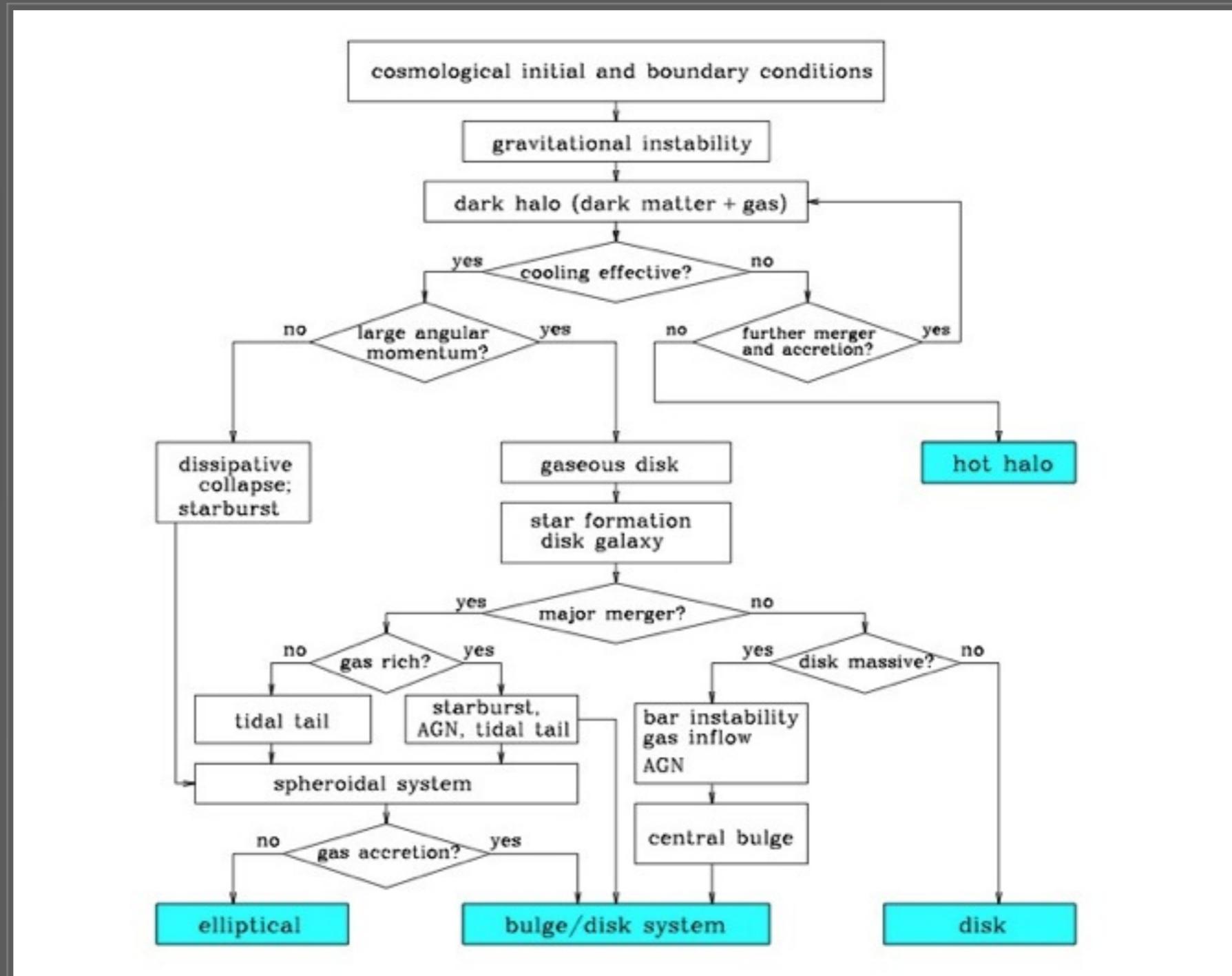
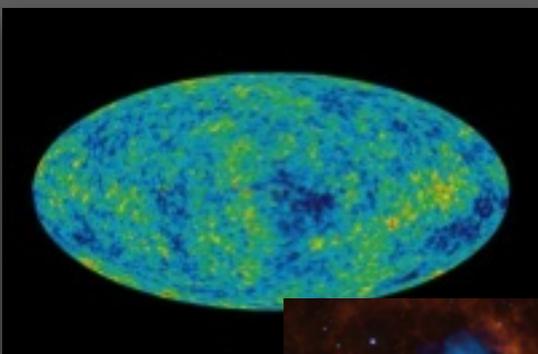


# Revisão & Outline

---

Aula 20/05

Mo, Bosch & White "Galaxy Formation and Evolution"



