

Das Wasserstoffspektrum

in der Radioastronomie

Maximilian Nöthe

Seminar Radioastronomie, TU Dortmund, 21.5.2015

Übersicht

Linien-Emission

Die 21 cm-Linie

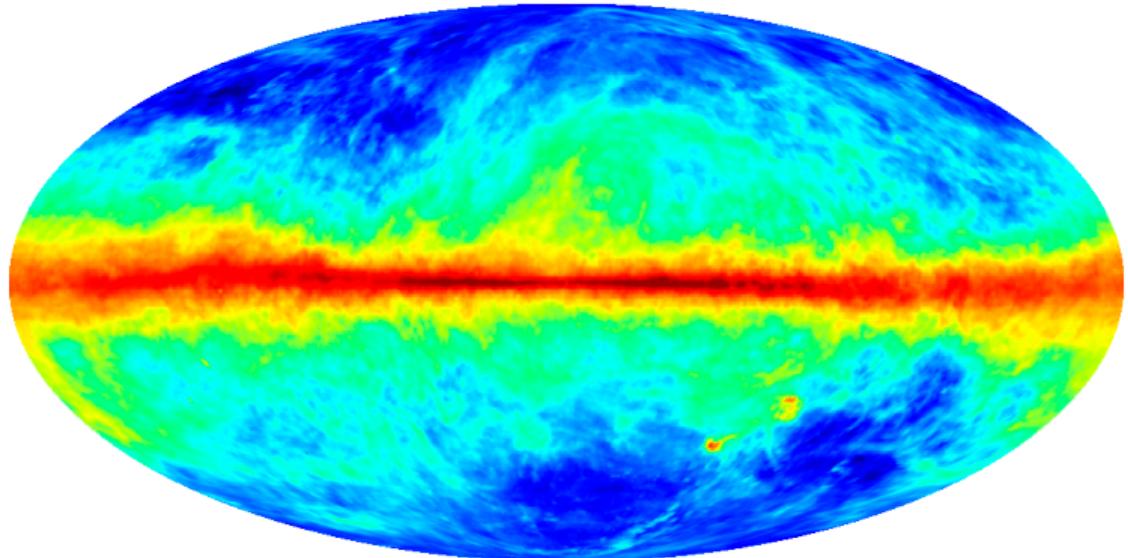
Geschichte

Entstehung

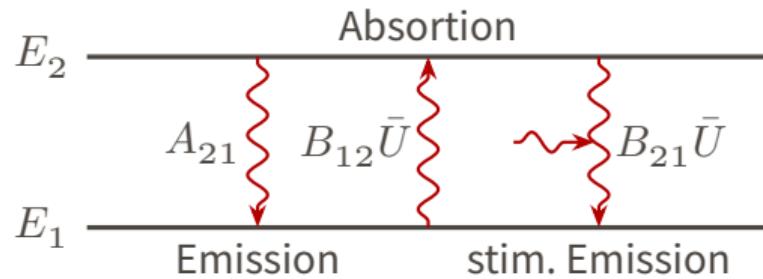
Messungen

Messung am Stockert

H I in anderen Galaxien



Einstein-Koeffizienten



Mittlere Intensität

$$\bar{I} = \int_0^{\infty} I_{\nu} \varphi(\nu) d\nu$$

mittlere Energiedichte:

$$\bar{U} = \frac{4\pi}{c} \bar{I}, \quad \bar{I} = \text{mittlere Intensität}$$

in statischem System:

$$N_2 A_{21} + N_2 B_{21} \bar{U} = N_1 B_{12} \bar{U}$$

Mit N_i = Anzahl Elektronen auf Energieniveau E_i

Verküpfung zu makroskopischen Gren

Absorptionskoeffizient κ_ν

$$\kappa_\nu = \frac{h\nu}{4\pi} N_1 B_{12} \left(1 - \frac{g_1 N_2}{g_2 N_1}\right) \varphi(\nu)$$

Emissionskoeffizient ε_ν

$$\varepsilon_\nu = \frac{h\nu}{4\pi} N_2 A_{21} \varphi(\nu)$$

Für Radio: stimulierte Emission \approx Absorption.

