

Einführung in die Radioastronomie

Wintersemester 2025/26

Prof. Katharina Schreyer

Dr. Alexander Drabent

Prof. Matthias Hoefft



Credit: SARAO; NRAO/AUI/NSF

Thüringer Landessternwarte

<https://www.tls-tautenburg.de>



Foto: TLS / M. Pluto



Foto: TLS / C. Högner

Themen der Vorlesung

Aufbau und Eigenschaften von Radioteleskopen

Die Primärantenne
das Empfängersystem und Datenverarbeitung
Interferometer

Quellen von Radiostrahlung und deren Eigenschaften

Thermische Emission : Kosmischer Mikrowellenhintergrund, Staub
Bremsstrahlung : Sonne, HII-Regionen
21-cm Emission : neutraler Wasserstoff,
Synchrotronstrahlung : Radiogalaxien und Aktive Galaxien
Polarisation : Informationen über das Magnetfeld
Plasmastrahlung : Ausbrüche der Sonne
Zeitveränderliche : Pulsare und Fast Radio Bursts

Besuch LOFAR Feld Tautenburg?



Heute:

Formales zur Vorlesung

kurze Übersicht Radioquellen und Teleskope

Intensität und Fluss

Übung:

Vorführung Small Radioteleskop

Organisatorisches

Vorlesung

Freitag 14:15 - 15:45

Seminarraum Sternwarte Schillergässchen

Übung

??

Präsentationen der Aufgaben durch Studenten

Übungen

Klausur

Mindestens 50% der Übungsaufgaben erfolgreich bearbeitet

Leistungspunkte

6

ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS LIBRARY

T.L. Wilson
K. Rohlfs
S. Hüttemeister

Tools of Radio Astronomy

Fifth Edition



 Springer

Das "Radiofenster"

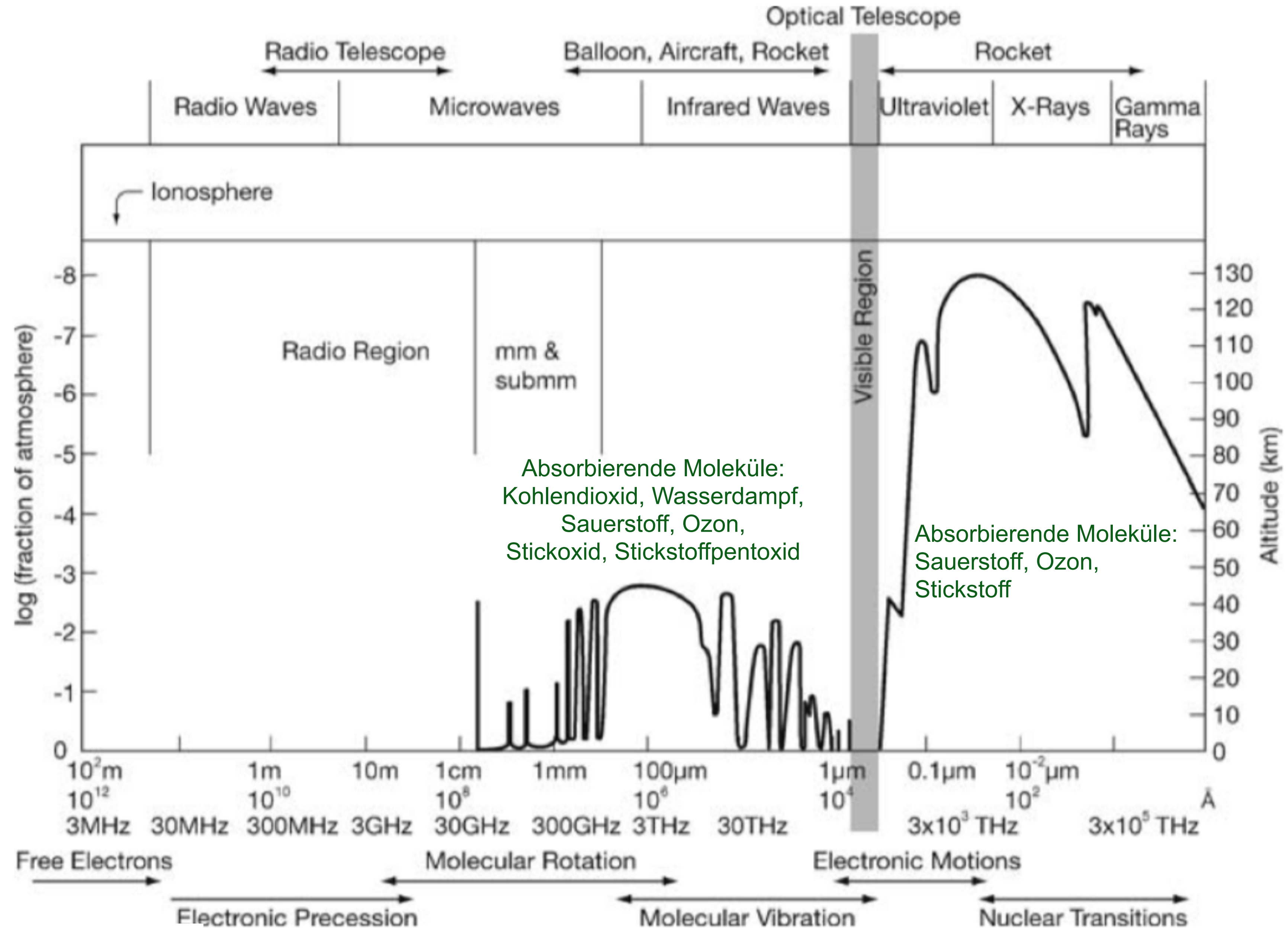


Bild aus Wilson et al.