# The Big Picture

A logic-flow chart for galaxy formation. Initial conditions are set by cosmological framework. The paths leading to the formation of galaxies are shown along with the relevant physical processes. Credit: Mo, den Bosch, White

# Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

---

- Modelo padrão da cosmologia
  - $\Lambda$ CDM: universo plano, ~ 75% da densidade de energia devido a uma constante cosmológica, ~21% em matéria escura fria, ~4% matéria bariônica
- Condições iniciais
  - perturbações de densidade provindas de flutuações quânticas são as responsáveis pela formação das estruturas que observamos hoje
  - não é ainda possível prever essas flutuações a partir de “first principles”: conjunto de parâmetros é escolhido para reproduzir observações, e.g., radiação cósmica de fundo

# Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

---

- Instabilidades gravitacionais e formação de estruturas
  - dado o framework cosmológico e as condições iniciais, pode-se prever como as perturbações de densidade evoluem com o tempo
  - resultam nos halos de matéria escura, que tem um papel vital nas teorias modernas de formação de galáxias
- Resfriamento do gás
  - os processos pelos quais o gás bariônico esfria dependem da temperatura e densidade do material: bremsstrahlung ( $T \geq 10^7\text{K}$ ), recombinação e (de)excitação de átomos e íons ( $10^4 \leq T \leq 10^6\text{K}$ ), (de)excitação de metais e moléculas ( $T \leq 10^4\text{K}$ ), efeito Compton inverso da CMB ( $z \geq 6$ ).
  - processos de resfriamento em geral são mais eficientes em ambientes de alta densidade

# Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

---

- Resfriamento do gás (cont.)
  - o efeito final do resfriamento é segregar a matéria bariônica da matéria escura, acumulando gás denso e frio em uma proto-galáxia, no centro do halo de matéria escura
  - se o momento angular do halo de matéria escura for conservado, o gás se acumulará em um disco sustentado por rotação (paradigma atual para formação de galáxias disco).
- Formação Estelar
  - na presença de resfriamento, o gás colapsa e pode fragmentar em regiões de alta densidade que formarão estrelas, dando forma a uma galáxia como visualizamos.

# Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

---

- Formação estelar (cont.)
  - muitos detalhes desse processo não são bem conhecidos ainda: fração de massa do gás que se transforma em estrelas, escala de tempo, distribuição de massa das estrelas formadas (IMF)
  - a partir de observações, pode-se separar a formação estelar em dois modos: quiescente e starbursts
  - *qual fração de estrelas é formado em modo quiescente? os dois modos resultam em IMF iguais? como a importância relativa de starbursts evolui com o tempo?*
- Processos de feedback
  - para reproduzir observações, foi necessário incluir nas simulações processos que previnem o gás de se resfriar muito rapidamente, ou que reaquecem o gás.

# Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

---

- Processos de feedback (cont.)
  - a radiação de SN (supernovas) pode (re)aquecer o gás, por vezes expulsando-o da galáxia no chamado vento galáctico (feedback negativo), ou pode comprimir o gás ao redor aumentando a eficiência da formação estelar (feedback positivo).
  - AGNs (fase de ativa acreção de massa ao SMBH [buracos negros supermassivos]) produzem vastas quantidades de energia que podem (re)aquecer o gás. Acredita-se que todas as galáxias com uma componente esferoidal importante passaram por ao menos uma fase de AGN.
  - *apesar de serem processos importantes, não se pode modelá-los ainda a partir de "first principles": para as SNs é necessário se conhecer a taxa de formação estelar e a IMF, para as AGNs é necessário saber como, quando e onde os SMBH se formam e como acretam massa.*

