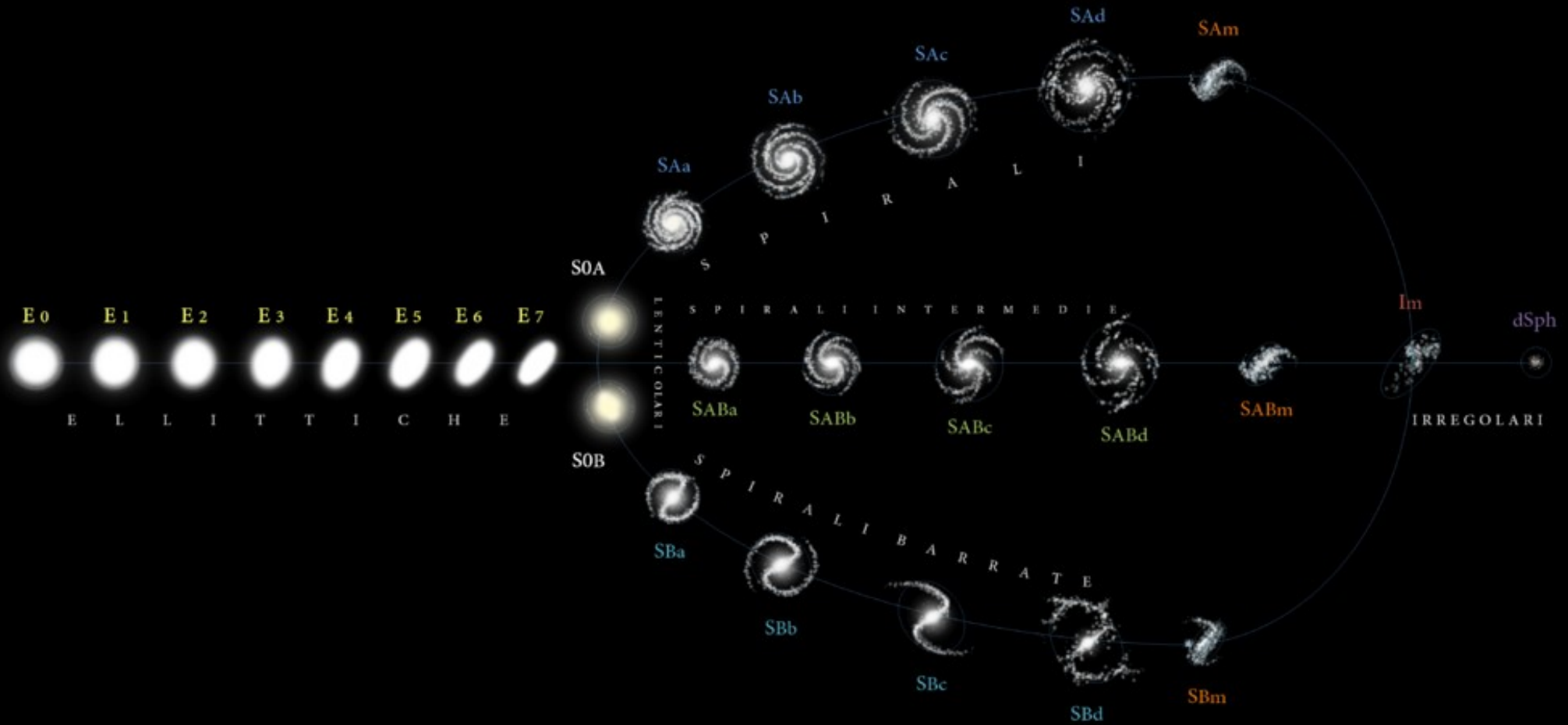


Morfología de Galáxias



Morfologia de Galáxias

Schema Hubble – Vaucouleurs



Galáxias Elípticas

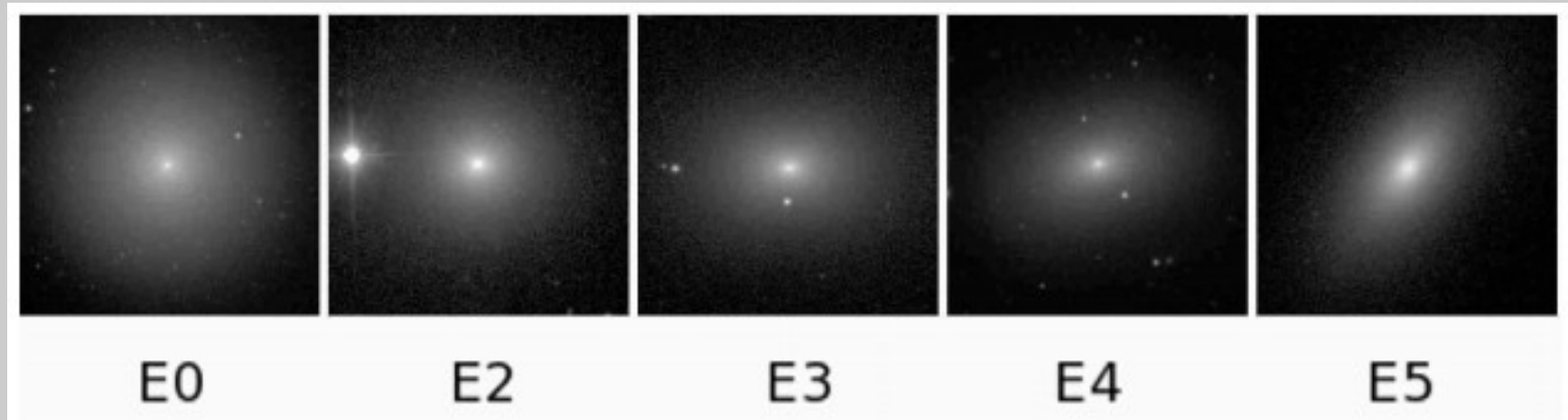
- **Têm distribuições de luz regulares e sem subestruturas.
Aparecem como elipses em imagens.**

Galáxias Elípticas

- Têm distribuições de luz regulares e sem subestruturas. Aparecem como elipses em imagens.
- São denotadas pela letra E, seguida de um número inteiro representando seu grau aparente de elipicidade:
 $10 (1 - b/a)$.

Galáxias Elípticas

- Têm distribuições de luz regulares e sem subestruturas. Aparecem como elipses em imagens.
- São denotadas pela letra E, seguida de um número inteiro representando seu grau aparente de elipicidade:
 $10 (1 - b/a)$.



NGC 1379, 3193, 5322, 1426 e 720.

Galáxias Elípticas

- Têm distribuições de luz regulares e sem subestruturas. Aparecem como elipses em imagens.
- São denotadas pela letra E, seguida de um número inteiro representando seu grau aparente de elipicidade:
 $10 (1 - b/a)$.
- Possuem pouco gás e, portanto, baixíssima taxa de formação estelar, sendo dominadas por populações estelares velhas.

Galáxias Elípticas

- **Têm distribuições de luz regulares e sem subestruturas. Aparecem como elipses em imagens.**
- **São denotadas pela letra E, seguida de um número inteiro representando seu grau aparente de elipicidade:**
 $10 (1 - b/a)$.
- **Possuem pouco gás e, portanto, baixíssima taxa de formação estelar, sendo dominadas por populações estelares velhas.**
- **O movimento das estrelas é predominantemente radial.**

Galáxias Elípticas

- **Têm distribuições de luz regulares e sem subestruturas. Aparecem como elipses em imagens.**
- **São denotadas pela letra E, seguida de um número inteiro representando seu grau aparente de elipicidade:**
 $10 (1 - b/a)$.
- **Possuem pouco gás e, portanto, baixíssima taxa de formação estelar, sendo dominadas por populações estelares velhas.**
 - **O movimento das estrelas é predominantemente radial.**
 - **São encontradas predominantemente em aglomerados e grupos.**

Galáxias Espirais

→ São compostas por um disco achatado, com estrelas formando uma estrutura espiral em braços e com uma concentração central de estrelas constituindo uma estrutura chamada de bojo, que tem aparência similar a uma galáxia espiral.