Brightness Temperature T_B

$$T_B = \frac{c^2}{2k_B} \frac{1}{\nu^2} I_\nu$$

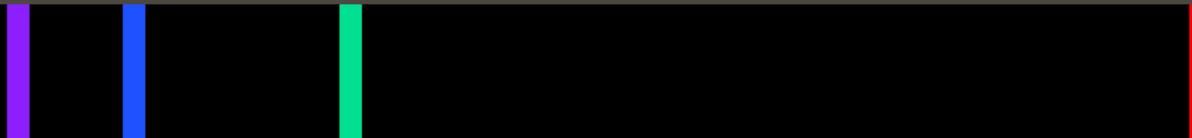
(allgemein)

$$T_B = \frac{h\nu}{k_B} \frac{1}{\ln\left(\frac{8\pi h\nu^3}{c^3 U} + 1\right)}$$

(Linienemission)

- Rayleigh–Jeans-Temperatur für gegebene Intensität I_ν
- verbreitetes Helligkeitsmaß in der Radioastronomie

Wasserstoff-Linien



Elektrische Linienübergänge im Wasserstoff:

$$\Delta E = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

Aber: Keine starken Radiolinien.

Warum überhaupt Radioastronomie

- Mittlere freie Weglänge für optisches Photon $\mathcal{O}(\text{kpc})$
- Gasnebel und Interstellares auf großen Distanzen undurchsichtig für optisches Licht
- durchsichtig für Radio- und Infrarot
- ⇒ einzige Möglichkeit die Struktur der Milchstraße zu vermessen

Deshalb: Suche nach einer Radiolinie des Wasserstoffs

Geschichte



H. v. d. Hulst



H. Ewen

Hendrik van de Hulst Holländischer Astronom & Mathematiker

1944 Vorhersage der 21 cm-Linie

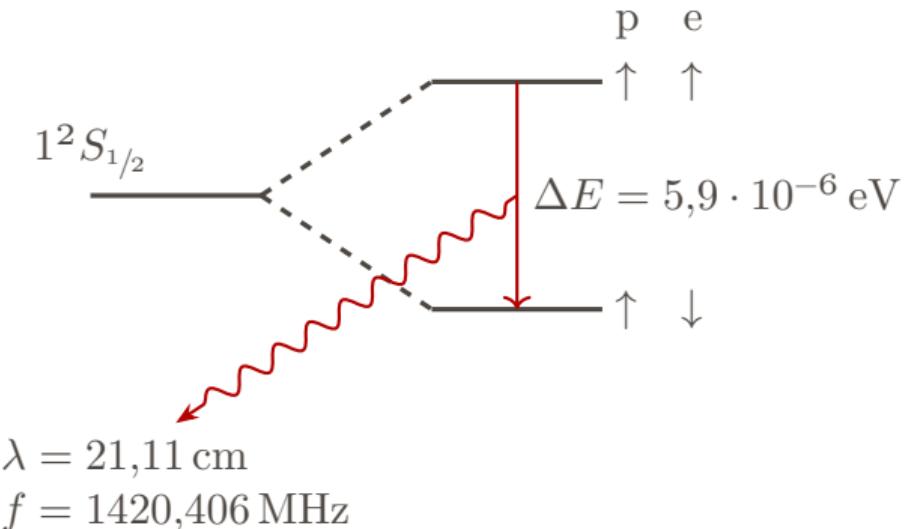
später Mitarbeit bei der Kartographie der Milchstraße



E. Purcell

1951 Entdeckung durch Edward Purcell & Harold Ewen
an der Harvard University

Die 21 cm-Linie



→ Hyperfeinstruktur-Übergang
im elektrischen Grundzustand

$$F = 1 \rightarrow F = 0$$

→ experimentelle Unsicherheit
ca. $7 \cdot 10^{-13}$ (1970) [2]