Wellenlänge und Frequenz

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

λ : Wellenlänge, c : Lichtgeschwindigkeit, ν : Frequenz

Beispiel: 21cm entspricht 1.4 GHz

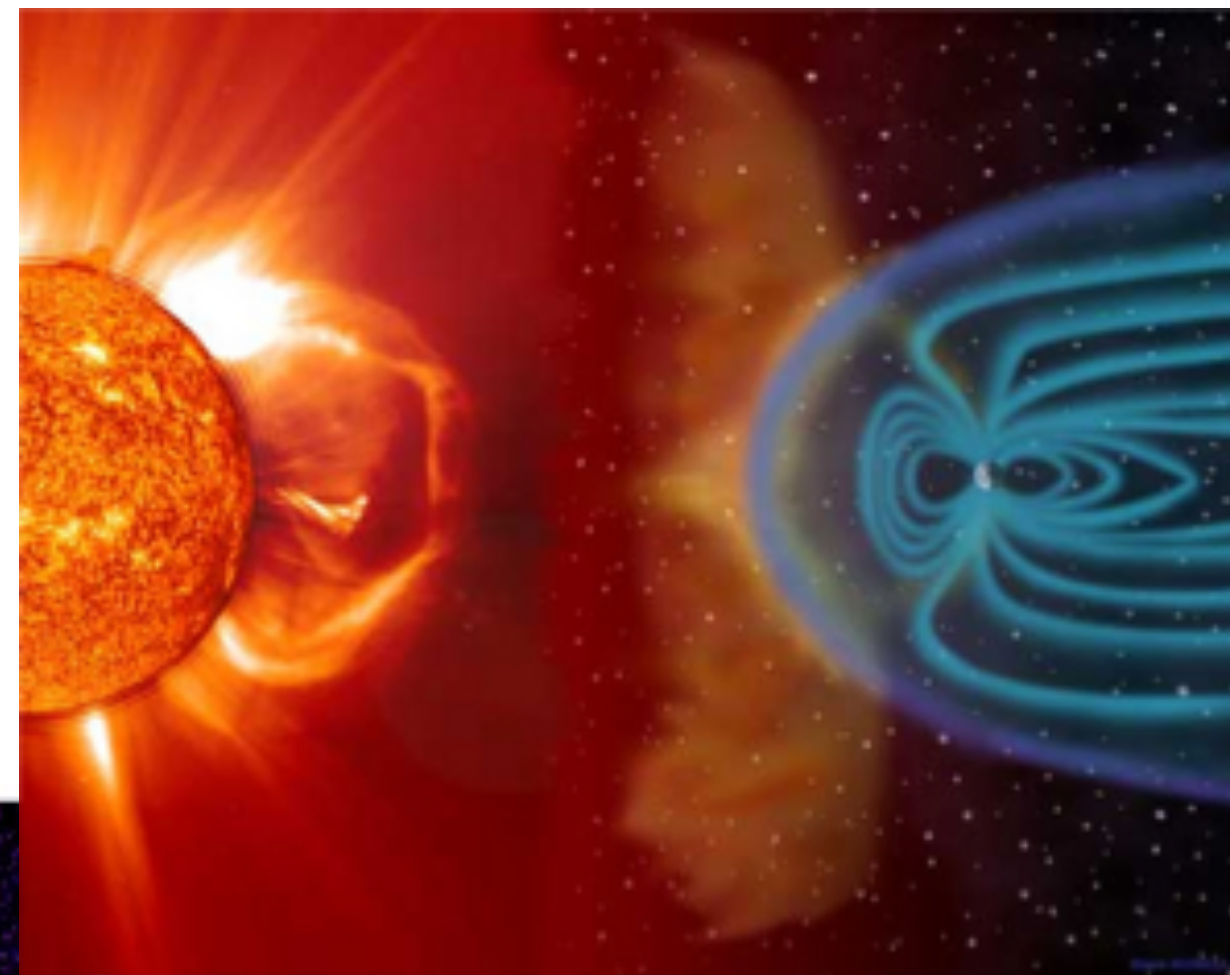
Plasmafrequenz

$$\frac{\nu_p}{\text{kHz}} = 8.97 \sqrt{\frac{N_e}{\text{cm}^{-3}}}$$

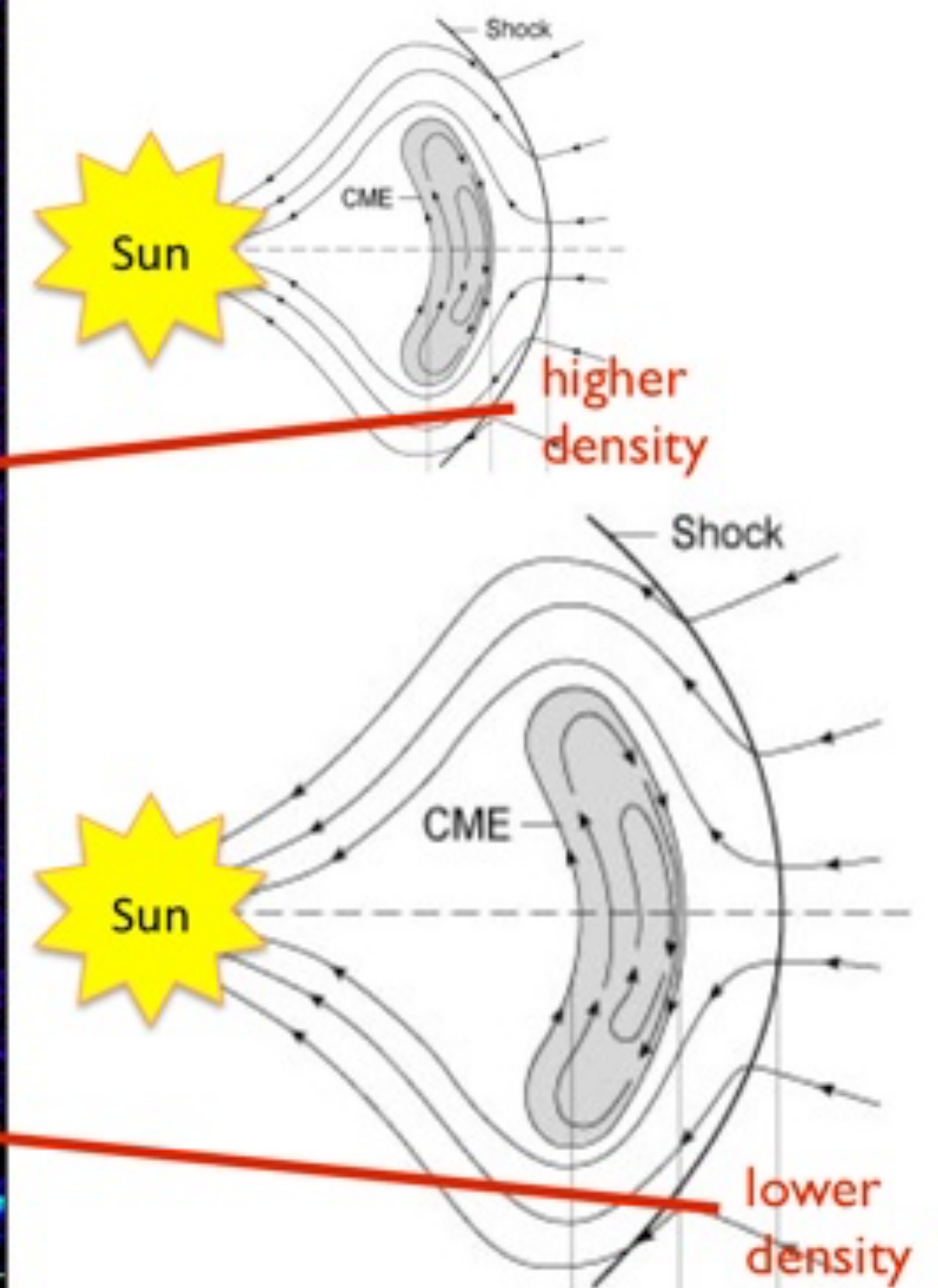
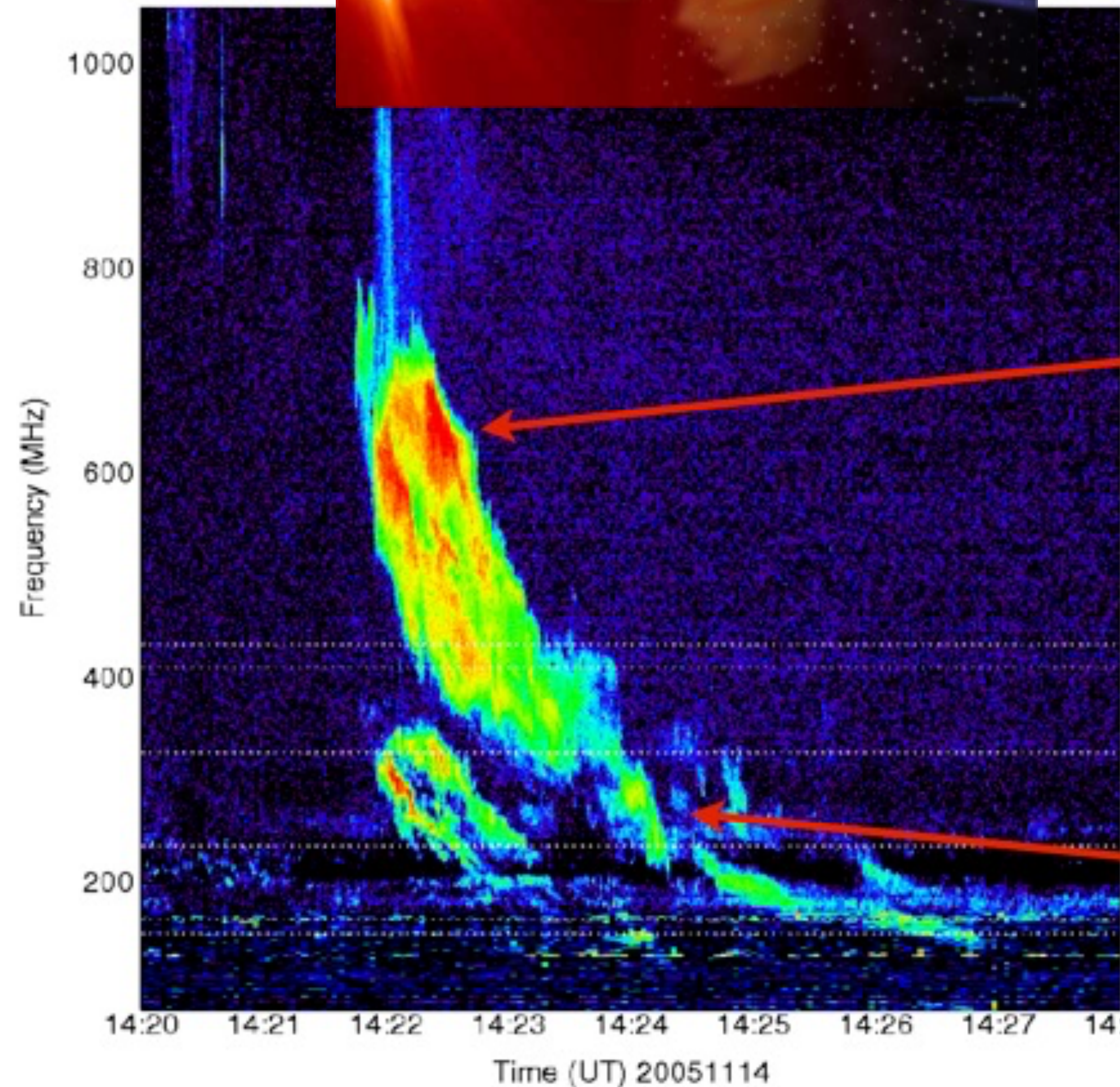
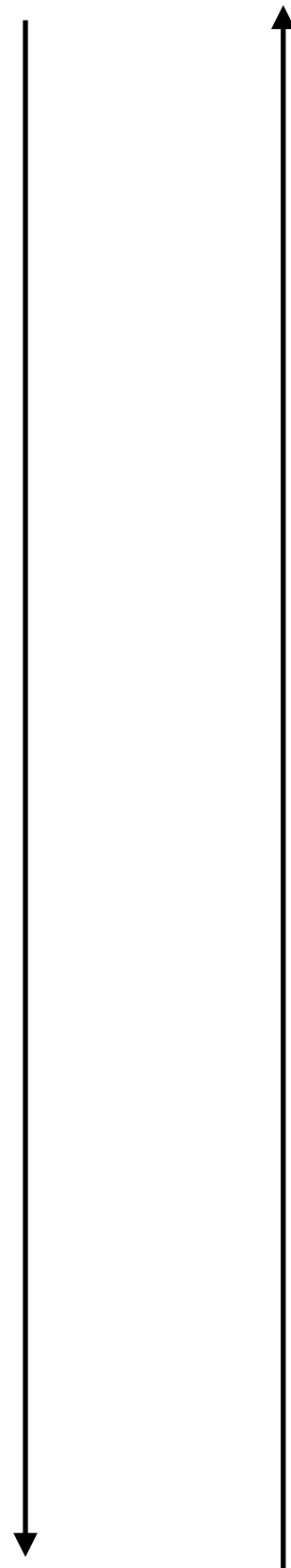
N_e : Elektronendichte