Galáxias Espirais

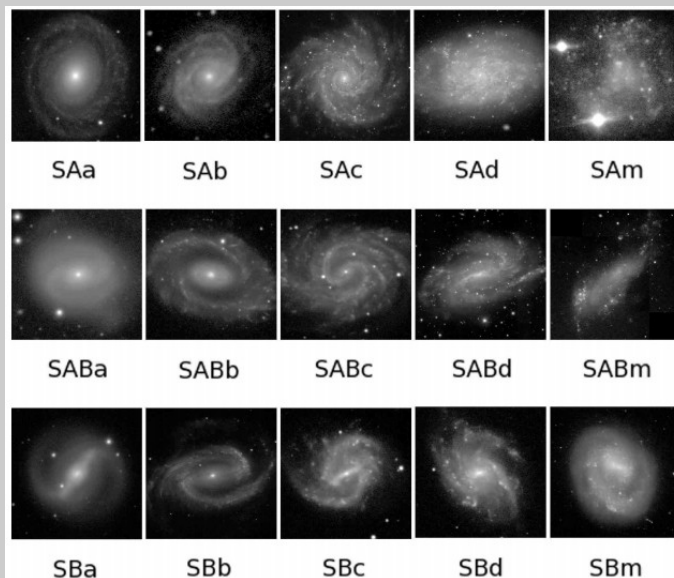
- São compostas por um disco achatado, com estrelas formando uma estrutura espiral em braços e com uma concentração central de estrelas constituindo uma estrutura chamada de bojo, que tem aparência similar a uma galáxia espiral.
- Muitas apresentam também uma estrutura em forma de barra envolta pelo bojo central.

Galáxias Espirais

- São compostas por um disco achatado, com estrelas formando uma estrutura espiral em braços e com uma concentração central de estrelas constituindo uma estrutura chamada de bojo, que tem aparência similar a uma galáxia espiral.
- Muitas apresentam também uma estrutura em forma de barra envolta pelo bojo central.
- São denotadas pelo símbolo *S* ou, quando apresentam uma barra, *SB*.

Galáxias Espirais

- São compostas por um disco achatado, com estrelas formando uma estrutura espiral em braços e com uma concentração central de estrelas constituindo uma estrutura chamada de bojo, que tem aparência similar a uma galáxia espiral.
- Muitas apresentam também uma estrutura em forma de barra envolta pelo bojo central.
- São denotadas pelo símbolo **S** ou, quando apresentam uma barra, **SB**.



NGC 4378, 7042, 628, 7793 e IC 4182;
NGC 7743, 210, 4535, 925 e IC 2574;
NGC 4314, 1300, 3513, 4519 e 4618.

Galáxias Lenticulares

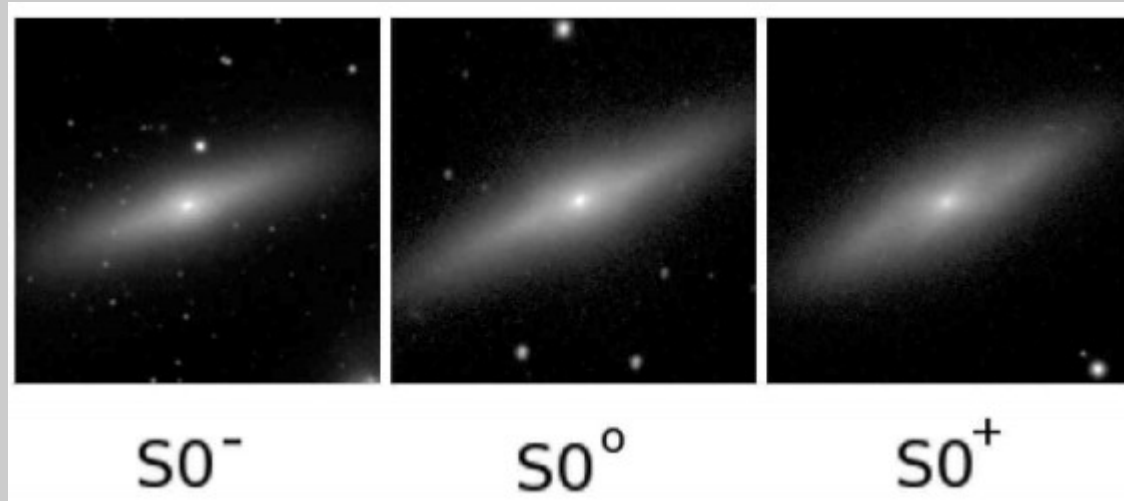
→ Consistem em um bojo central brilhante, envolto por uma estrutura discoidal extensa, mas sem estrutura espiral visível.

Galáxias Lenticulares

- Consistem em um bojo central brilhante, envolto por uma estrutura discoidal extensa, mas sem estrutura espiral visível.
- Não formam estrelas em quantidades significativas.

Galáxias Lenticulares

- Consistem em um bojo central brilhante, envolto por uma estrutura discoidal extensa, mas sem estrutura espiral visível.
- Não formam estrelas em quantidades significativas.



NGC 1596, 7332 e 4425.

Galáxias Irregulares

→ Não têm uma forma regular distinguível.

Galáxias Irregulares

- Não têm uma forma regular distinguível.
- São consequência de forças de maré agindo sobre uma galáxia elíptica ou espiral.

