

**ATENÇÃO:** esses resumos visam a **auxiliar** o estudo de cada capítulo, enfatizando os principais pontos levantados em cada trecho do livro *Extragalactic Astronomy and Cosmology: an Introduction*, de Peter Schneider. **De forma alguma** esses resumos podem **substituir** a leitura e estudo do livro, o qual é muito mais completo.

## Capítulo 1 – Resumo

Trata-se de uma introdução ao estudo da Astronomia Extragaláctica.

**A seção 1.1** é o resumo do Capítulo 1 (ou seja, o resumo do resumo!). Destaca o quão recente é o próprio conceito de que galáxias são constituintes básicos do Universo, dos quais nossa Galáxia, a Via-Láctea, é apenas um exemplar comum. De pronto, são superficialmente levantadas questões diversas, como:

1. Desenvolvimento tecnológico como propulsor dos avanços no nosso conhecimento: telescópios maiores, detectores maiores e mais sensíveis, tecnologia aeroespacial → capacidade de detectar fontes astronômicas cada vez mais tênues e distantes, em todos os domínios de espectro eletromagnético.
2. Fontes a distâncias cosmológicas → permitem o estudo da evolução de galáxias, dada a finitude da velocidade da luz

Descobertas científicas surpreendentes são também mencionadas:

1. A descoberta de buracos negros supermassivos nas regiões centrais de galáxias, cujas propriedades se correlacionam com as das hospedeiras.
2. Presença de mais matéria no interior de galáxias e de aglomerados de galáxias do que a matéria visível → problema da matéria escura
3. As evidências de um Universo em expansão, cujos estados iniciais deixam traços observacionais, como a radiação cósmica de fundo.
4. A constatação da expansão acelerada do Universo, que sugere a existência de energia repulsiva, que mais que contrabalança o efeito atrativo da matéria. Trata-se da chamada energia escura.

### Seção 1.2 – Sumário dos capítulos seguintes.

#### Seção 1.2.1 – Descrição da Via-Láctea

- Vantagens de estudarmos a Galáxia: podemos resolver suas estrelas, estudar em detalhe as nuvens de gás e a poeira do meio interestelar, medir os movimentos dos objetos Galácticos e estudar a região central.
- Estrutura da Galáxia: disco fino, disco espesso e o componente esferoidal.
- Rotação do disco Galáctico e comparação entre a rotação observada e a prevista pela distribuição de estrelas → evidência da existência de matéria escura.
- Variações nas idades e outras propriedades das estrelas em cada componente → evidência de um processo complexo de evolução da Galáxia
- Região central → observável somente no infra-vermelho e rádio devido à extinção da luz óptica

pela poeira do meio interestelar. Região complexa, mas com evidência de uma concentração de matéria bem no centro → buraco negro supermassivo.

- A importância de observações de outras galáxias para inferir propriedades estruturais e morfológicas globais típicas de galáxias como a nossa e de outras.

### **Seção 1.2.2 – O Universo das galáxias**

- Há galáxias de diferentes tipos → sistemas de classificação de galáxias: morfologia, cores, características espectrais, tamanho e grandezas associadas como quantidade de poeira e gás, taxa de formação estelar, etc
- Correlação entre morfologia e taxa de formação estelar; galáxias early e late-types.
- Cinemática de rotação e matéria escura, de novo, mas no contexto de todas as espirais.
- Paralelo entre os diagrama cor-magnitude e sua importância para evolução estelar e as relações de escala entre galáxias → implicações para a evolução das mesmas
- Presença de buracos negros supermassivos em outras galáxias, além da nossa.

### **Seção 1.2.3 – O Universo em expansão**

- Descoberta de Hubble: relação linear entre distância e velocidade de afastamento.
- Apresentação de variáveis como a constante de Hubble, fator  $h$  e desvio para o vermelho (= redshift).
- Apresentação da fórmula do efeito Doppler como válida para valores pequenos do redshift.
- Interpretação da Lei de Hubble como consequência de modelos de Universo em expansão.