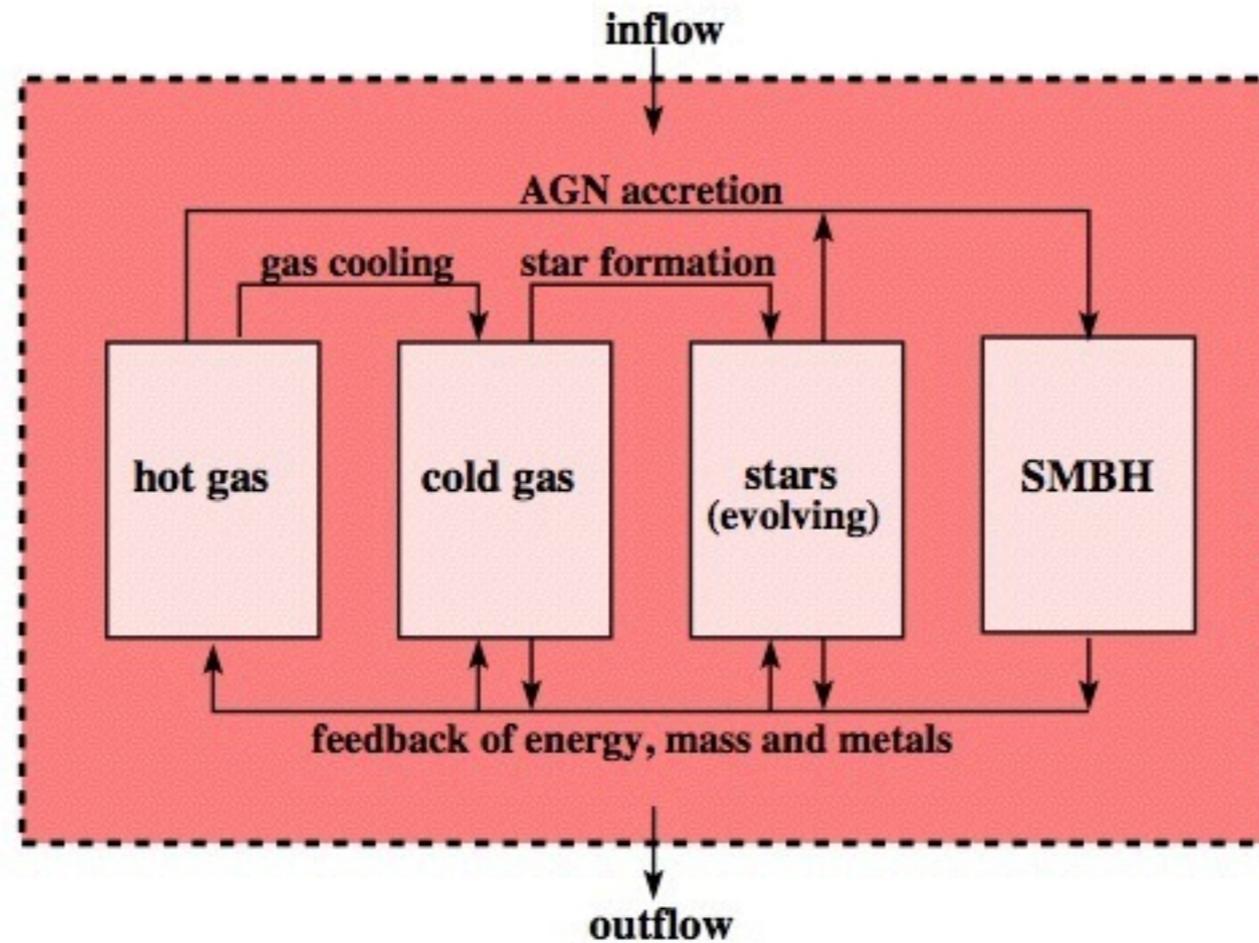


Fig. 1.2. A flow chart of the evolution of an individual galaxy. The galaxy is represented by the dashed box which contains hot gas, cold gas, stars and a supermassive black hole (SMBH). Gas cooling converts hot gas into cold gas, star formation converts cold gas into stars, and dying stars inject energy, metals and gas into the gas components. In addition, the SMBH can accrete gas (both hot and cold) as well as stars, producing AGN activity which can release vast amounts of energy which affect primarily the gaseous components of the galaxy. Note that in general the box will not be closed: gas can be added to the system through accretion from the intergalactic medium and can escape the galaxy through outflows driven by feedback from the stars and/or the SMBH. Finally, a galaxy may merge or interact with another galaxy, causing a significant boost or suppression of all these processes.