Galáxias Irregulares

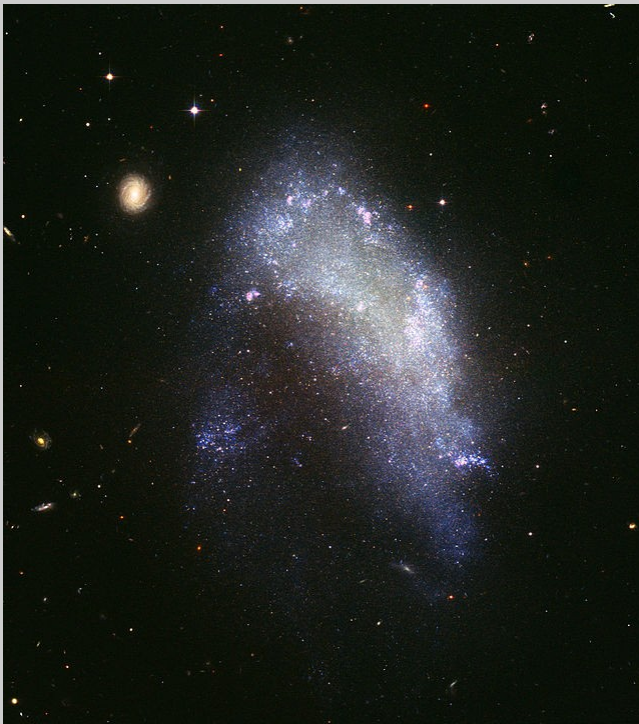
- Não têm uma forma regular distinguível.
- São consequência de forças de maré agindo sobre uma galáxia elíptica ou espiral.
- Podem conter quantias significativas de gás e poeira.

Galáxias Irregulares

- Não têm uma forma regular distinguível.
- São consequência de forças de maré agindo sobre uma galáxia elíptica ou espiral.
- Podem conter quantias significativas de gás e poeira.
 - São denotadas por Irr.

Galáxias Irregulares

- Não têm uma forma regular distinguível.
- São consequência de forças de maré agindo sobre uma galáxia elíptica ou espiral.
- Podem conter quantias significativas de gás e poeira.
 - São denotadas por Irr.



NGC 1427A

<http://www.galaxyzoo.org/>

Galáxias de Núcleo Ativo (AGNs)

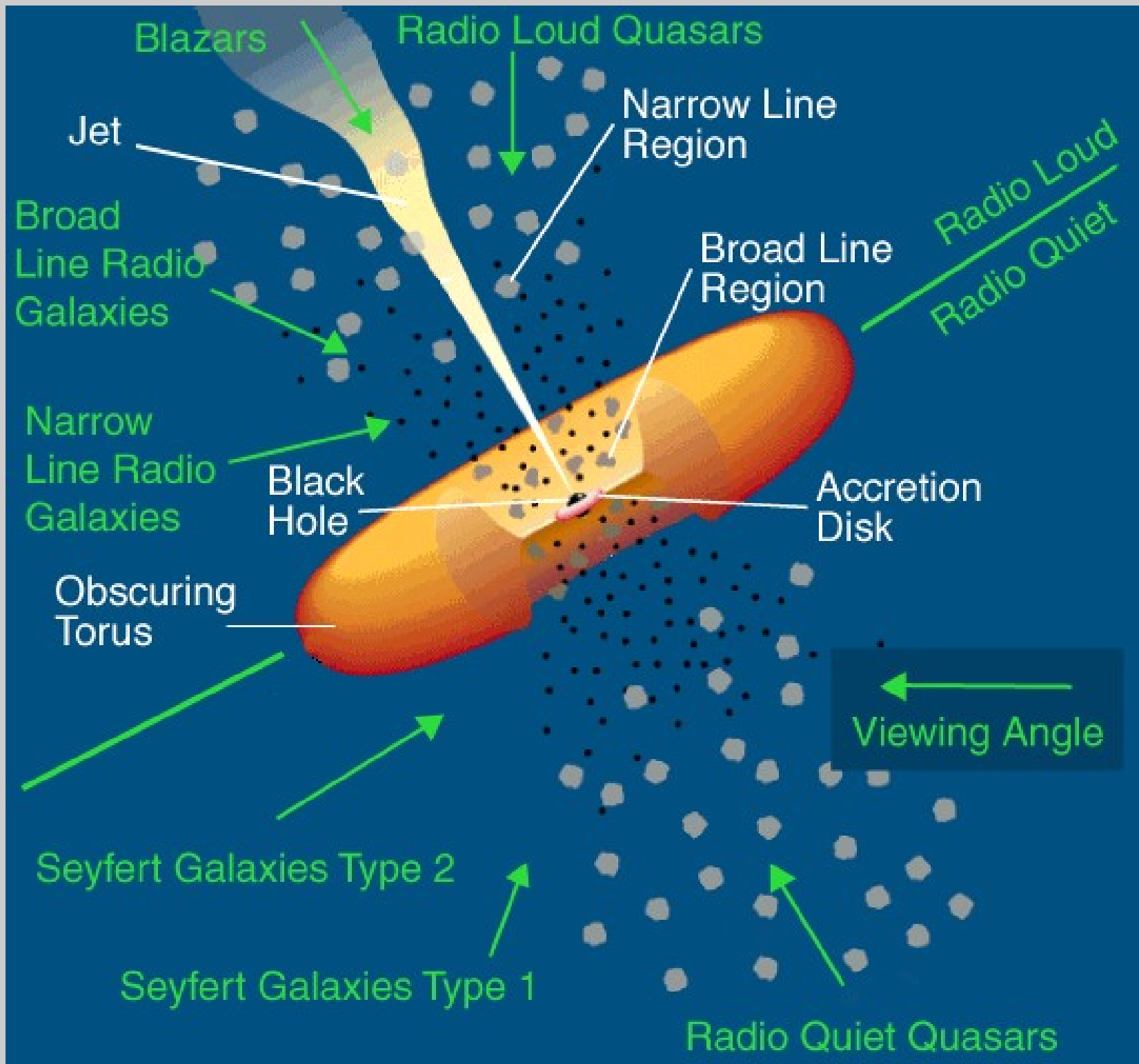
→ Possuem uma região compacta em seu centro cuja luminosidade é muito maior do que o esperado em algum comprimento de onda.