### **Seção 1.2.4 – Galáxias ativas e com surto de formação estelar**

- Galáxias ativas (AGNs): fonte central brilhante
- Quasares: alto redshift, espectros com linhas intensas e largas em emissão. Largura das linhas → movimentos Doppler internos da ordem de 10000 km/s.
- Galáxias Seyfert também têm núcleos muito brilhantes e espectros dominados por linhas largas de emissão. A diferença é a luminosidade. Quasares são tidos como os exemplares mais luminosos de AGNs.
- Alta emissão concentrada numa região pequena, sugerindo a presença de uma fonte muito compacta → buraco negro supermassivo acreando matéria.
- Acreção de matéria → conversão de energia cinética em energia térmica, a qual é parcialmente irradiada (luz). Processo de fricção associada à acreção ao BN é muito eficiente em fazer essa conversão.
- Galáxias starburst → têm uma taxa de formação estelar tipicamente 100x maior do que numa espiral normal, como a Via-Láctea.
- Emissão de radiação nas starburst costuma ser localizada em regiões de formação estelar, seja ao longo de braços em espiral nos discos das espirais, ou em torno do núcleo dessas galáxias.
- Galáxias starburst emitem muito no infra-vermelho → resultado da absorção da radiação UV

das estrelas jovens de alta massa pela poeira do meio-interestelar. Essa energia absorvida é reemitida no infra-vermelho distante.

### **Seção 1.2.5 – Estrutura em grande escala e matéria escura**

- Distribuição não homogênea de galáxias no espaço e mesmo no céu: grandes regiões de alta densidade (superaglomerados) e regiões vazias (voids)
- Definição de aglomerados de galáxias e exemplos mais próximos de aglomerados irregulares e regulares (Virgo e Coma).
- Descrição detalhada do trabalho de Zwicky sobre a dinâmica de aglomerados de galáxias: medidas de velocidades radiais e dispersão de velocidades → estimativa dinâmica de massa.
- Comparação entre massa dinâmica e observada → evidência de matéria escura em escalas de Mpc.
- Observações em raios-X → grande quantidade de gás quente no espaço entre as galáxias de um aglomerado. Hipótese de equilíbrio dinâmico → mais matéria do que a observada, ou seja, matéria escura aparecendo novamente.
- Deflexão da luz → lenteamento gravitacional. Efeito também permite medir a massa de aglomerados de galáxias, que são lentes gravitacionais eficientes. Quanto mais deflexão da luz, maior a massa da lente. Novamente, esses estudos levam à inferência de que há mais massa nesses aglomerados de galáxias do que a observada (luminosa).
- Aglomerados de galáxias como sistemas dinamicamente jovens → estruturas do Universo que não se modificaram muito por efeitos de evolução dinâmica. Comparação com o caso de uma galáxia, cujas estrelas constituintes já tiveram tempo suficiente de atingir uma configuração de equilíbrio dinâmico.
- Definição de grupos de galáxias e menção ao Grupo Local.
- Grupos compactos → fortes interações entre galáxias, fusões.

### **Seção 1.2.6 – Modelos cosmológicos e história térmica do Universo**

- Observações a distâncias cosmológicas exigem modelos que descrevam a dinâmica do universo como um todo.
- Argumentos em favor de um Universo em grande escala dominado pela gravitação, eletricamente neutro.
- Enunciado do Princípio Cosmológico: homogeneidade e isotropia em grande escala → Cosmologia padrão
- Principais parâmetros da Cosmologia padrão: constante de Hubble, densidade de matéria e constante cosmológica (ou densidade de energia escura).
- Interpretação sobre a constante cosmológica e discrepância entre observável cósmico e previsão da teoria quântica de campos.
- Previsão da cosmologia padrão (ou modelo do Big Bang): abundância primordial do He, radiação cósmica de fundo, estrutura em grande escala proveniente de não-homogeneidades de baixa amplitude via instabilidade gravitacional.
- Sucesso do modelo padrão permite estimativas razoáveis para a densidade média de matéria e idade do Universo, bem como sua evolução no tempo.
- Ignorância sobre 95% do que constitui o Universo.