Elektronendichte in der Ionosphäre etwa: $10^5 - 10^6 \text{ cm}^{-3}$

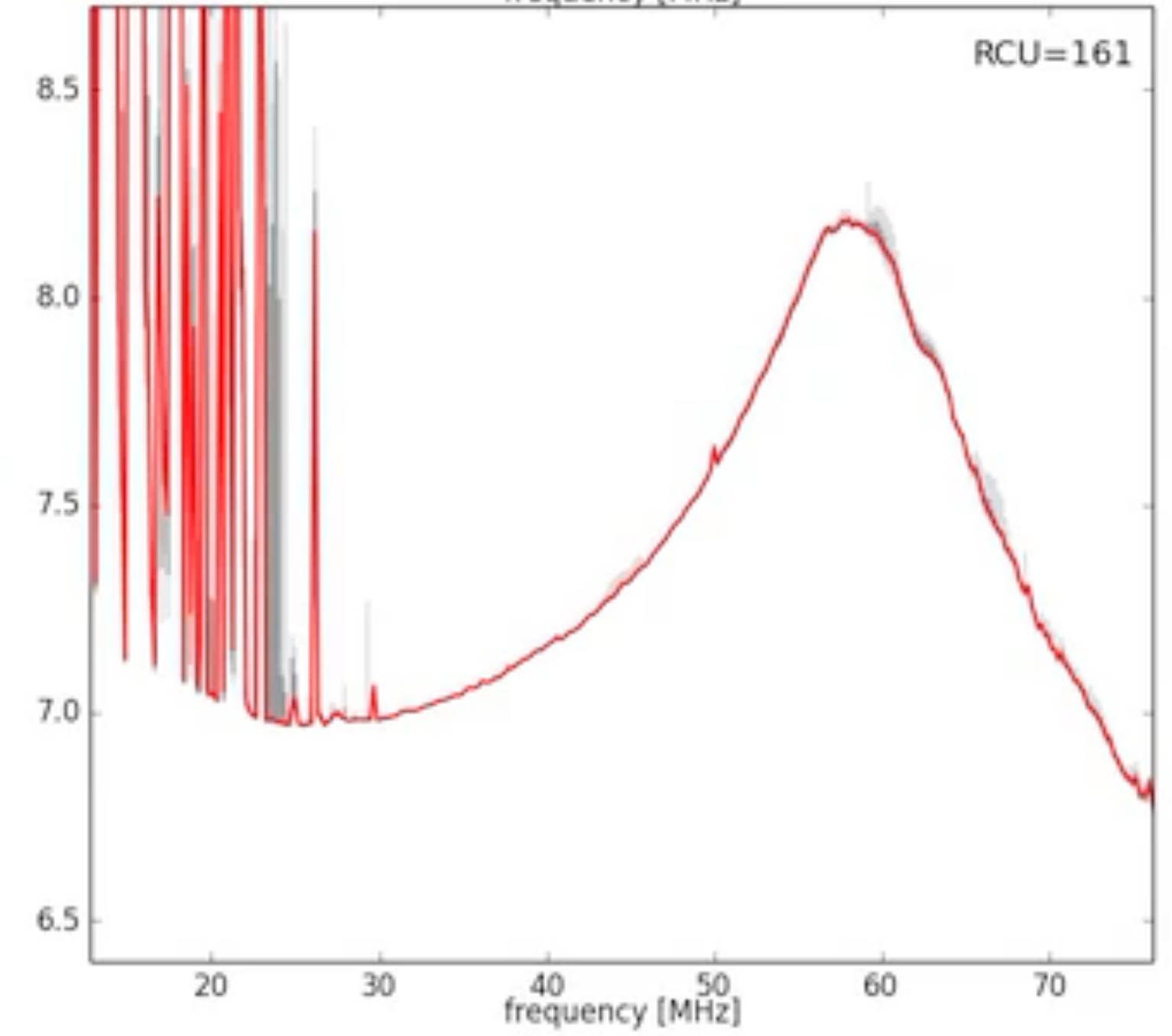
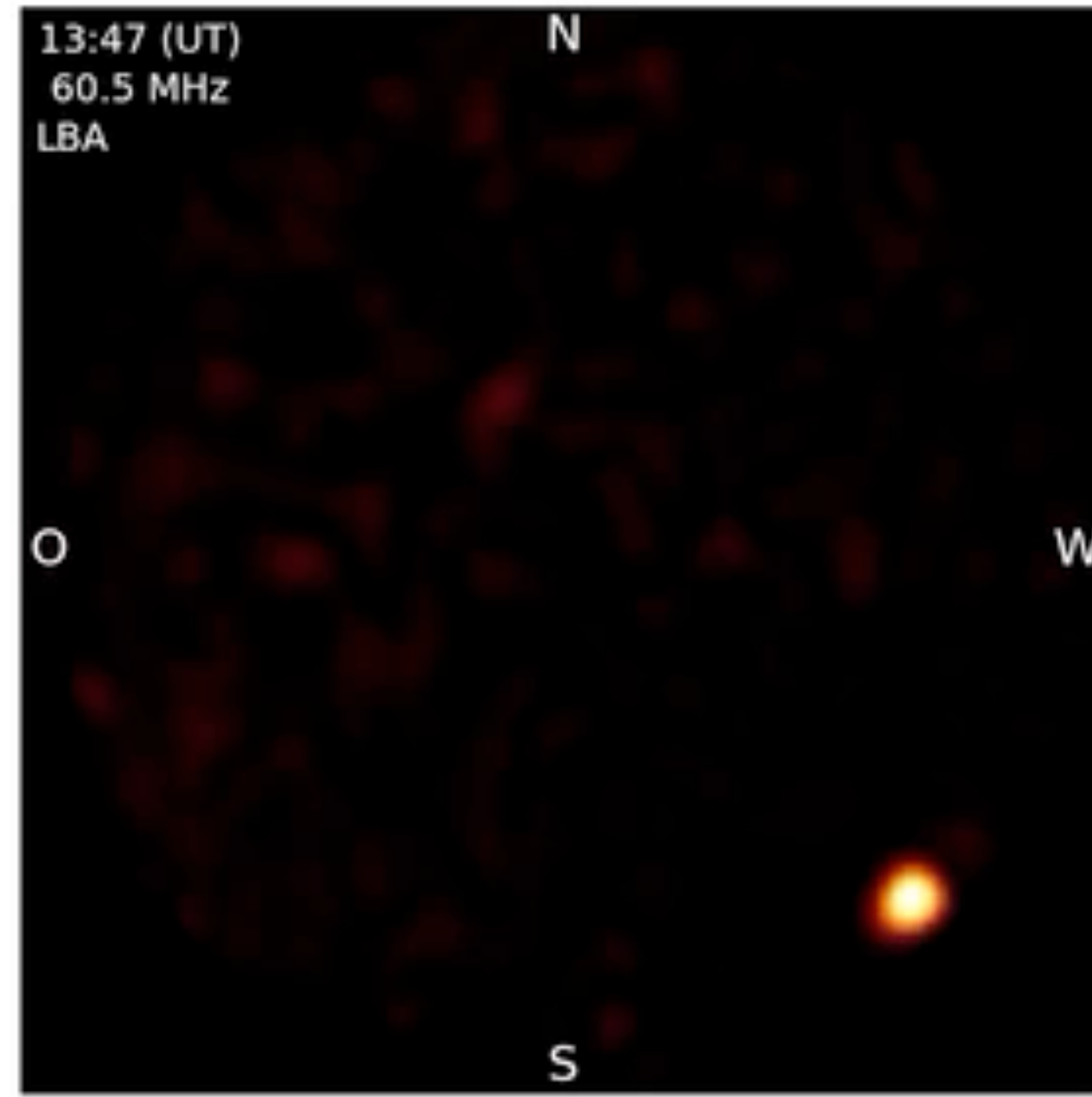
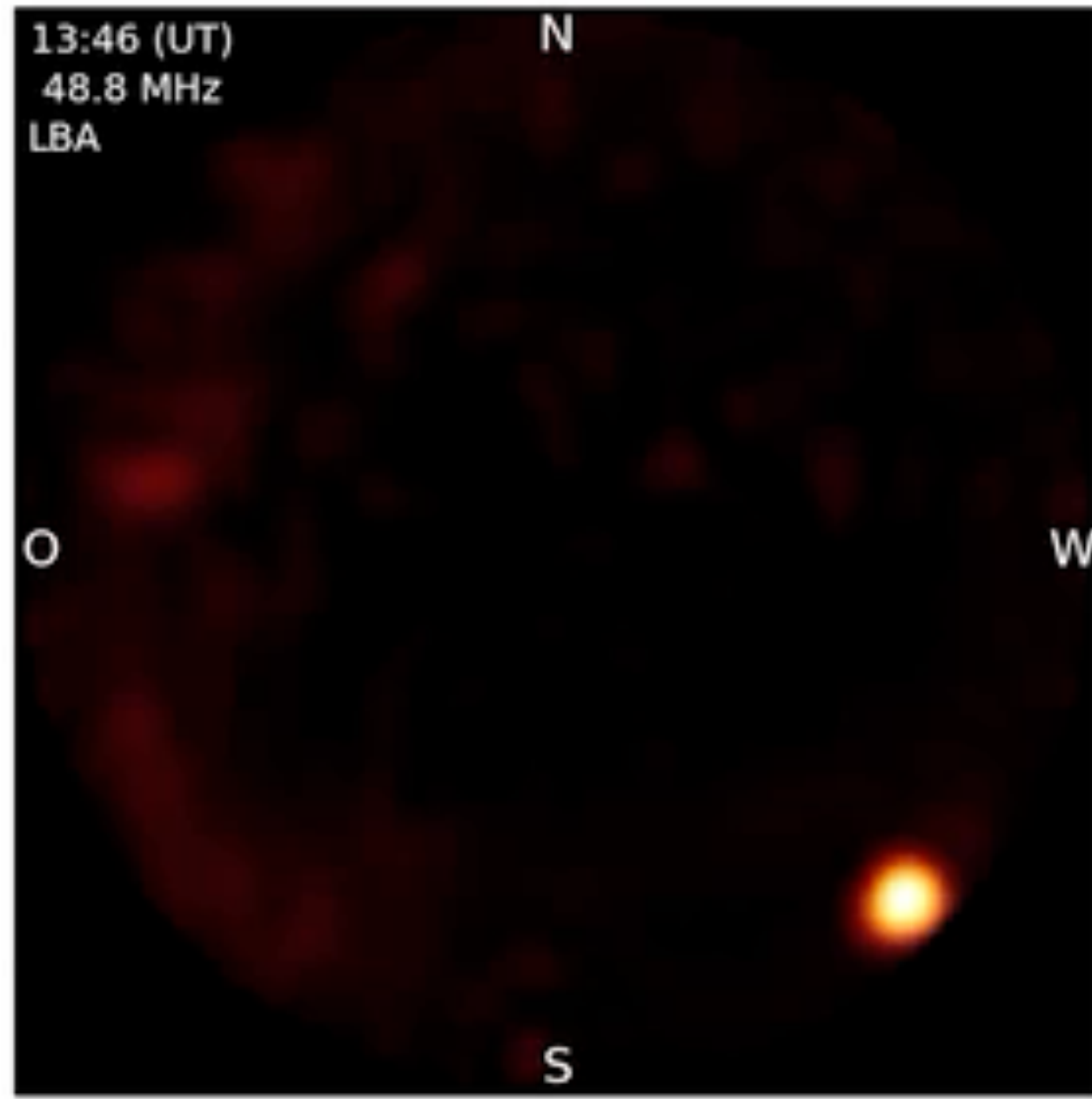
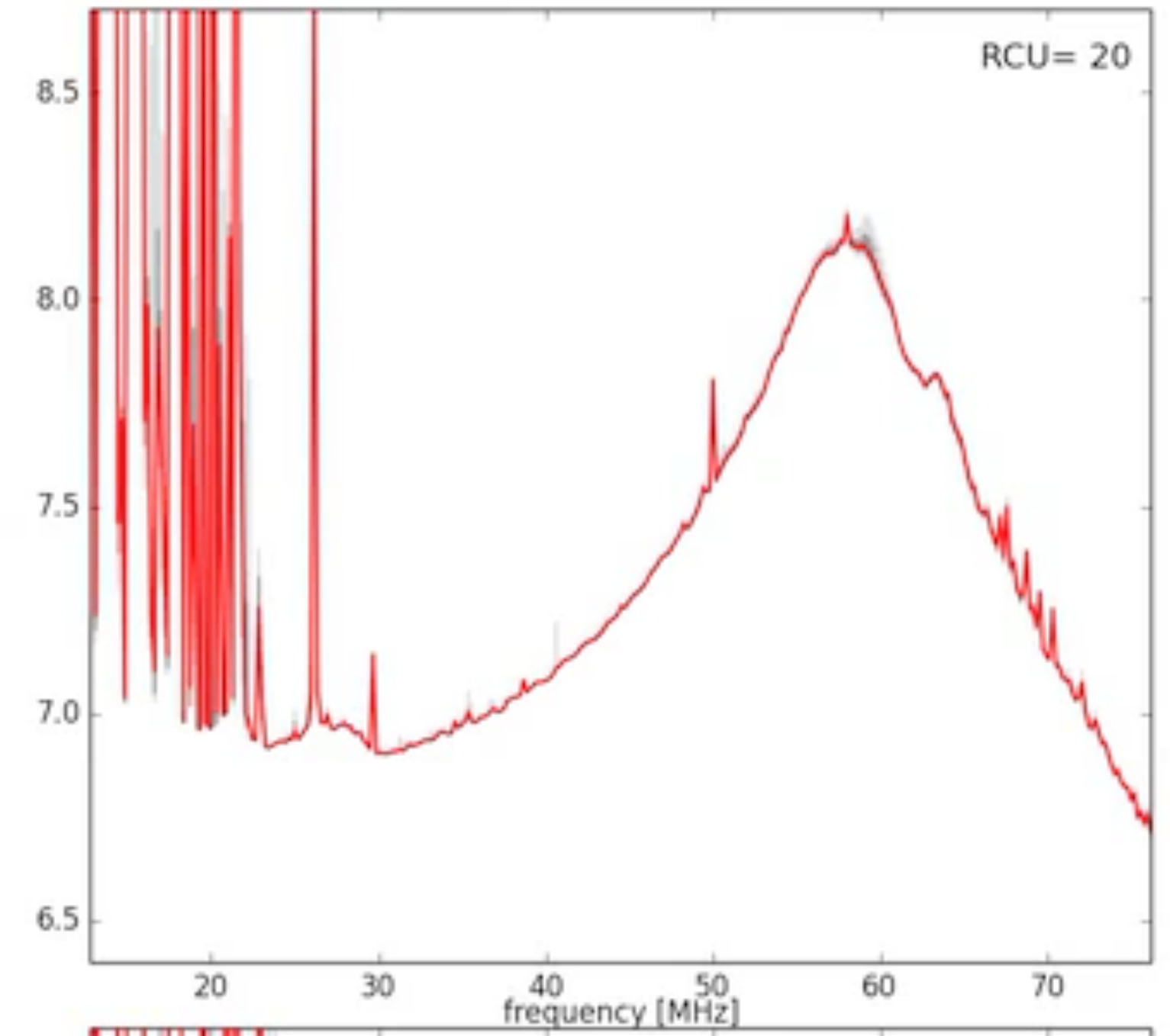
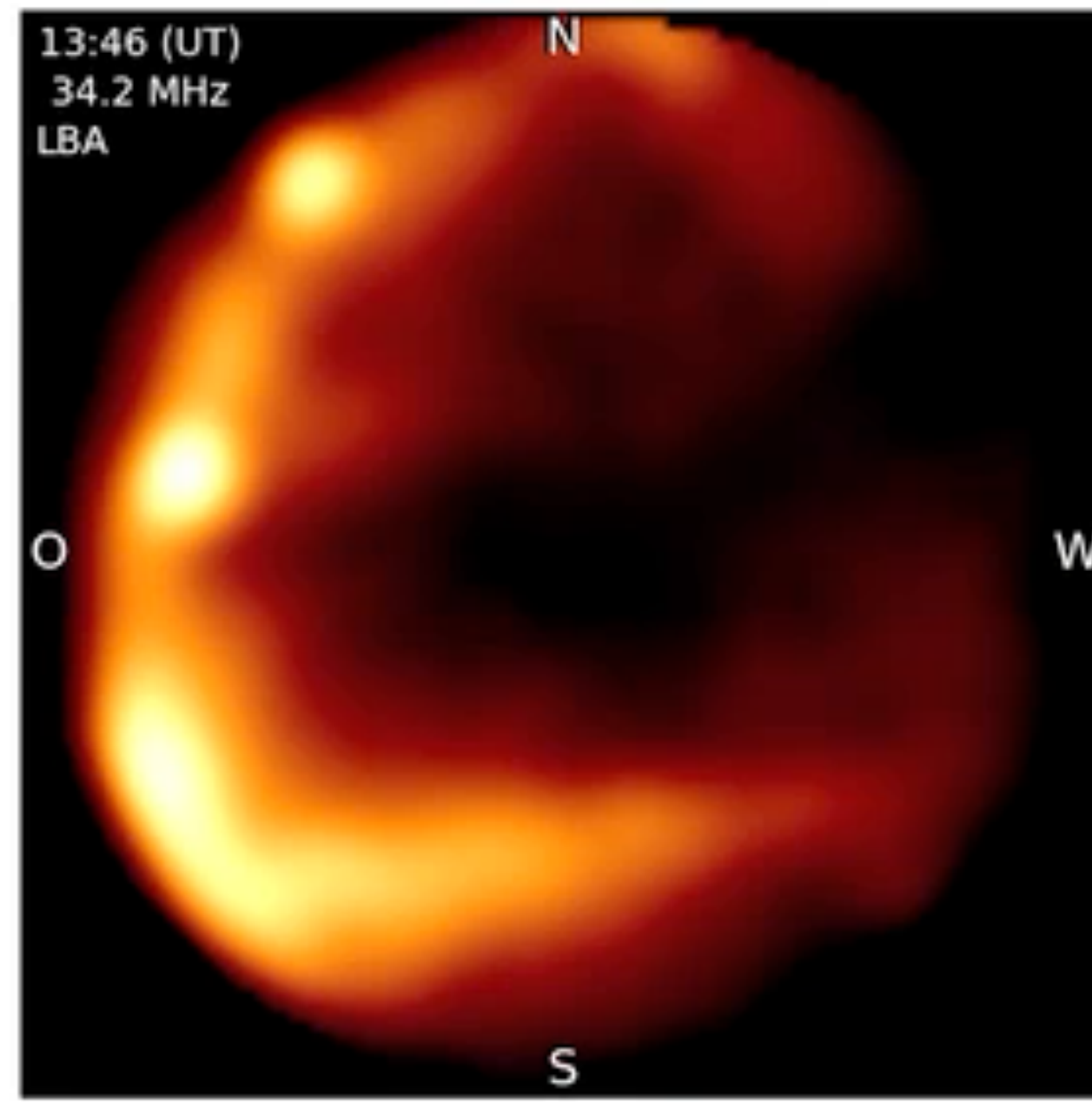
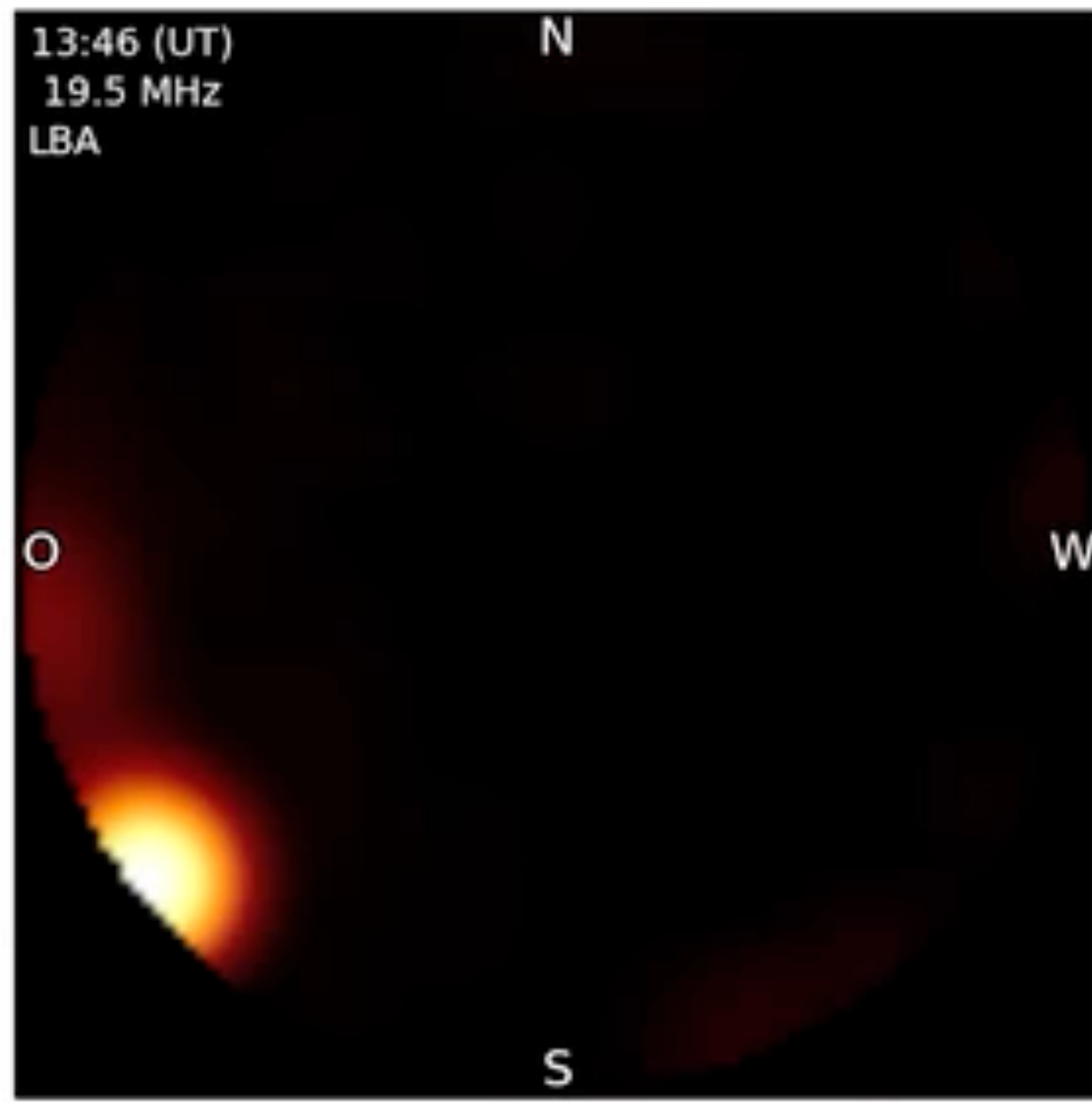
Sonnenausbrüche ('Flares')