Mo, den Bosch, White

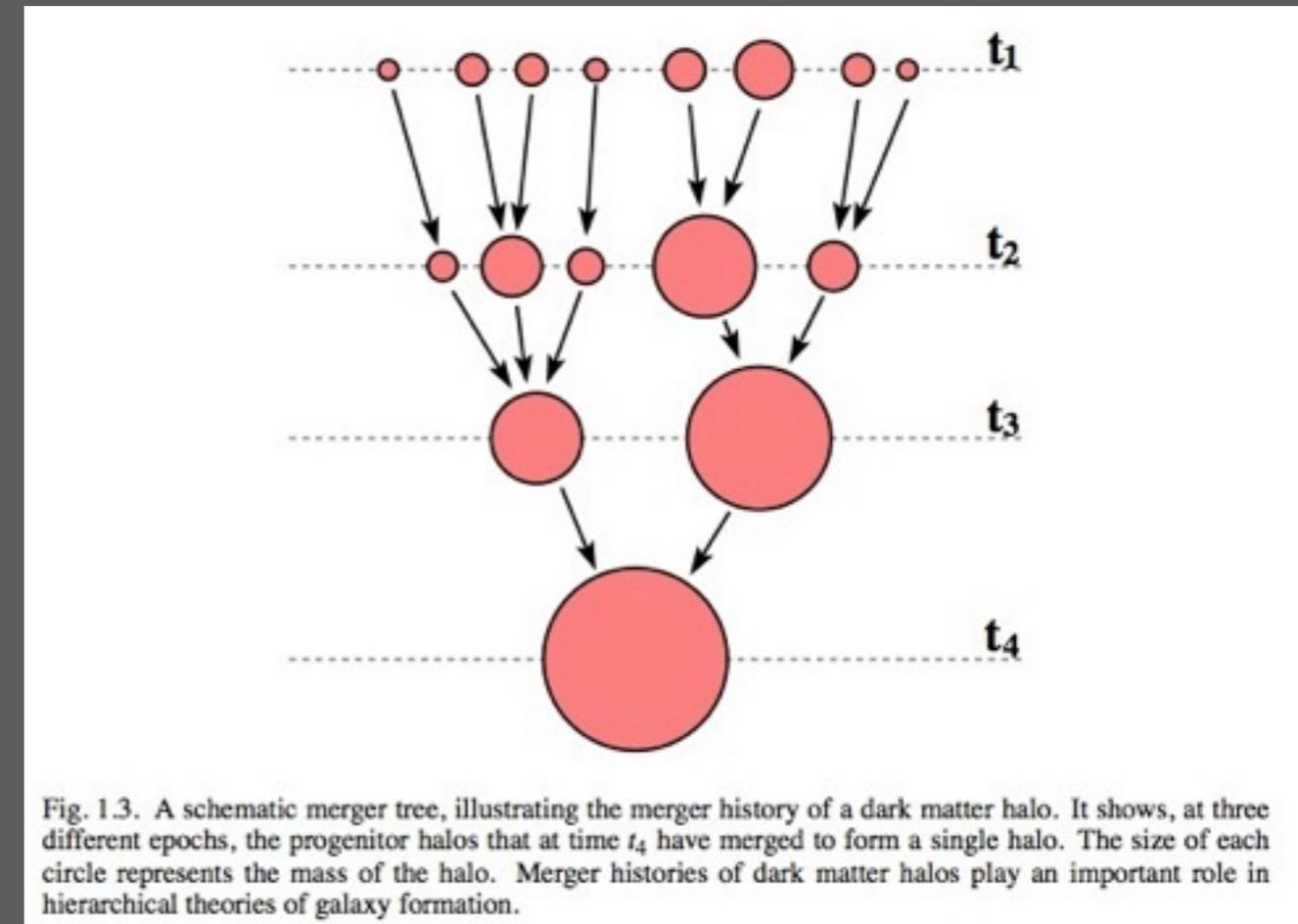
"Ciclo bariônico"

Relação entre os principais componentes bariônicos da galáxia.

# Mergers

---

- No paradigma cosmológico atual, halos de matéria escura crescem hierarquicamente (cenário "bottom up").
- se os progenitores tem massas semelhantes, ocorre relaxação violenta que transforma rapidamente o sistema dinâmico. Pode induzir starbursts e AGN na "nova" galáxia.
- se os progenitores tem massas diferentes, o menor orbita o maior por um "longo" tempo (fricção dinâmica, efeitos de maré...)
- tem um papel na evolução da morfologia



Merger tree de um halo de matéria escura.

Mo, den Bosch, White

# Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

---

- Evolução dinâmica
  - galáxias satélite orbitando um halo sentem forças de maré da galáxia central, de outras galáxias satélite, e do poço de potencial do halo de matéria escura. No processo chamado **tidal stripping**, matéria escura, gás e estrelas podem ser removidos da galáxia satélite devido ao efeito dessas marés.
  - se o halo contiver gás quente, o gás dentro da galáxia sofrerá uma força de arrasto que poderá remover o gás de dentro da galáxia, processo conhecido como **ram-pressure stripping**.
  - acredita-se que esses processos dinâmicos tenham um papel importante em determinar a evolução de galáxias dentro de um cluster e podem explicar a dependência da morfologia das galáxias com o ambiente