### **Seção 1.2.7 – Formação de estrutura e evolução das galáxias**

- Descrição qualitativa de evolução de subestruturas num fluido em expansão → ampliação do contraste de densidade via contração e colapso gravitacional → formação de galáxias, grupos, aglomerados e super-aglomerados.
- Baixo contraste de densidade das perturbações iniciais → mais matéria para gerar as estruturas observadas → matéria escura domina a distribuição de matéria, mas contribui com menos densidade de energia do que a energia escura
- Introdução ao conceito de viés entre a distribuição de matéria escura (não diretamente observável) e de matéria luminosa (galáxias, observável) → quantificação do viés exige compreensão dos processos de formação de galáxias e de sua dependência com as propriedades de galáxias. Elípticas e espirais se distribuem de forma semelhante e são formadas por processos similares?
- Propriedades da distribuição de galáxias e sua evolução com o tempo → observáveis cosmológicos.

### **Seção 1.2.8 – Cosmologia como um triunfo da mente**

- Discussão sobre aplicabilidade universal das leis físicas, derivadas localmente e no atual instante → modelos cosmológicos atuais e as evidências que os corroboram parecem confirmar a universalidade dessas leis
- Principais conquistas da física contemporânea: física quântica e gravitação → relatividade geral.

### **Seção 1.3 – As ferramentas da Astronomia Contemporânea**

- Necessidade de grandes superfícies coletoras de luz e de alta capacidade resolutora → observação de fontes fracas e distantes
- parâmetros que quantificam eficiência de um sistema telescópio+detector: sensibilidade, resolução angular, resolução espectral, throughput, condições de contorno à observação: sítio, estabilidade instrumental, disponibilidade de tempo para observação, etc.

#### **Seção 1.3.1 – Rádio telescópios**

- Único outro domínio espectral (além do óptico) não fortemente bloqueado pela atmosfera terrestre. Domínio entre  $0.3 \text{ mm} < \lambda < 30 \text{ m}$ .
- Histórico da Radio Astronomia
- Telescópio de Arecibo. Principais descobertas: sistemas binários envolvendo pulsares, exoplanetas em torno de pulsares, medidas de rotação e redshifts em espirais (relação Tully-Fisher).
- Telescópio de Effelsberg (100m): observações de nuvens moleculares Galácticas (condições físicas como temperatura e densidade internas), medidas de polarização em radio → r de campos magnéticos.
- Interferometria em radio: combinação dos sinais em radio obtidos por diferentes telescópios →

padrão de interferência → mapas de alta resolução angular. Interferometria usando linhas de base continentais e intercontinentais.

- Very Large Array (VLA): resolução de jatos de alta energia em torno de AGNs, como radio galáxias e quasares.
- Very Long Baseline Interferometry (VLBI): resolução de regiões centrais de AGNs → movimentos superluminais.
- Observações de ondas milimétricas e sub-milimétricas: telescópios menores e com superfície mais uniforme (MAMBO, SCUBA): regiões moleculares e de formação estelar, inclusive em galáxias distantes.
- Micro-ondas: balões e satélites usados para mapear a radiação de fundo por exemplo. Exemplos de satélites de micro-ondas: COBE, WMAP.

### **Seção 1.3.2 – Telescópios no infra-vermelho**

- Domínio de  $1 < \lambda < 300 \mu\text{m}$ . Necessidade de resfriamento dos instrumentos, cuja emissão térmica se dá no mesmo domínio
- Infra-vermelho próximo → observável do solo
- Infra-vermelho médio e distante → balões e satélites
- IRAS: mapeamento de todo o céu no infra-vermelho médio e distante → identificação de galáxias muito luminosas no infra-vermelho; galáxias com muito alta taxa de formação estelar
- ISO: melhor resolução angular e maior sensibilidade: identificação de regiões de formação estelar envoltas em poeira em galáxias muito luminosas no infra-vermelho.
- Satélite Spitzer: maior campo de visão do que ISO.