Eigenschaften

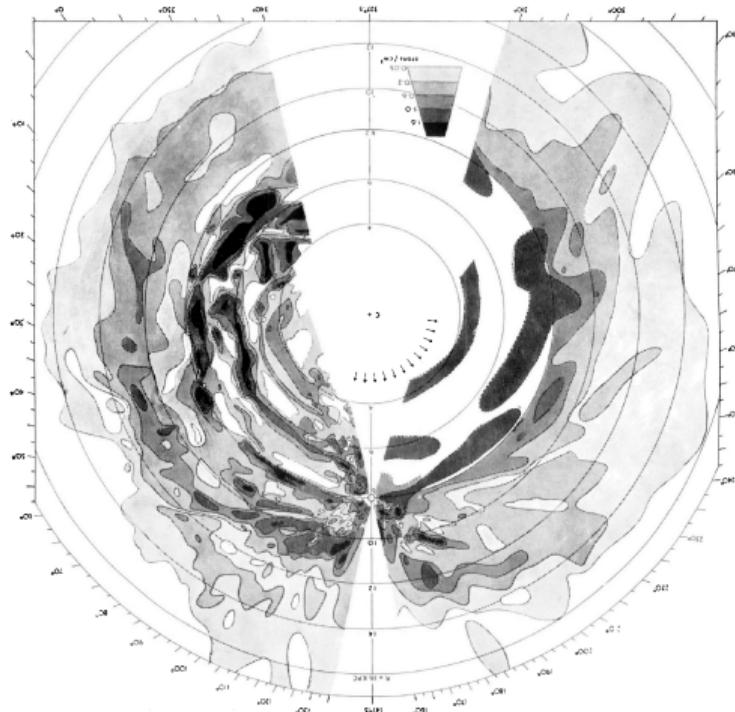
→ stark unterdrückt:

$$A_{21} = 2,869 \cdot 10^{-15} \frac{1}{\text{s}}$$
$$\tau = 1,1 \cdot 10^7 \text{ a}$$

- ca. um Faktor $1 \cdot 10^{23}$ kleiner als optische Übergänge
- Anregung durch Stöße im interstellarem Medium

Aber: Interstellares Medium kalt und hauptsächlich H
21 cm-Linie (fast) einzige Möglichkeit der Strukturerfassung

Die 21 cm-Linie – Vermessung der Milchstraße



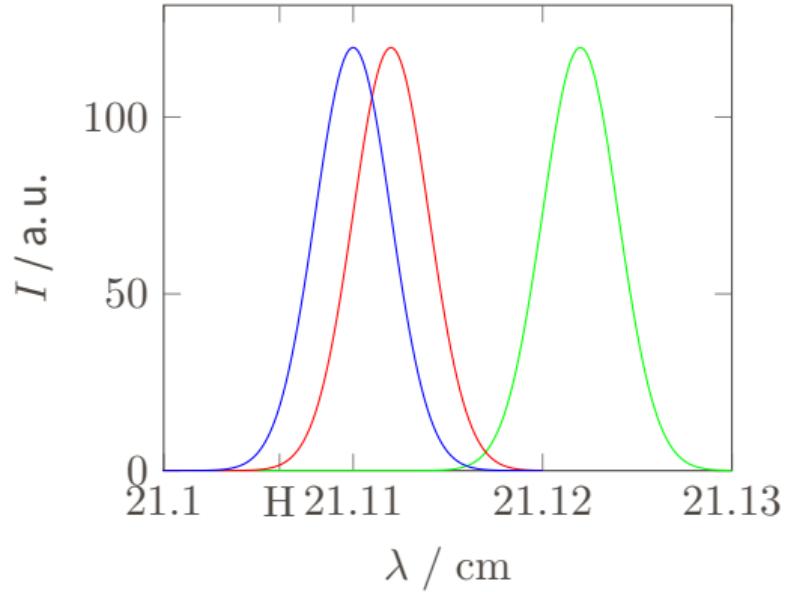
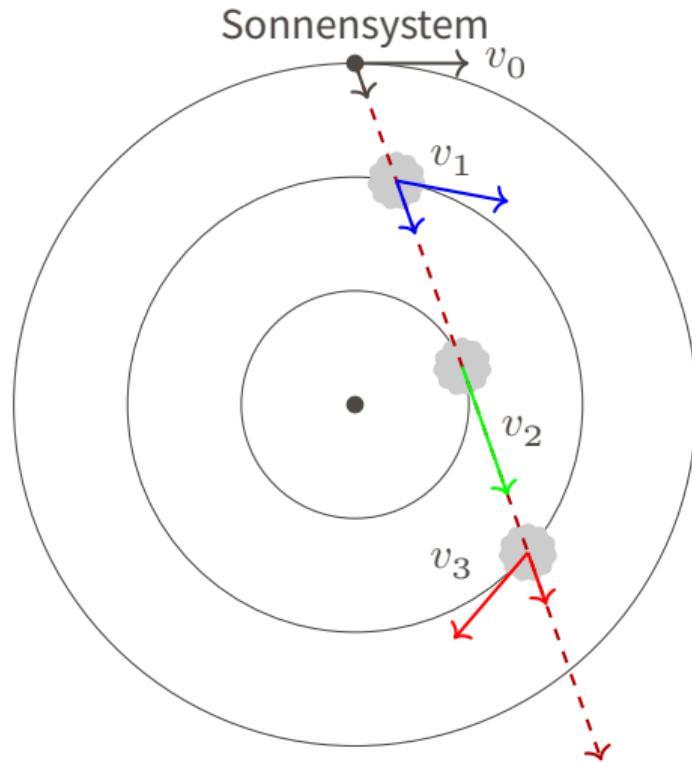
1958 Veröffentlichung der ersten „Karte“ der Milchstraße