Galáxias de Núcleo Ativo (AGNs)

- Possuem uma região compacta em seu centro cuja luminosidade é muito maior do que o esperado em algum comprimento de onda.
- Tal excesso já foi observado em comprimentos de onda na faixa de rádio, micro-ondas, infravermelho, ótico, ultra-violeta, raio-X e raio-gamma.

Galáxias de Núcleo Ativo (AGNs)

- Possuem uma região compacta em seu centro cuja luminosidade é muito maior do que o esperado em algum comprimento de onda.
- Tal excesso já foi observado em comprimentos de onda na faixa de rádio, micro-ondas, infravermelho, ótico, ultra-violeta, raio-X e raio-gamma.
- Acredita-se que essa radiação resulta de acreção de massa por um buraco negro super-massivo no centro da galáxia.



Radio-loud AGNs

- São muito luminosos em rádio, com luminosidades de até 10^{39} W ($\approx 260 L_{\odot}$) entre 10 MHz e 100 GHz.

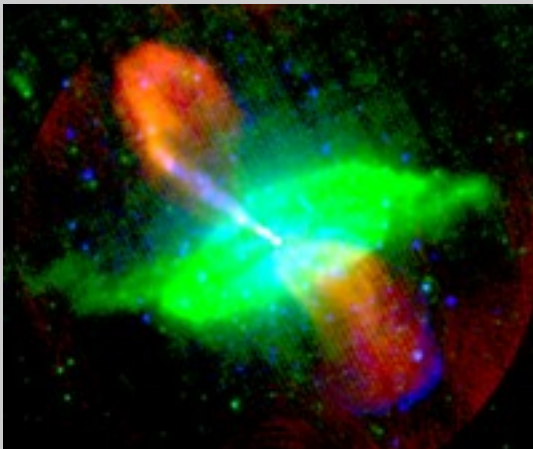


Imagem em cores artificiais da rádio-galáxia Centaurus A, mostrando emissões em rádio (*vermelho*), infravermelho (*verde*) e raios-X (*azul*).

Radio-loud AGNs

- São muito luminosos em rádio, com luminosidades de até 10^{39} W ($\approx 260 L_{\odot}$) entre 10 MHz e 100 GHz.
- Essa radiação é proveniente de processos síncrotron: aceleração de partículas carregadas.

