

Handout: Mapping the Milky Way

Irina Ivankova & Sascha Bittner

Unsere aktuell beste Karte der Milchstraße

Die Milchstraße ist eine **Balkenspiralgalaxie**.

- **Strukturen:** Dünne Scheibe, Dicke Scheibe, Galaktischer Halo.
- **Arme:** Vier Hauptarme (je nach Ansicht 2 Haupt- und 2 Nebenarme).
- **Position der Sonne:** Ca. 8,1 kpc (ca. 26.500 Lichtjahre) vom Zentrum entfernt, am Orion-Sporn.
- **Gesamtmasse:** $\approx 10^{12}$ Sonnenmassen ($M_{\odot} \approx 2 \cdot 10^{30}$ kg).
- **Zentrales Schwarzes Loch:** Sagittarius A* mit einer Masse von $\approx 4,15 \cdot 10^6 M_{\odot}$ (Nobelpreis für Physik 2020).

Chemische Kartierung

Durch spektroskopische Durchmusterungen wie APO-GEE und LAMOST:

- Die **Metallizität** (Anteil von Elementen schwerer als Wasserstoff und Helium) nimmt vom Zentrum nach außen ab.
- Durch den Vergleich der chemischen Zusammensetzung können Verwandtschaftsverhältnisse von Sternen bestimmt werden.

Das Problem der Dunklen Materie

- Nach Newton sollte die Rotationsgeschwindigkeit mit $r^{-1/2}$ abnehmen. Gemessen wird jedoch eine konstante Geschwindigkeit von $v(r) \approx 236$ km/s.
- Die eingeschlossene Masse wächst auch weit außerhalb der sichtbaren Scheibe mit $M(r) \propto r$.
- **Einzige Erklärung:** Unsichtbare Masse mit einer Dichteverteilung von $\rho(r) \propto r^{-2}$ - Ein **Halo aus Dunkler Materie**.

Die Herausforderungen der Beobachtung

„Das schmutzige Fenster“ (Interstellare Extinktion)

Die interstellare Extinktion beschreibt die Schwächung und Absorption des Lichts ferner Sterne durch Gas und Staub.

- Winzige Staubpartikel (Silikate, Kohlenstoff, Eis) und Gase füllen den interstellaren Raum.
- **Wirkung:** Licht wird absorbiert und gestreut. Blaues Licht wird stärker gestreut als Rotes - **Rötung** des Sternenlichts.

Die verzerrte Perspektive

- Wir befinden uns **innerhalb** der galaktischen Scheibe und blicken flach hinein.
- Sterne überlagern sich in unserer 2D-Projektion. Es ist nicht erkennbar, ob zwei nah beieinander stehende Sterne tatsächlich Nachbarn sind.
- Die Milchstraße ist keine perfekte Scheibe, sondern **wellenförmig verbogen und verdreht**.

Parallaxenmessung

Die Entfernung eines Sterns ergibt sich aus dem gemessenen Parallaxenwinkel p :

$$r = \frac{1}{p}$$

Dabei ist r die Entfernung in Parsec (pc) und p der Winkel in Bogensekunden (arcsec). 1 pc = 3,2616 Lichtjahre.

- **Problem:** Bei Winkeln unter $\approx 0,01$ arcsec wird die Messung durch die Erdatmosphäre extrem schwierig.
- **Lösung:** Weltraumteleskope wie **Gaia** umgehen die Atmosphäre und messen Parallaxen bis herab zu $2,5 \cdot 10^{-5}$ arcsec.

Die Masse der Milchstraße

- **Gesamtmasse:** $\approx 1,5$ Billionen Sonnenmassen.
- **Masse aller Sterne:** Nur ca. 60 Milliarden Sonnenmassen ($\approx 4\%$ der Gesamtmasse).

- **Dunkle Materie:** Der überwiegende Teil der Masse ($\approx 85\%$) besteht aus Dunkler Materie, die größtenteils im Halo verteilt ist.
- Dunkle Materie emittiert keinerlei Strahlung und ist nur indirekt durch ihre Gravitationswirkung nachweisbar.

Beobachtungsmethoden

21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs (HI)

- 75% des Universums besteht aus Wasserstoffatomen im interstellaren Medium (ISM).
- **Hyperfeinstruktur:** Übergang zwischen parallelen und antiparallelen Spins von Proton und Elektron.
- **Energie:** $\Delta E = 5,87 \cdot 10^{-6} \text{ eV}$ entspricht einer Wellenlänge von $\lambda = 21,1 \text{ cm}$.
- **Vorteil:** Diese Strahlung wird kaum von interstellarem Staub gestreut oder absorbiert.

Infrarot (IR)

- **Nah-Infrarot (NIR, 1-5 μm):** Ideal zur Kartierung der Massenverteilung von Sternen (z.B. *2MASS Survey*).
- **Mittel-Infrarot (MIR, 5-30 μm):** Zeigt aufgeheizte IS-Staubwolken (z.B. *GLIMPSE Survey*).
- Diese Wellenlängen durchdringen den Staub besser als sichtbares Licht.

Maser

- **Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation.**

- Tritt bei **Populationsinversion** auf (mehr angeregte als Grundzustands-Atome) unter sehr hoher Dichte und starker IR-Strahlung.
- Führt zu lawinenartiger, stimulierter Emission und dient als präziser Marker für Sternentstehungsgebiete.

Was wir noch nicht wissen (Offene Fragen)

- Die genaue **Spiralarmstruktur im äußeren Teil** der Galaxie.
- Die **äußere Scheibe** jenseits von 15 kpc: Struktur, Warping und Masse sind weitgehend unbekannt.
- Die **Zone of Avoidance** – der Bereich hinter der galaktischen Ebene, der durch Staub verdeckt wird.

Ausblick: Zukünftige Missionen

- **Gaia DR4:** Tiefere Extinktionskorrekturen, mehr Sterne in der galaktischen Ebene, Parallaxen bis 10 kpc.
- **Nancy Grace Roman Space Telescope (NASA):** IR-Tiefensurvey mit Milliarden Sternen in der galaktischen Ebene. Direkte Parallaxen im NIR bis ins galaktische Zentrum.
- **Square Kilometre Array (SKA):** 21-cm-Beobachtungen mit 100-facher heutiger Empfindlichkeit. Wird die *Zone of Avoidance* öffnen und eine direkte H-Kartierung ermöglichen.