Radius Dichte



Der aktuelle Radiohimmel über Tautenburg



Kleinst auflösbarer Winkel eines Teleskops

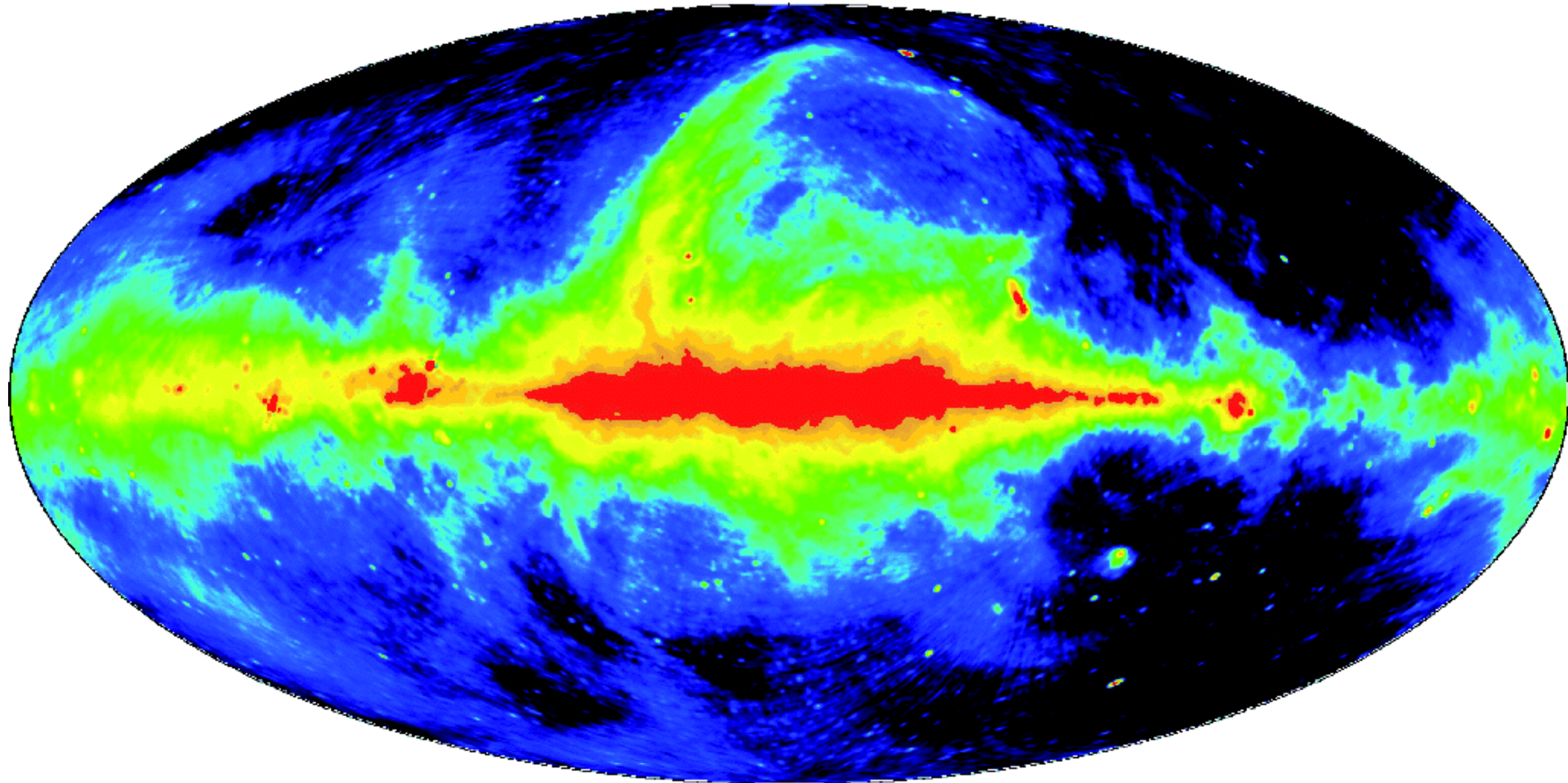
$$\Delta\phi = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