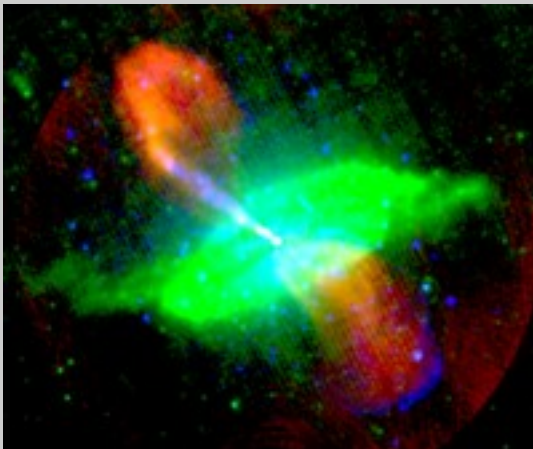


Imagem em cores artificiais da rádio-galáxia Centaurus A, mostrando emissões em rádio (*vermelho*), infravermelho (*verde*) e raios-X (*azul*).

Radio-loud AGNs

- São muito luminosos em rádio, com luminosidades de até 10^{39} W ($\approx 260 L_{\odot}$) entre 10 MHz e 100 GHz.
- Essa radiação é proveniente de processos síncrotron: aceleração de partículas carregadas.
- São, quase que exclusivamente, galáxias elípticas grandes.

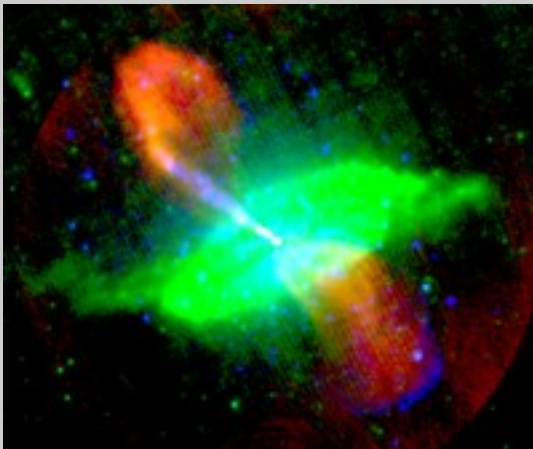


Imagem em cores artificiais da rádio-galáxia Centaurus A, mostrando emissões em rádio (vermelho), infravermelho (verde) e raios-X (azul).

Radio-loud AGNs

- São muito luminosos em rádio, com luminosidades de até 10^{39} W ($\approx 260 L_{\odot}$) entre 10 MHz e 100 GHz.
- Essa radiação é proveniente de processos síncrotron: aceleração de partículas carregadas.
- São, quase que exclusivamente, galáxias elípticas grandes.
- Como são bastante luminosos, podem ser detectadas a grandes distâncias, sendo importantes para a Cosmologia.

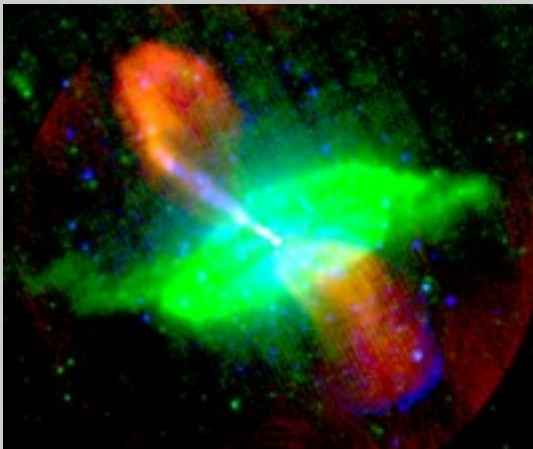


Imagem em cores artificiais da rádio-galáxia Centaurus A, mostrando emissões em rádio (vermelho), infravermelho (verde) e raios-X (azul).