### **Seção 1.3.3 – Telescópios ópticos**

- Observações no óptico e infra-vermelho próximo possíveis do solo em função da transparência da atmosfera nestes domínios espectrais
- Avanços consideráveis em tempos recentes, apesar das observações ópticas serem as mais tradicionais: óptica ativa → espelhos primários maiores; CCDs → maior sensibilidade; câmeras de grande campo → maior throughput. Tudo isso levou a um considerável aumento de eficiência.
- Telescópios com  $D > 4\text{m}$ : localização geográfica variada e especialização. Exemplos: CFHT → imageamento de grande campo e alta resolução angular; AAT: espectroscopia de multi-objeto; NTT: imageamento no infra-vermelho próximo.
- Telescópio espacial → imagens de alta resolução, isentas dos efeitos da atmosfera. Hubble Deep Fields.
- Grandes telescópios: Keck, VLT, Gemini, Subaru. Superfícies primárias com  $D > 8\text{m}$
- Keck I e II, cada um com  $D = 10\text{m}$ : ênfase em espectroscopia; descoberta de galáxias a alto redshift, sistemas de absorção na visada de quasares.
- VLT:  $4 \times 8.5\text{m}$ ; interferometria no óptico; grande variedade de instrumentos e flexibilidade de mudança entre os mesmos.
- Gemini e VLT: observações em modo serviço ou em fila ao invés do modo tradicional → maior eficiência.

### Seção 1.3.4 – Telescópios no ultra-violeta (UV)

- Atmosfera opaca ao UV ( $\lambda < 3000 \text{ \AA}$ ) por causa da camada de ozônio.
- Descrição em ordem cronológica das principais missões espaciais no UV: Copérnico, IUE, FUSE, HST, GALEX.
- Copérnico: ~500 espectros fontes diversas: primeiras detecções de H<sub>2</sub> e CO no meio interestelar, composição do meio interestelar
- IUE → 10<sup>5</sup> espectros, incluindo muitos AGNs
- HST: espectros na direção de quasares → informação sobre os quasares e sobre os sistemas absorvedores de radiação na direção deles (meio intergaláctico)
- FUSE: mais observações de sistemas em absorção na linha de visada a quasares → propriedades do meio intergaláctico.
- GALEX: imageamento de todo o céu no UV. Levantamentos espectroscópicos.

### Seção 1.3.5 – Telescópios em raios-X

- Novamente, aqui é feita uma descrição cronológica das principais missões espaciais em raios-X: UHURU, HEAO-1, HEAO-2 (Einstein), ROSAT, ASCA, Chandra e XMM-Newton.
- UHURU: primeiro mapeamento do céu → centenas de fontes em raios-X.
- HEAO-1: fundo de céu em raios X.
- Einstein: grande avanço em resolução angular (2"); detecção de gás quente em aglomerados de galáxias, cuja massa é maior do que a soma das massas das galáxias.
- ROSAT: levantamento de céu inteiro com sensibilidade e resolução muito maiores do que UHURU → > 10<sup>5</sup> fontes detectadas. Informação espectral no domínio [0.2,4] keV com resolução espacial de 20" → muitos AGNs e aglomerados de galáxias.
- ASCA: Amplo domínio espectral [0.5-12] keV; espectros de mais alta resolução espectral, mas resolução espacial mais pobre.
- Chandra: resolução angular de 0.5", típica do óptico. Domínio espectral: [0.1,10] keV. Detectou estruturas na emissão de gás em aglomerados de galáxias e em jatos de AGNs. Fontes compactas ultra luminosas (ULXs).
- XMM-Newton: mais sensível que Chandra, mas com pior resolução angular: espectroscopia de AGNs e aglomerados de galáxias.

### Seção 1.3.6 – Telescópios em raios $\gamma$

- Outra sequência cronológica.
- SAS-2 and COS-B construíram os primeiros mapas em raios gama e mostraram a existência de um fundo de radiação neste domínio espectral.
- Satélites militares: Primeiros surtos de raios gamma (GRBs) detectados
- Beppo-SAX: pela primeira vez, localizou bem no céu a fonte de um GRB
- Compton: experimentos em transientes e surtos (BATSE) e eventos energéticos (EGRET). BATSE detectou em torno de 2000 GRBs. EGRET observou AGNs em altíssimas energias, 20 MeV.
- Integral: domínio espectral de 15 keV a 10 MeV.