Autoren J. H. Oort, F. J. Kerr und G. Westerhout

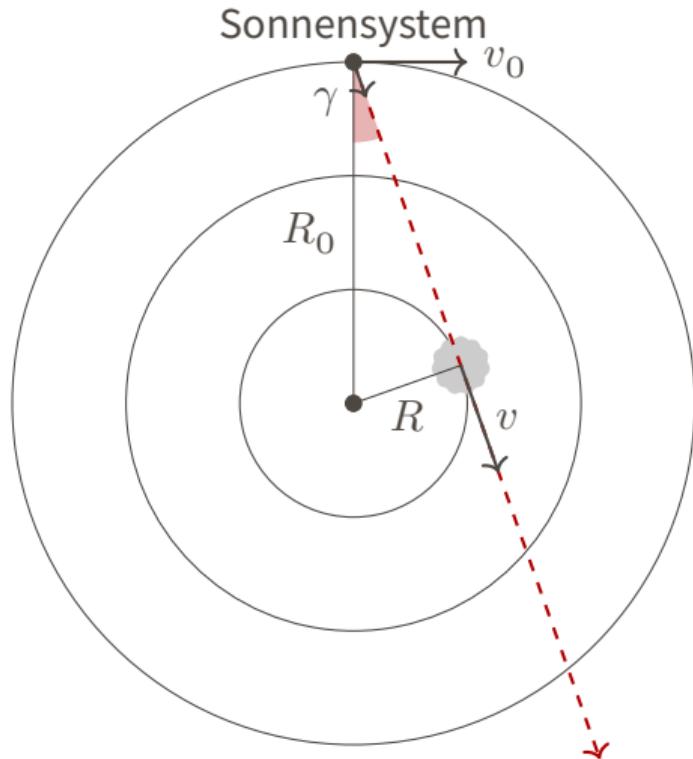
Messung 7,5 m-Teleskop (Leiden) & 11 m-Teleskop (Sidney)

„The 21 cm observations brought about a revolution in the study of galactic structure“[6]

Messprinzip



Messprinzip



1. Messung der Doppler-Verschiebung der 21 cm-Linie in eine Richtung
2. Berechne für $v_{\max} = \text{maximale Geschwindigkeit}$:

$$R = R_0 \cdot \sin \gamma$$

$$v = v_{\max} + v_0 \cdot \sin \gamma$$

3. Für Milchstraße:

$$v_0 = 220 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$R_0 = 8,5 \text{ kpc}$$

Ermittlung der Rotationskurve

- Tangential Methode mit HI
 - Messung für viele galaktische Längen l
 - Ermittlung von v_{\max} , R , v
 - aber: vergleichsweise hohe Unsicherheiten [1]
- Stattdessen kombinierte Analyse von CO, HI und HII Linien

LAB-Messung

Leiden/Dwingeloo – Argentinien – Bonn [4]