Quasares

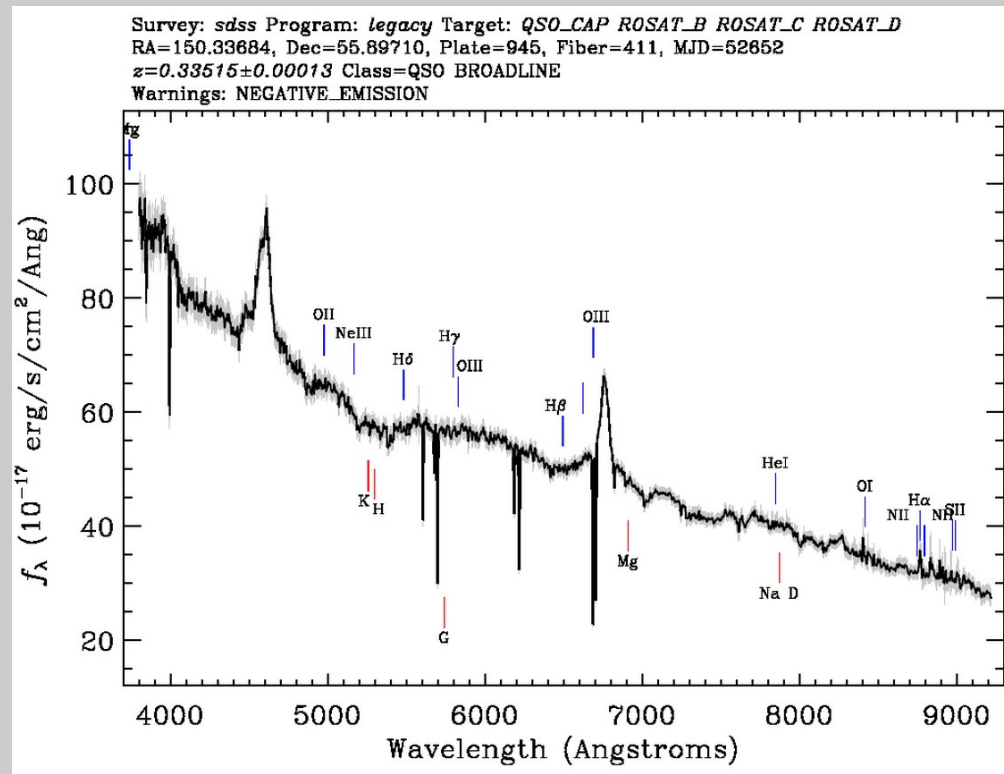
→ Quasares, ou fontes de rádio quasi-estelares (*quasi-stellar radio sources*), são o tipo mais energético e mais distante de galáxias ativas.

Quasares

- Quasares, ou fontes de rádio quasi-estelares (*quasi-stellar radio sources*), são o tipo mais energético e mais distante de galáxias ativas.
- Foram inicialmente identificados como fontes de radiação eletromagnética com alto *redshift*, parecendo mais semelhantes a estrelas do que a fontes extensas.

Quasares

- Quasares, ou fontes de rádio quasi-estelares (*quasi-stellar radio sources*), são o tipo mais energético e mais distante de galáxias ativas.
- Foram inicialmente identificados como fontes de radiação eletromagnética com alto *redshift*, parecendo mais semelhantes a estrelas do que a fontes extensas.
- Seu espectro contém linhas de emissão bastante largas.



Quasares

- Quasares, ou fontes de rádio quasi-estelares (*quasi-stellar radio sources*), são o tipo mais energético e mais distante de galáxias ativas.
- Foram inicialmente identificados como fontes de radiação eletromagnética com alto *redshift*, parecendo mais semelhantes a estrelas do que a fontes extensas.
- Seu espectro contém linhas de emissão bastante largas.
- Sua natureza ainda era controversa no início dos anos 1980, mas hoje há consenso de que se tratam de regiões compactas ao redor do buraco negro central em galáxias massivas.

Quasares

- Quasares, ou fontes de rádio quasi-estelares (*quasi-stellar radio sources*), são o tipo mais energético e mais distante de galáxias ativas.
- Foram inicialmente identificados como fontes de radiação eletromagnética com alto *redshift*, parecendo mais semelhantes a estrelas do que a fontes extensas.
- Seu espectro contém linhas de emissão bastante largas.
- Sua natureza ainda era controversa no início dos anos 1980, mas hoje há consenso de que se tratam de regiões compactas ao redor do buraco negro central em galáxias massivas.
- Seu tamanho é da ordem de 10 a 10 000 vezes o raio de Schwarzschild.

Quasares

- Quasares, ou fontes de rádio quasi-estelares (*quasi-stellar radio sources*), são o tipo mais energético e mais distante de galáxias ativas.
- Foram inicialmente identificados como fontes de radiação eletromagnética com alto *redshift*, parecendo mais semelhantes a estrelas do que a fontes extensas.
- Seu espectro contém linhas de emissão bastante largas.
- Sua natureza ainda era controversa no início dos anos 1980, mas hoje há consenso de que se tratam de regiões compactas ao redor do buraco negro central em galáxias massivas.
- Seu tamanho é da ordem de 10 a 10 000 vezes o raio de Schwarzschild.
 - A energia emitida é consequência de massa sendo capturada pelo disco de acreção ao redor do buraco negro.