geometrische Sammelfläche: Teleskopfläche

$$A = \pi D^2$$

Galaktische Emission

408 MHz



Jodrell-Bank 250-ft + Effelsberg 100-m + Parkes 64-m

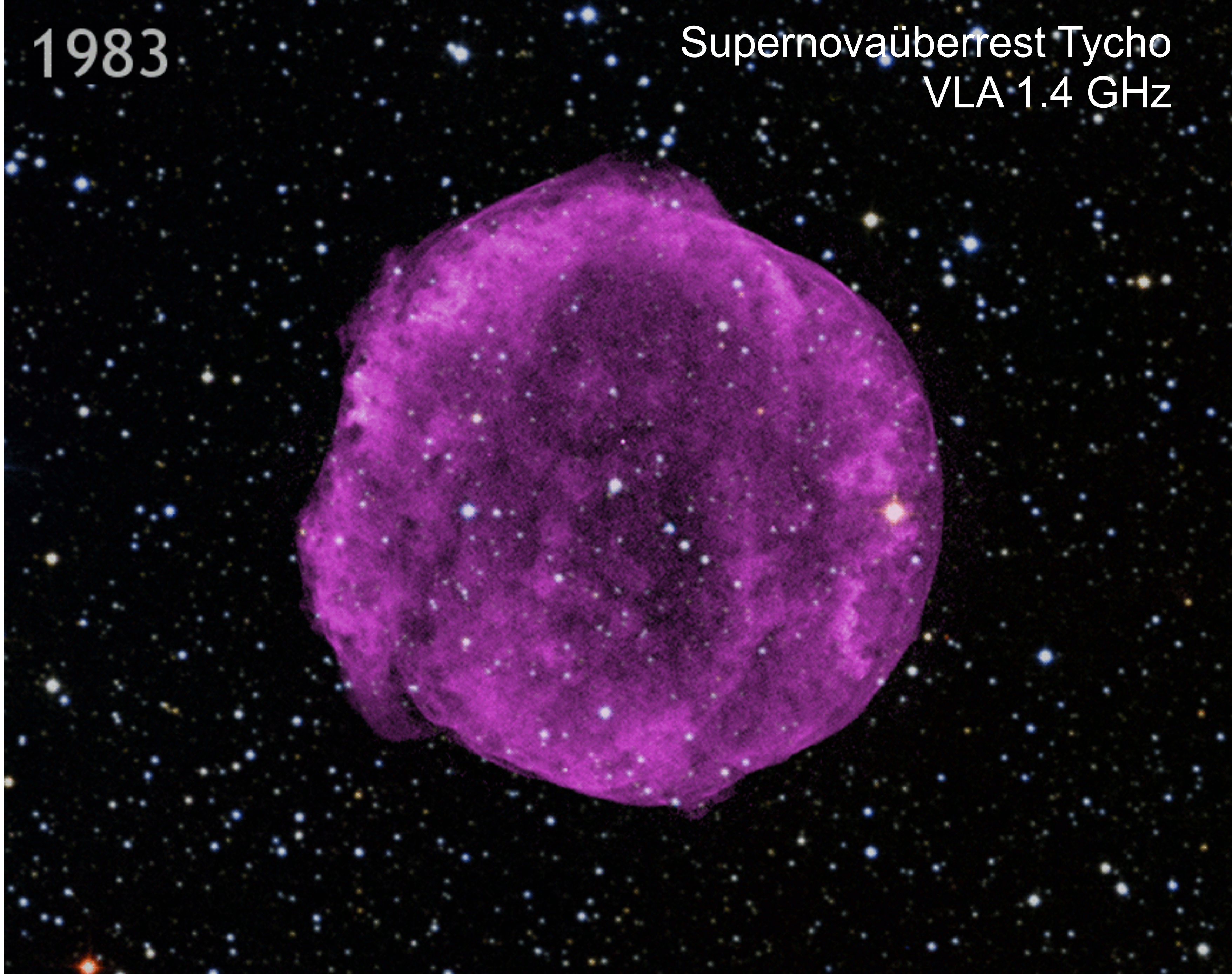
Elektrische Feldstärke im Fernfeld

$$E \propto \ddot{x}$$

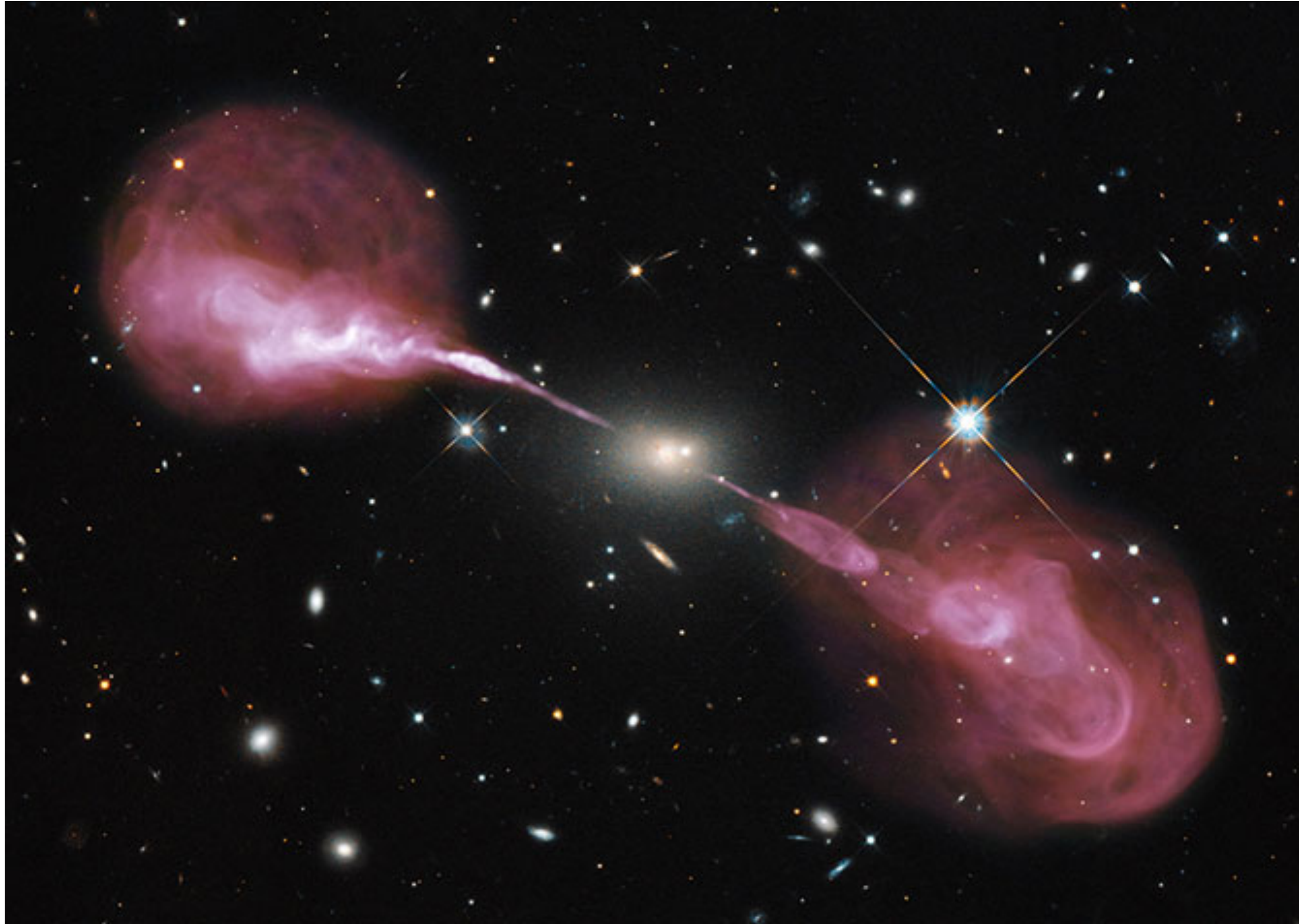
- Elektron erfährt i.d.R. stärkere Beschleunigung als Proton
- Ursachen der Beschleunigung:
 - Coulomb: Bremsstrahlung
 - Magnetfelder: Gyro- / Synchrotron
 - Kollektiv: Plasmastrahlung

1983

Supernovaüberrest Tycho
VLA 1.4 GHz

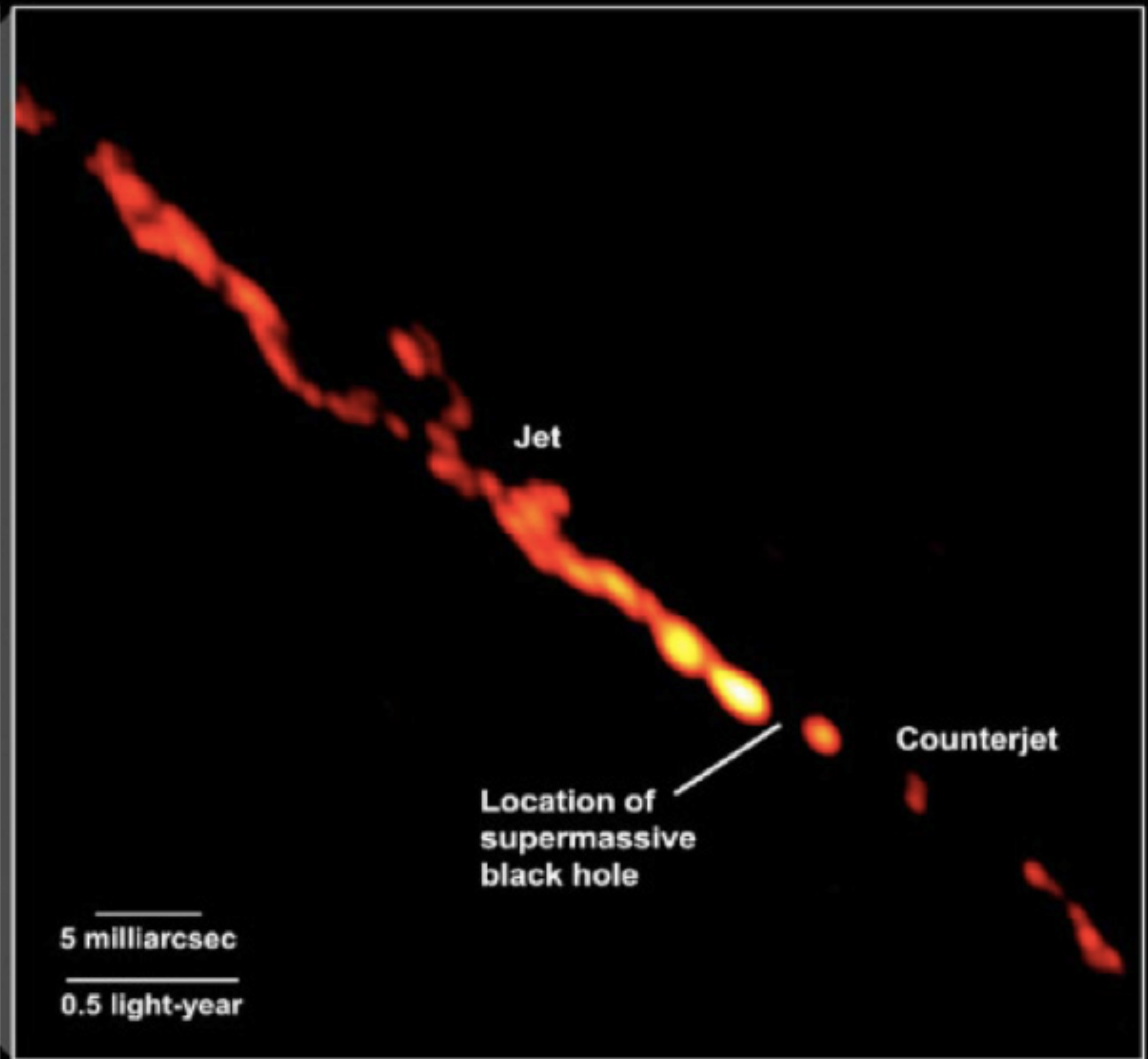
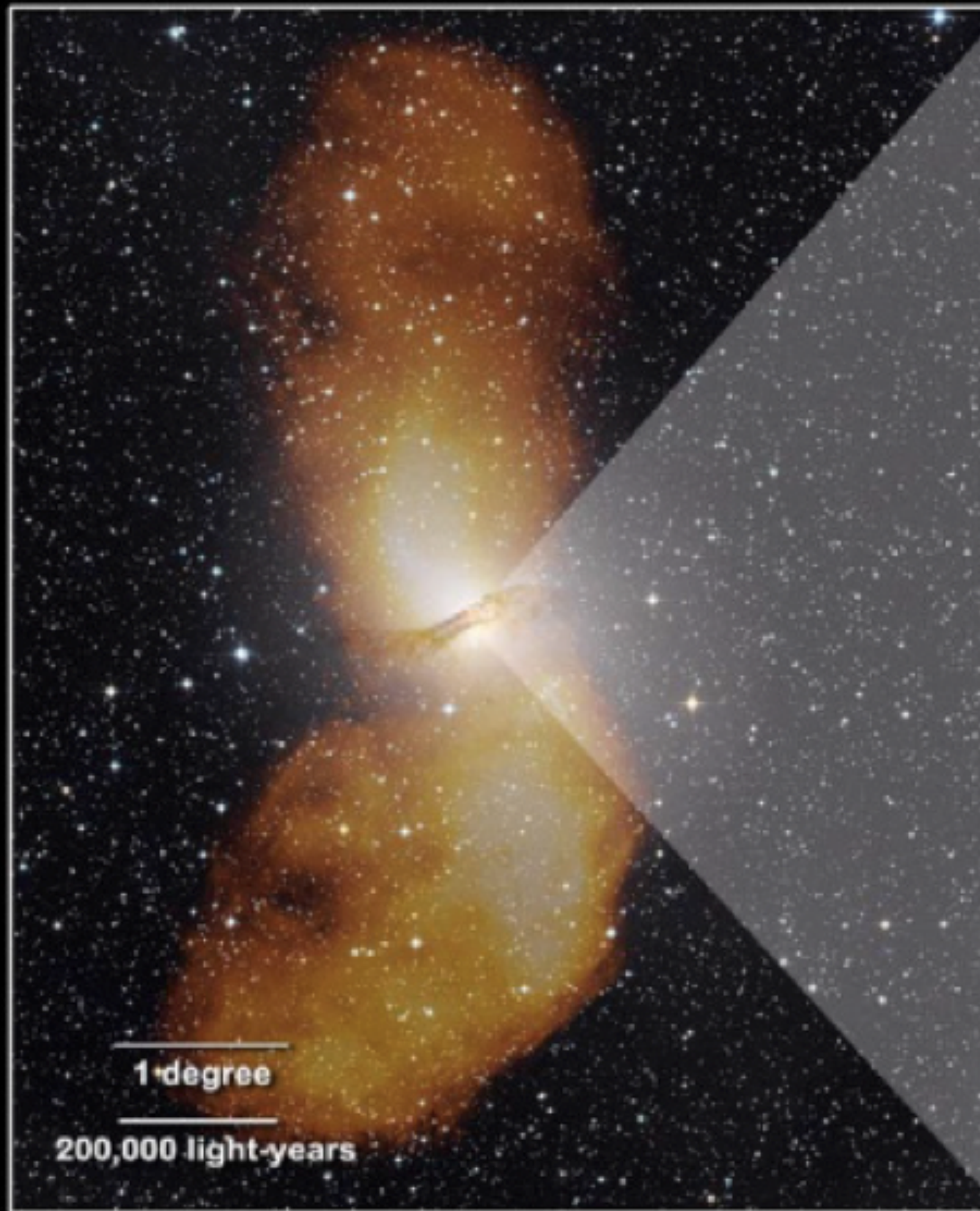