2005 Veröffentlichung der Daten von zwei Teleskopen für den ganzen Himmel

1989–1993 30 m-Teleskop Argentinien

1994–2000 25 m-Teleskop Dwingeloo

Bonn Zusammenfassung und Kalibrierung

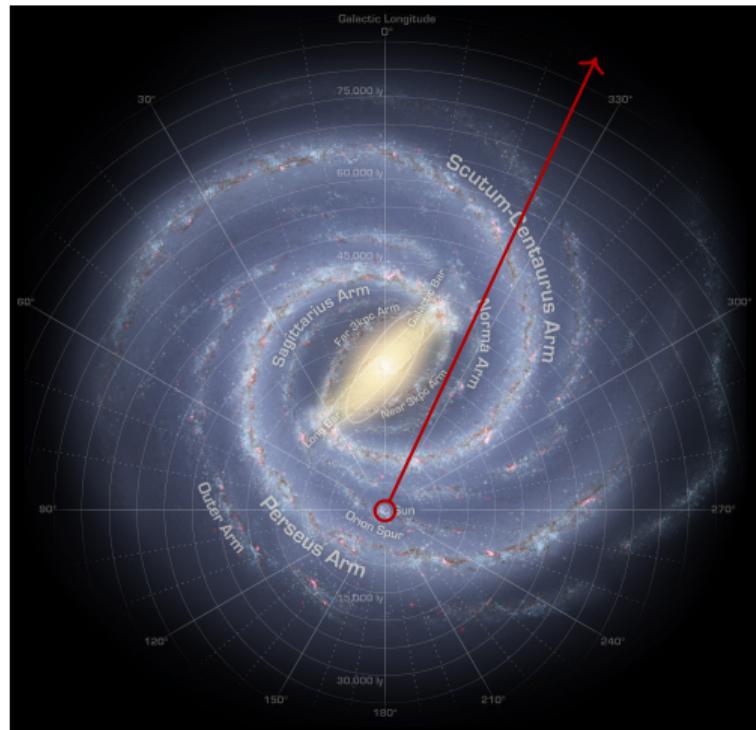
Ortsauflösung $0,5^\circ$

v -Auflösung 1,3 km/s

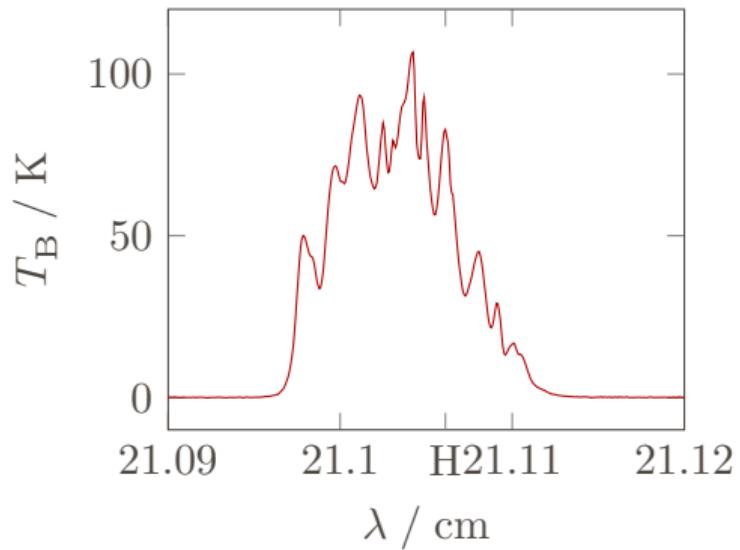
T_B -Auflösung 0,07 K

Frei zugänglicher Datensatz $T_B(l, b, v)$ mit $\approx 2 \cdot 10^6$ Datenpunkten

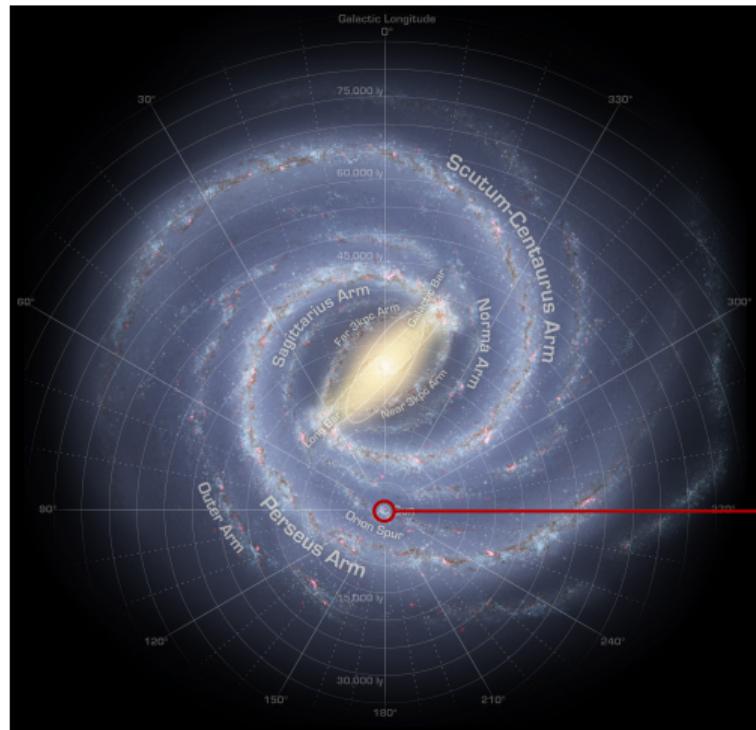
Die 21 cm-Linie – Vermessung der Milchstraße