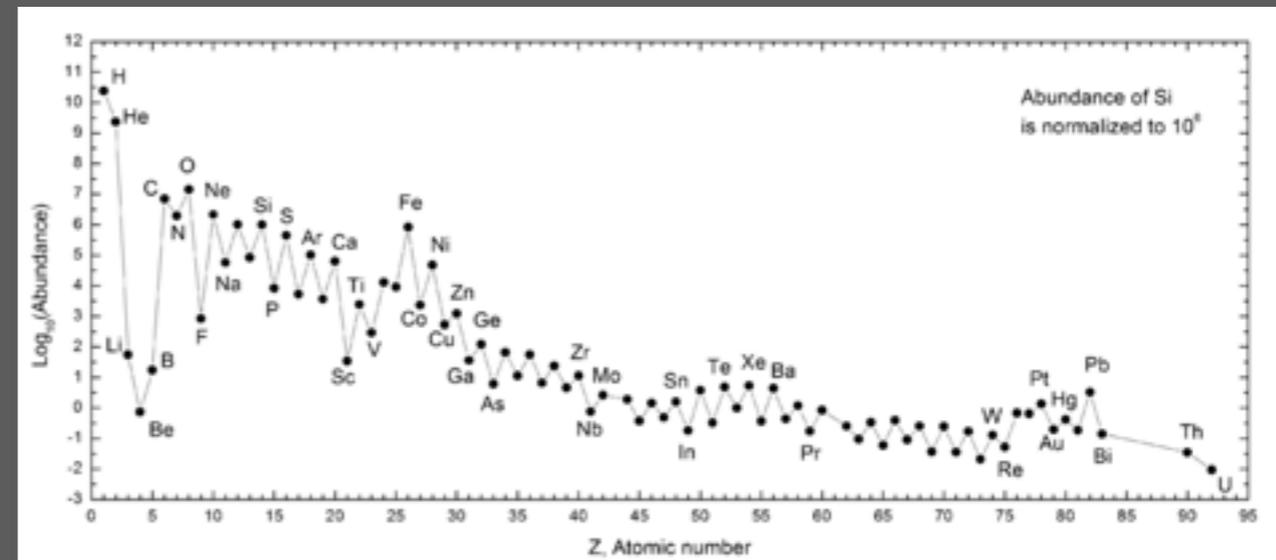
# Elementos básicos da formação e evolução de galáxias básicos

---

- Evolução dinâmica (cont.)
  - processos dinâmicos internos à galáxia também podem determinar sua morfologia, exemplo, as instabilidades causadas por uma barra em galáxias disco.
  - instabilidades também podem ser causadas pela interação com outras galáxias.
  - *as dimensões e as morfologias das galáxias são determinadas na sua formação, ou por processos dinâmicos tardios (evolução secular)?*
  - bojos são particularmente importantes nesse contexto: podem ter sido resultado dos primeiros estágios de formação estelar, ou resultar de mergers primordiais, ou ainda serem criados por barras.

# Evolução química

- Nucleossíntese:
  - primordial: produziu H (~75%), He (~25%) e traços de metais leves (Li)
  - estelar (e explosiva): todos os elementos mais pesados são formados por reações nucleares que ocorrem em estrelas
  - cosmogênica: espalação por raios cósmicos produz Litio, Berílio e Boro
- quando as estrelas perdem massa (ventos estelares, explosões em supernova), liberam no meio interestelar parte do material processado no seu interior, enriquecendo o meio.



Abundâncias químicas no Sistema Solar

# Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

---

- Evolução química em uma galáxia
  - tem impacto
    - nos observáveis (espectros, cores, luminosidades) de populações estelares
    - na taxa de resfriamento de gás
    - produzem a poeira do meio interestelar, e podem absorver radiação estelar e re-emitir no infravermelho
  - dependem: IMF, metalicidade inicial, história de formação estelar, evolução estelar (yields), inflows e outflows
  - é peça fundamental nos estudos de arqueologia galáctica

# Elementos básicos da formação e evolução de galáxias

---

- Síntese de população estelar
  - a luz emitida de galáxias é dominada largamente pela soma de estrelas de diferentes idades, massas e composições químicas
  - síntese de população estelar modela a evolução temporal de Spectral Energy Distributions de galáxias e permite a interpretação das galáxias como são observadas
  - fortemente baseada nas teorias de evolução estelar
  - a SED de uma galáxia é dominada por estrelas no UV e Visível e por poeira no IV. outras fontes de radiação como AGN podem ter que ser incluídas.

# Meio intergaláctico

- IGM é o material bariônico que reside entre galáxias
- é o componente bariônico dominante do Universo, e de onde as galáxias são formadas
- pode nos indicar as propriedades do material “pré-galáctico”
- mas também interage com a evolução das galáxias através de inflows e outflows
- é observado principalmente através do espectro de absorção de quasares