Radiogalaxie Herkules A



NASA, ESA, S. Baum and C. O'Dea (RIT), R. Perley and W. Cotton

Centaurus A's Inner Jets



Hubbles Entfernungsgesetz

$$v_r = H_0 D$$

v_r : Radialgeschwindigkeit

D : Entfernung

H_0 : Hubblekonstante

$$H_0 \sim 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

$$1 \text{ pc} = 3.086 \times 10^{18} \text{ cm}$$

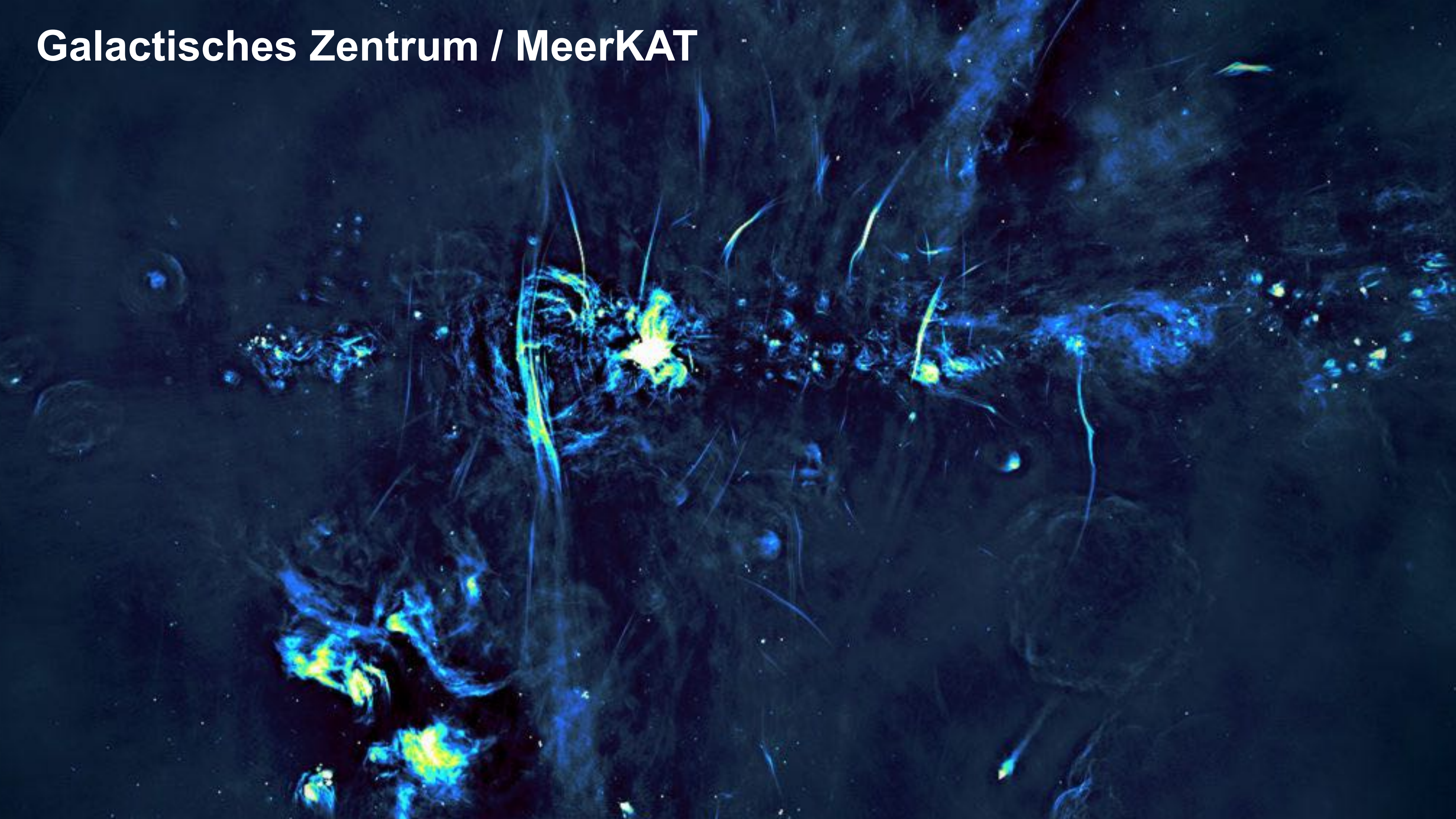
Rotverschiebung

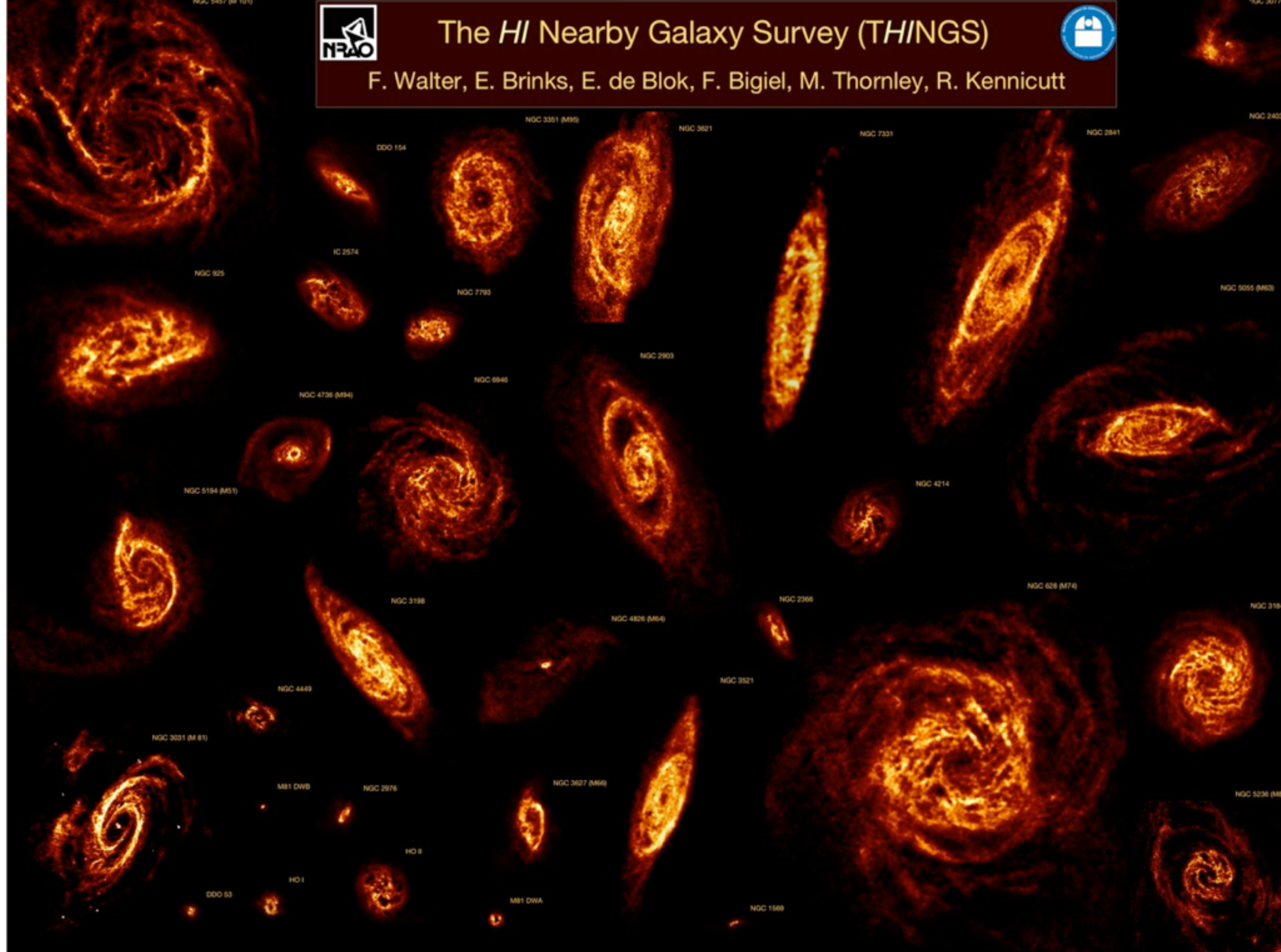
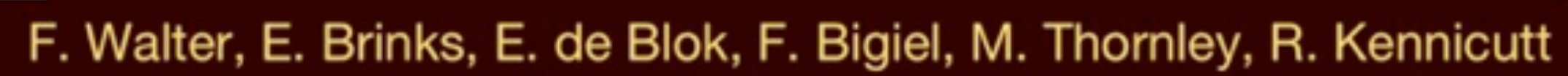
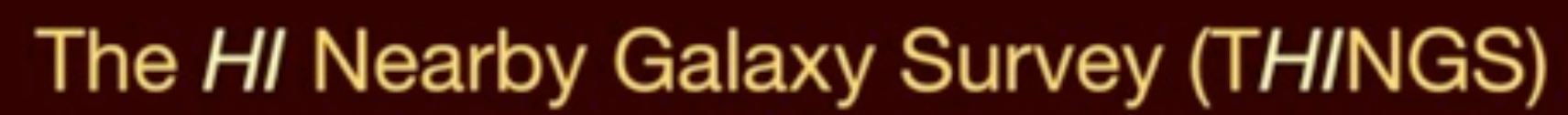
$$z = \frac{\lambda_{\text{rec}}}{\lambda_{\text{em}}} - 1$$