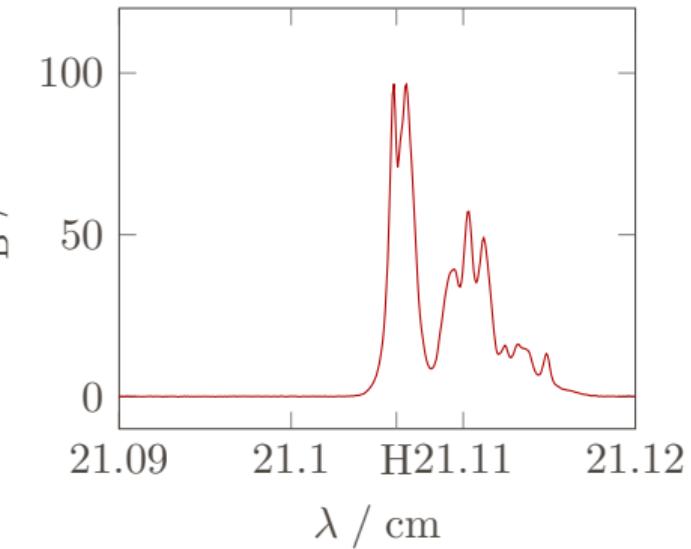
T_B für $l = 335^\circ$, [3]