Blazares

→ **Blazares são um tipo bastante compacto de quasar, associados com um buraco negro supermassivo no centro de uma galáxia elíptica gigante ativa.**

Blazares

- **Blazares são um tipo bastante compacto de quasar, associados com um buraco negro supermassivo no centro de uma galáxia elíptica gigante ativa.**
- **Emitem um jato relativístico que aponta na direção da Terra, o que explica as altas variabilidades detectadas.**

Blazares

- **Blazares são um tipo bastante compacto de quasar, associados com um buraco negro supermassivo no centro de uma galáxia elíptica gigante ativa.**
- **Emitem um jato relativístico que aponta na direção da Terra, o que explica as altas variabilidades detectadas.**

Dois tipos:

- ***Optically Violent Variable (OVV)*: são fontes intrinsecamente fortes de rádio.**
- **Objetos BL Lacertae: são radio-galáxias intrinsecamente fracas.**

Radio-galáxias

→ **Têm emissão em rádio nuclear e estendida. Suas outras propriedades são heterogêneas.**

Radio-galáxias

- **Têm emissão em rádio nuclear e estendida. Suas outras propriedades são heterogêneas.**
- **Podem ser divididas em duas classes:**
 - ***baixa-excitação***: não possuem linhas largas ou estreitas de emissão. As linhas de emissão que apresentam podem ter sido excitadas por outro mecanismo. A emissão nuclear no óptico e em raios-X é consistente com geração puramente em um jato, sendo então candidatas para AGN com acreção radiativamente ineficiente.
 - ***alta-excitação***: apresentam linhas estreitas e/ou largas fortes.

Radio-quiet AGNs

→ São menos luminosas em rádio, porque as emissões relacionadas ao jato podem ser desprezadas.

LINERs

→ Seu nome é uma sigla para *low-ionization nuclear emission-line regions*: regiões nucleares de linhas de emissão de baixa ionização.



A Galáxia do Sombrero (M104) é um exemplo de LINER.

LINERs

- Seu nome é uma sigla para *low-ionization nuclear emission-line regions*: regiões nucleares de linhas de emissão de baixa ionização.
- Apresentam apenas linhas de emissão fracas na região nuclear e nenhuma outra assinatura de AGN.



A Galáxia do Sombrero (M104) é um exemplo de LINER.

LINERs

- Seu nome é uma sigla para *low-ionization nuclear emission-line regions*: regiões nucleares de linhas de emissão de baixa ionização.
- Apresentam apenas linhas de emissão fracas na região nuclear e nenhuma outra assinatura de AGN.
- Podem ser visto como os análogos de radio-galáxias na classe *radio-quiet*.



A Galáxia do Sombrero (M104) é um exemplo de LINER.

LINERs

- Seu nome é uma sigla para *low-ionization nuclear emission-line regions*: regiões nucleares de linhas de emissão de baixa ionização.
- Apresentam apenas linhas de emissão fracas na região nuclear e nenhuma outra assinatura de AGN.
- Podem ser visto como os análogos de radio-galáxias na classe *radio-quiet*.
- São os AGNs com mais baixa luminosidade, de modo que sua inclusão na classe é as vezes debatida.



A Galáxia do Sombrero (M104) é um exemplo de LINER.

Seyfert

→ Foram a primeira classe de AGN a ser identificada.

Seyfert

- **Foram a primeira classe de AGN a ser identificada.**
- **Apresentam emissão contínua no ótico, linhas de emissão estreitas e largas, ocasionalmente forte emissão em raios-X e às vezes um jato em rádio.**

Seyfert

- **Foram a primeira classe de AGN a ser identificada.**
- **Apresentam emissão contínua no ótico, linhas de emissão estreitas e largas, ocasionalmente forte emissão em raios-X e às vezes um jato em rádio.**
- **Dividem-se em duas classes:**
 - **Seyfert I: apresentam linhas de emissão largas e tem mais comumente emissão em raios-X.**
 - **Seyfert II: não possuem linhas de emissão largas.**

Seyfert

- **Foram a primeira classe de AGN a ser identificada.**
- **Apresentam emissão contínua no ótico, linhas de emissão estreitas e largas, ocasionalmente forte emissão em raios-X e às vezes um jato em rádio.**
- **Dividem-se em duas classes:**
 - **Seyfert I: apresentam linhas de emissão largas e tem mais comumente emissão em raios-X.**
 - **Seyfert II: não possuem linhas de emissão largas.**
- **São usualmente galáxias espirais ou irregulares.**