Doppler-Effekt

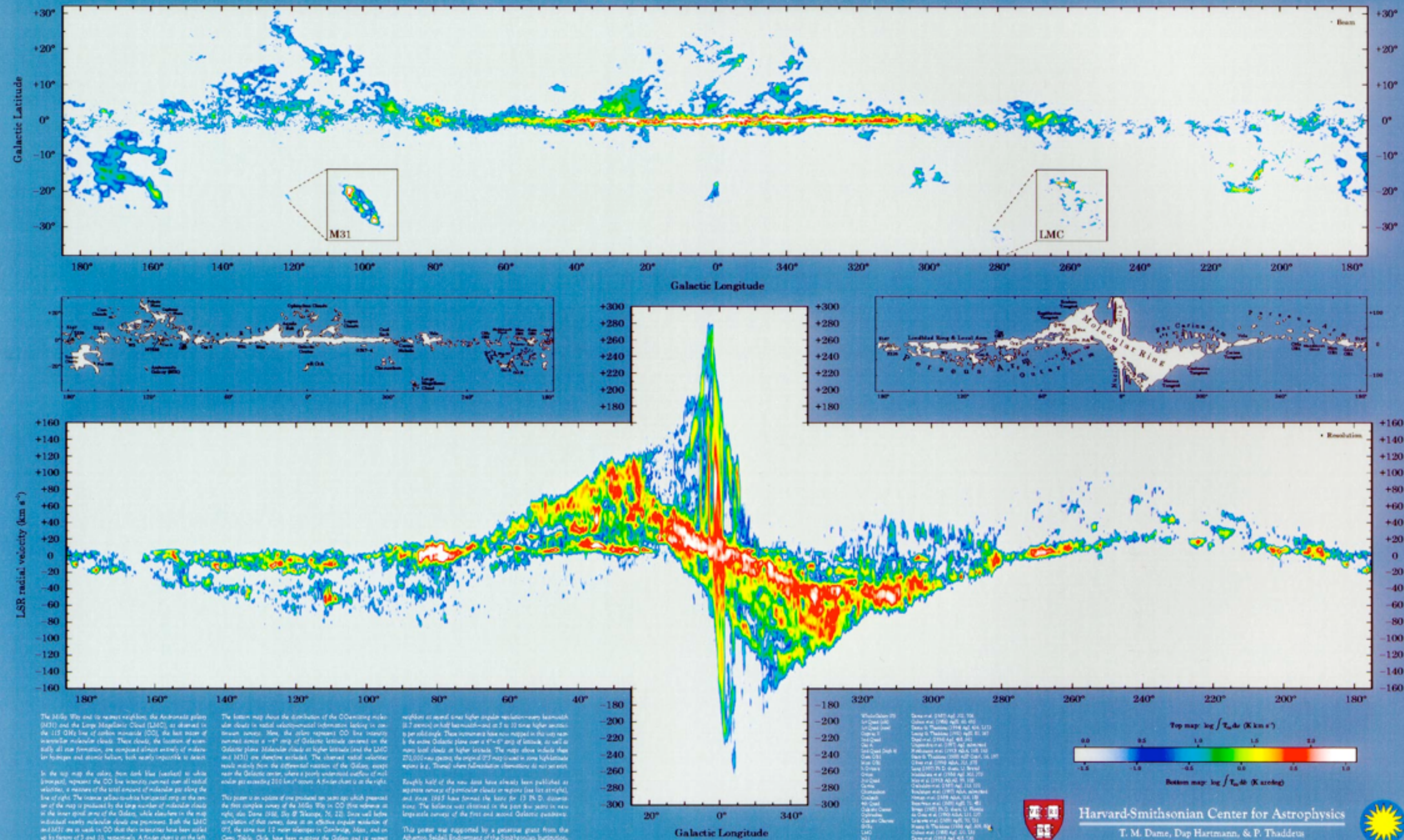
$$v_r = zC$$

Galactisches Zentrum / MeerKAT

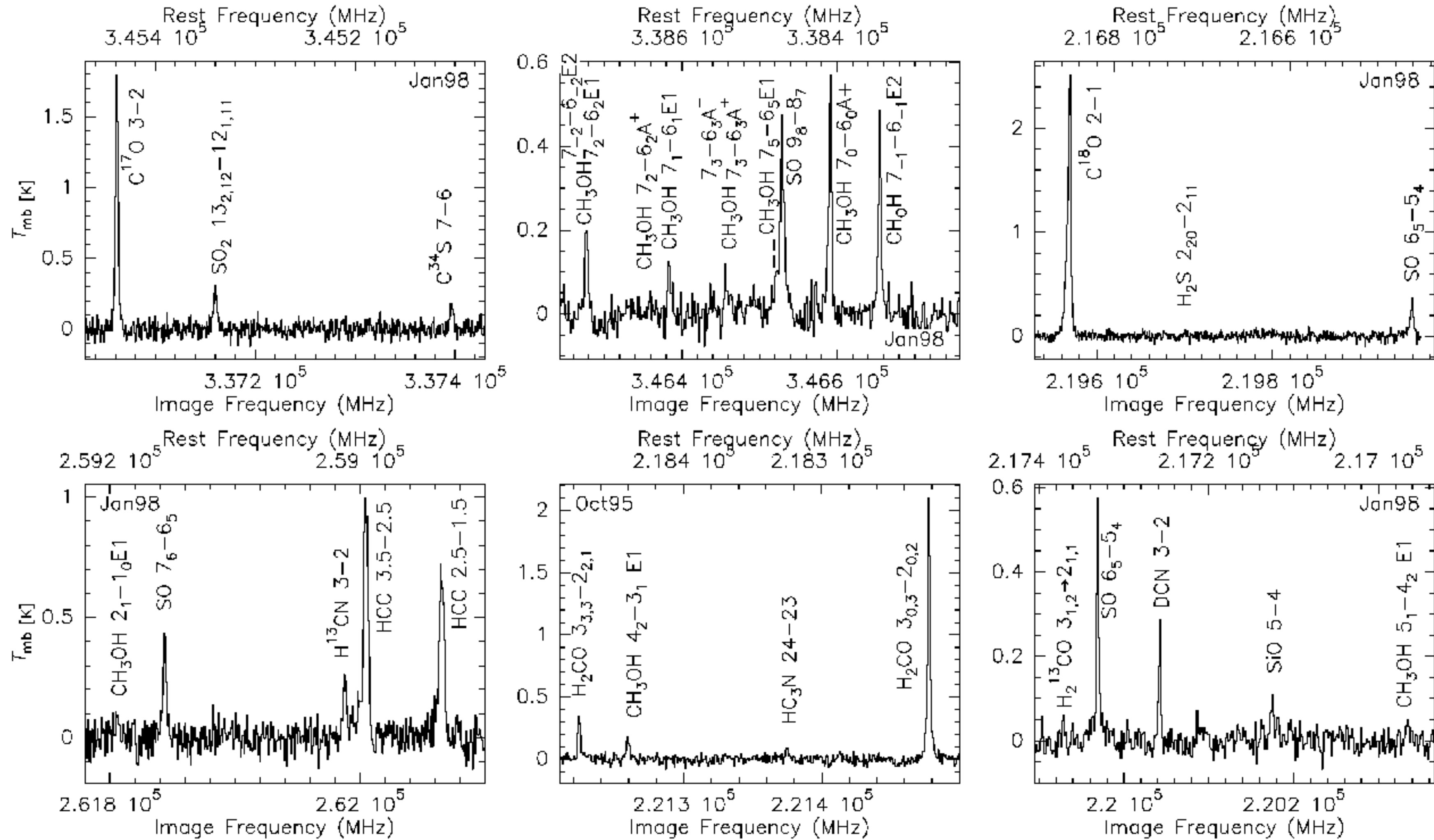




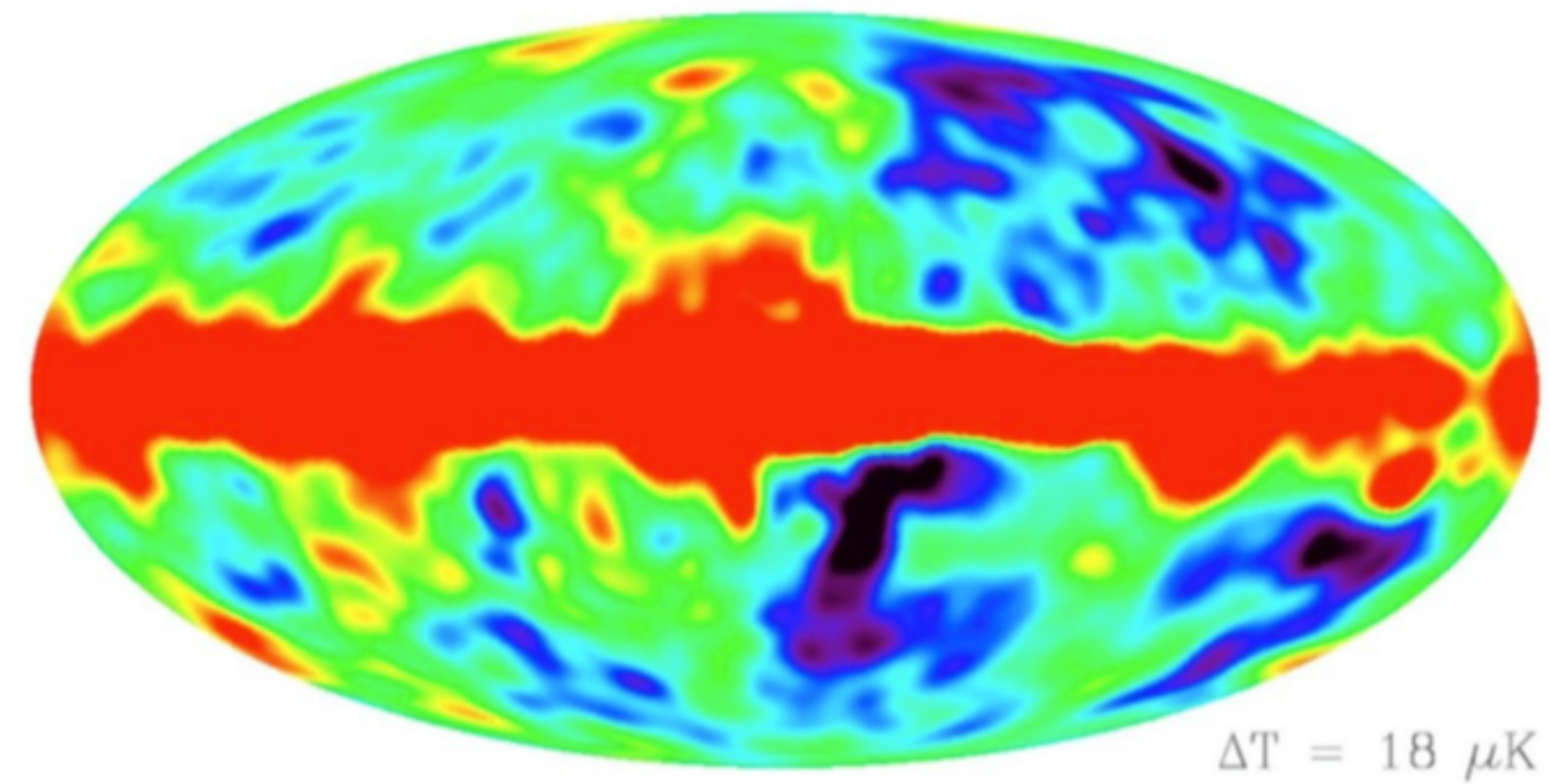
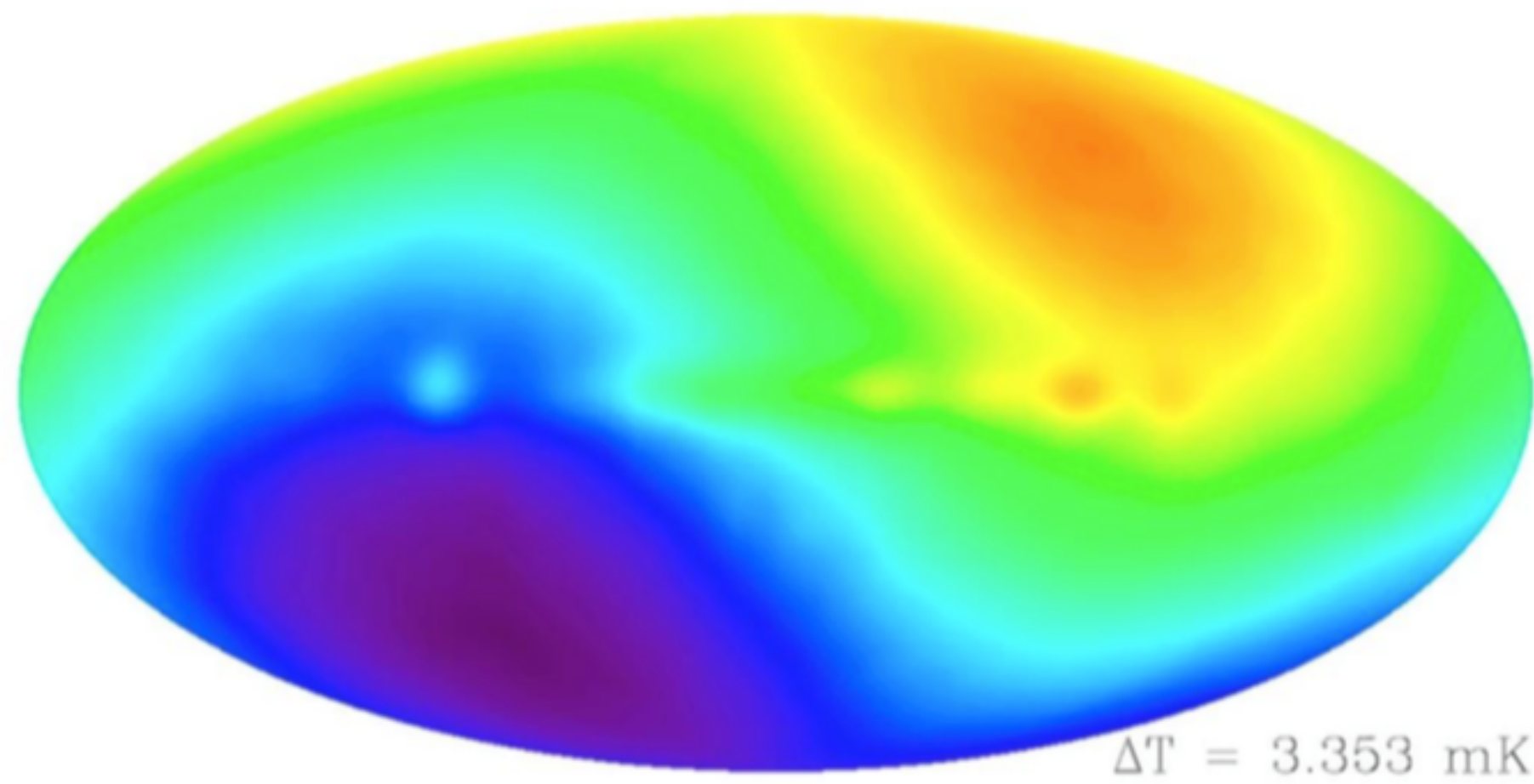
The Milky Way in Molecular Clouds