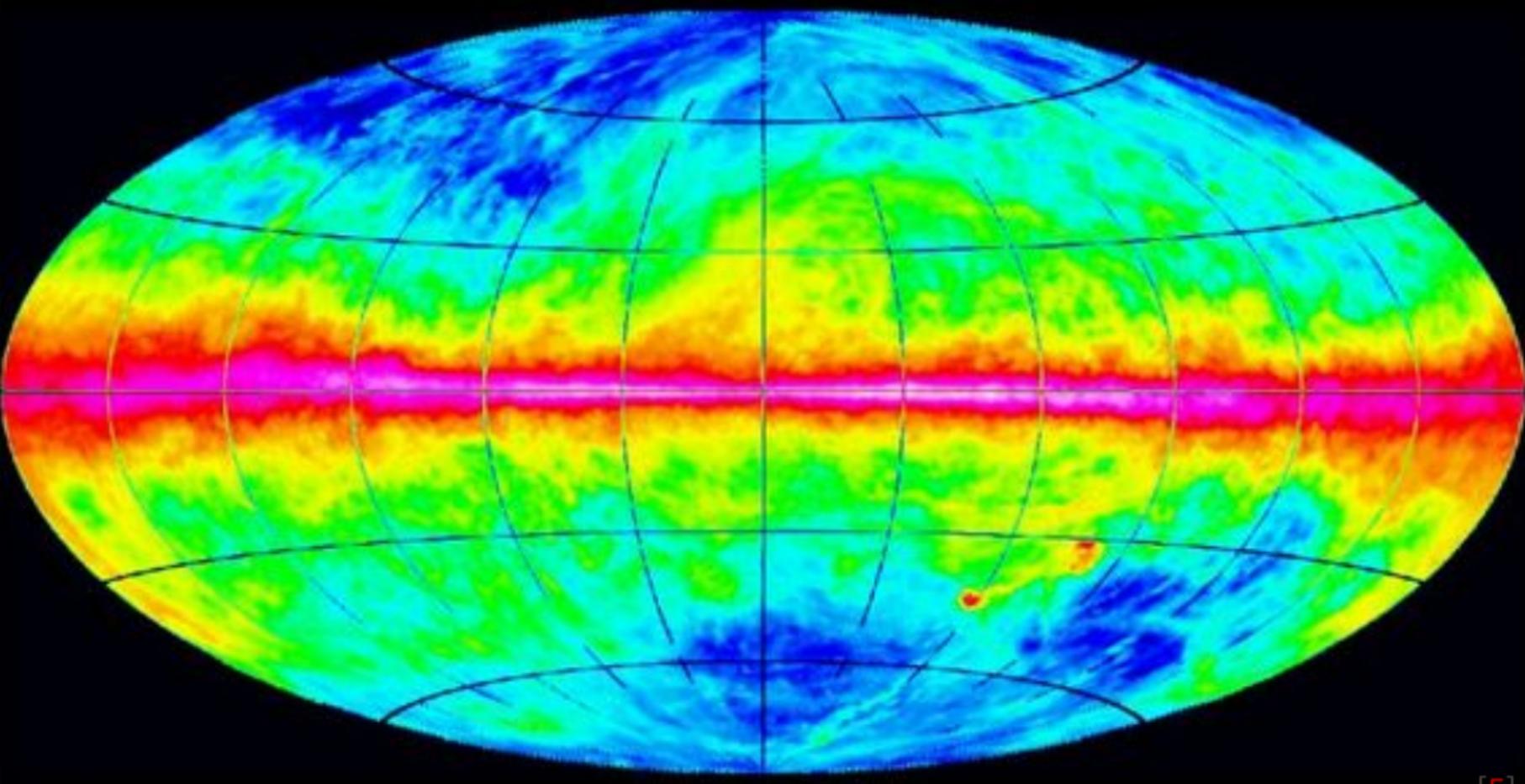


Die 21 cm-Linie – Vermessung der Milchstraße

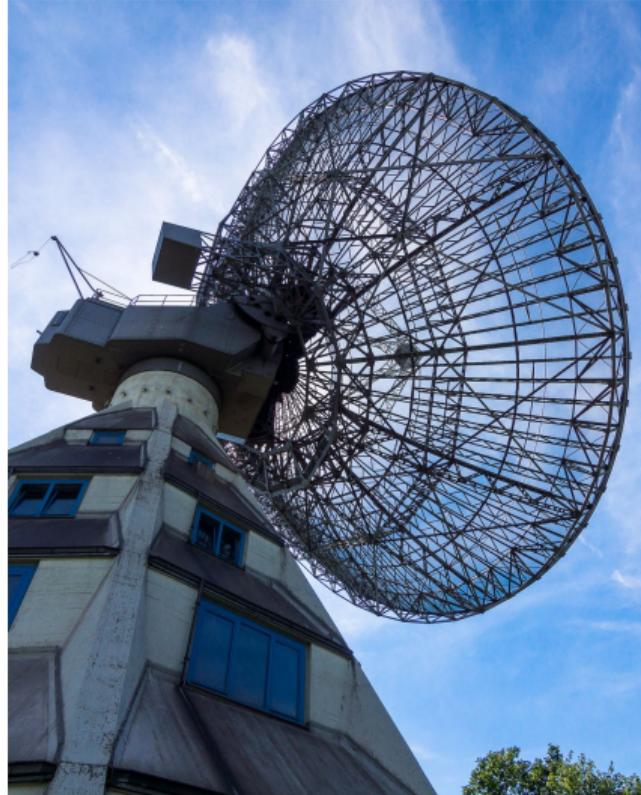


T_B für $l = 270^\circ$, [3]





Messung am Stockert



Baujahr 1956

Durchmesser 25 m

Auflösung $0,5^\circ$ FWHM für $\lambda = 21$ cm

Messung Aufnahme von Spektren für verschiedene galaktische Längen

Sichtbarkeit der Milchstraße

1.6.2015 Arme in Zentrumsnähe ab ca. 20:30 Uhr
Milchstraßen-Zentrum ca. 22 – 4 Uhr

15.6.2015 Alle Zeiten ca. 30 Minuten früher



THINGS - extragalaktische 21 cm-Linien

The HI Nearby Galaxy Survey – Very Large Array:

Ort New Mexico, USA

Teleskope 27 Stück
25 m Durchmesser

Auflösung 7" bzw. 5 km/s

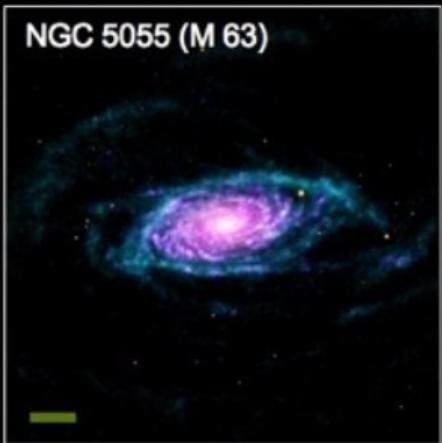
Messung 34 Objekte zwischen 3 und 15 Mpc

Messdauer > 500 h

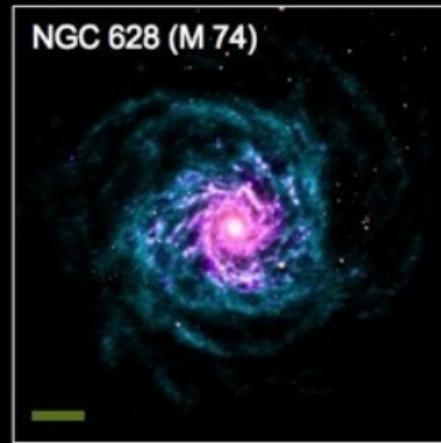


Spiral Galaxies in THINGS — The HI Nearby Galaxy Survey

NGC 5055 (M 63)



NGC 628 (M 74)



THINGS

The HI Nearby
Galaxy Survey

color coding:

THINGS Atomic Hydrogen
(Very Large Array)

Old stars

(Spitzer Space Telescope)

Star Formation

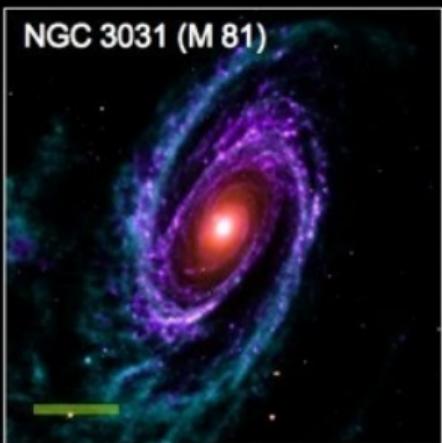
(GALEX & Spitzer)

scale:



15,000 light years

NGC 3031 (M 81)



NGC 5194 (M 51)



Image credits:

VLA THINGS: Walter et al. 08

Spitzer SINGS: Kennicutt et al. 03

GALEX NGS: Gil de Paz et al. 07

THINGS

The HI Nearby
Galaxy Survey



Quellen I

-  M. Fich, L. Blitz und A. A. Stark. „The rotation curve of the Milky Way to 2 R(0)“. In: *Astrophysical Journal* 342 (Juli 1989), S. 272–284. doi: 10.1086/167591.
-  Helmut Hellwig u. a. „Measurement of the Unperturbed Hydrogen Hyperfine Transition Frequency“. In: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 19.4 (1970).
-  *HI Profile Search*. URL: <https://www.astro.uni-bonn.de/hisurvey/euhou/LABprofile/index.php>.
-  P. M. W. Kalberla u. a. „The Leiden/Argentine/Bonn (LAB) Survey of Galactic HI. Final data release of the combined LDS and IAR surveys with improved stray-radiation corrections“. In: *Astronomy and Astrophysics* 440 (2 2005), S. 775–782. URL: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2005A&26A...440..775K>.

Quellen II

-  *LAB Survey.* URL:
<https://www.astro.uni-bonn.de/download/data/lab-survey/>.
-  J. H. Oort, F. J. Kerr und G. Westerhout. „The galactic system as a spiral nebula (Council Note)“. In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 118 (1958), S. 379.
-  *Sample of THINGS Objects.* URL: <http://www.mpia.de/THINGS/Sample.html>.
-  *Spiral Galaxies in THINGS.* URL:
http://www.mpia.de/THINGS/Spiral_Galaxies.html.