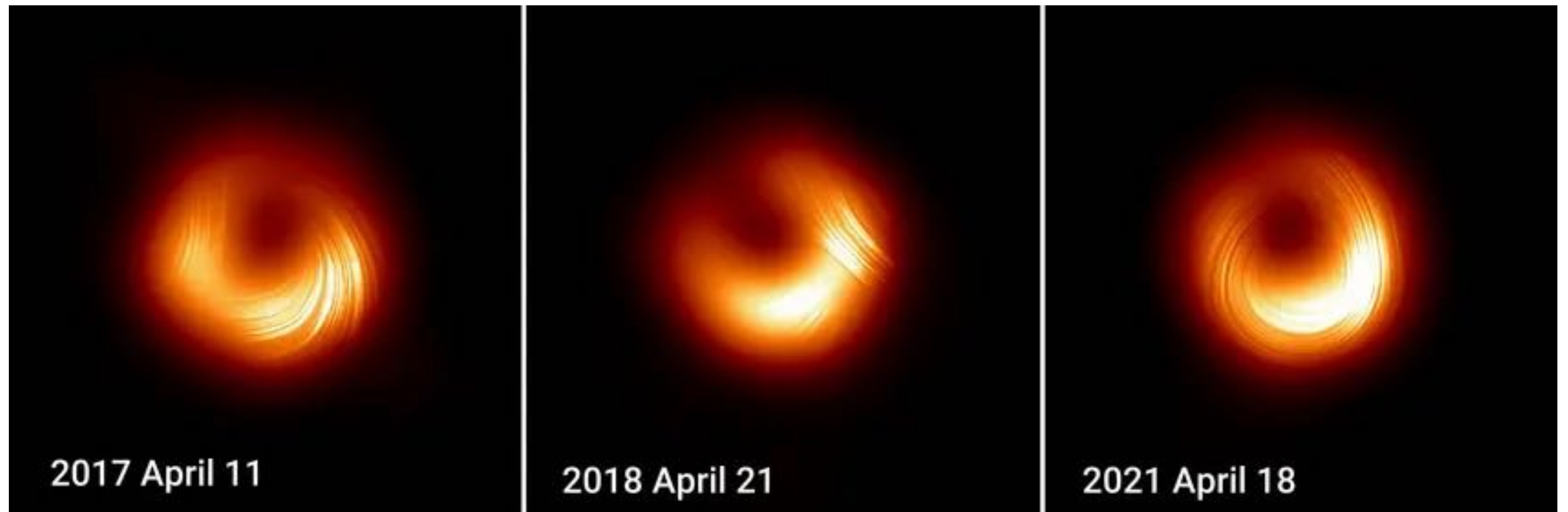
Linienpektren eines Molekülwolkenkerns NGC 2264 IRS1

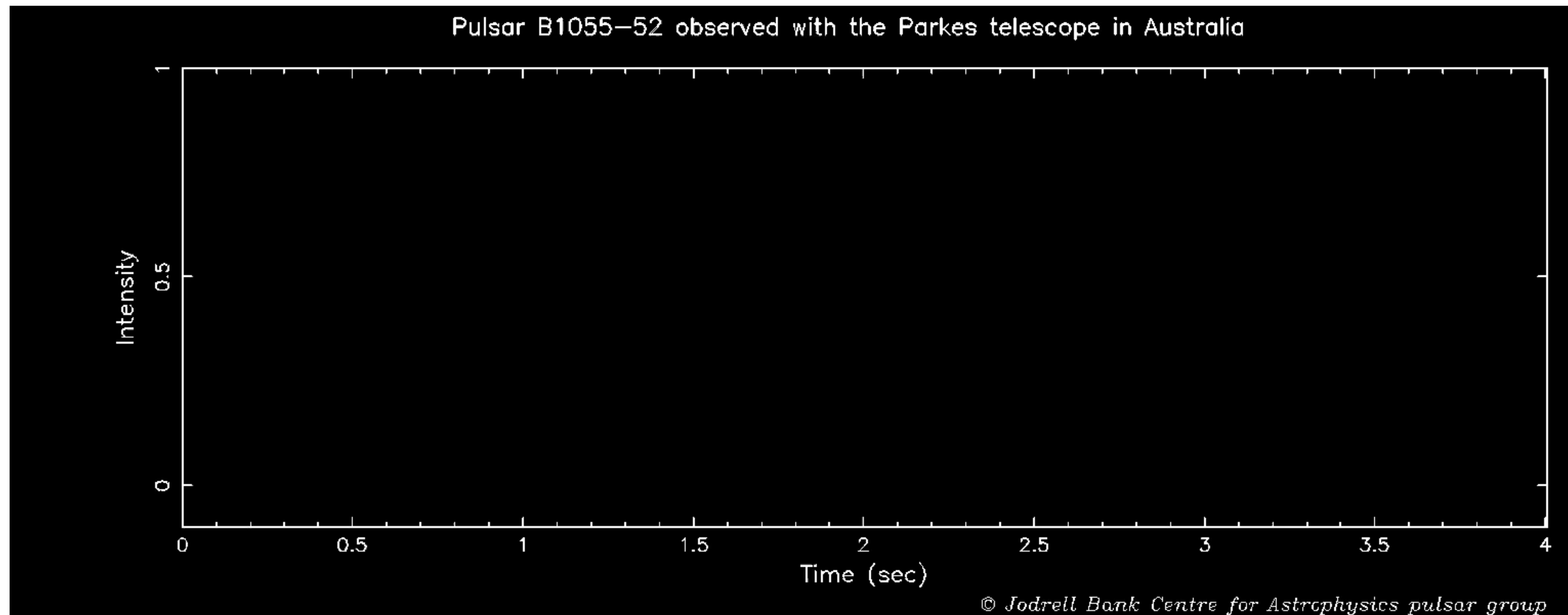


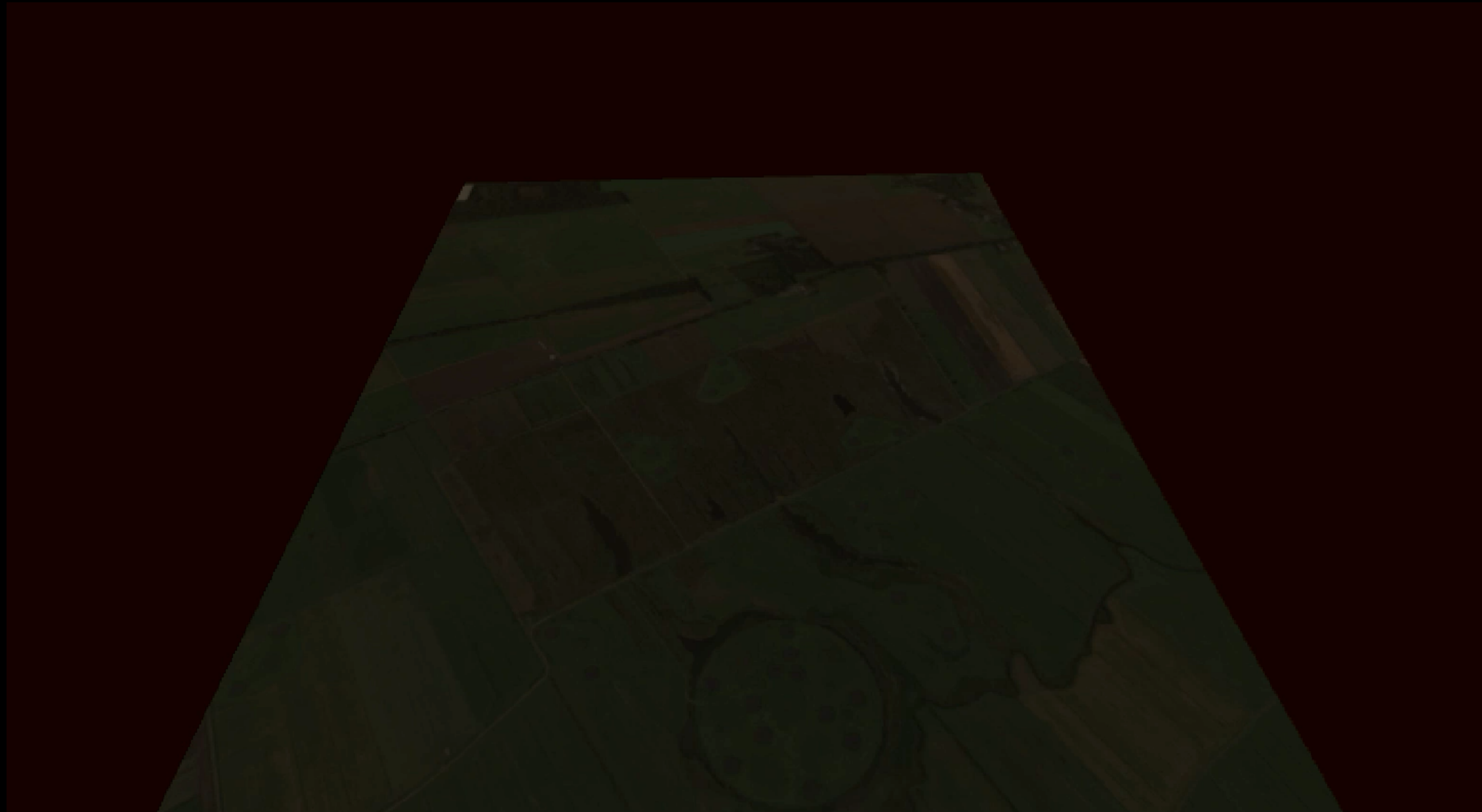
Kosmischer Mikrowellenhintergrund



Event Horizon Telescope







B. Hare, O. Scholten, et al. 2019, Nature

Ein Empfänger für kosmische Signale



kosmische Quellen:

Emission ist nicht kohärent (i.d.R.)

Detektoren registrieren 'Rauschen'

Erster Nachweis kosmischer Radiostrahlung

20 MHz (15 m)
Karl Jansky 1931
(USA)



“The data give for the coordinates of the region from which the disturbance comes a right ascension of 18 hours and a declination of -10 degrees.”

Karl G. Jansky

Low Frequency Array Station in Tautenburg



Das erste Radioteleskop

Grote Reber, Illinois, 1937

Durchmesser: 9m

3,3 GHz: keine Entdeckung

900 MHz: keine Entdeckung

160 MHz: erste Entdeckung!!



Effelsberg

Durchmesser 100 m



FAST Radio Teleskop (China)

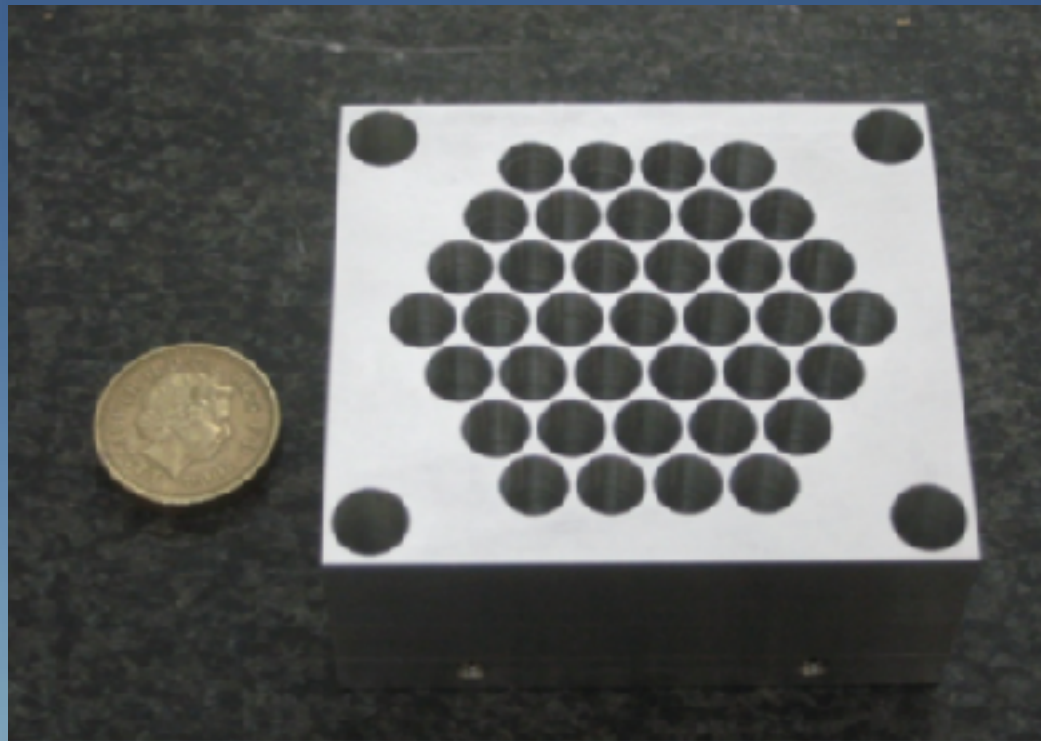
Durchmesser 500 m



Very Large Array Interferometrie



IRAM



ALMA



Definition “Intensität”

equivalent Flächenhelligkeit, engl. brightness, intensity, or specific intensity,

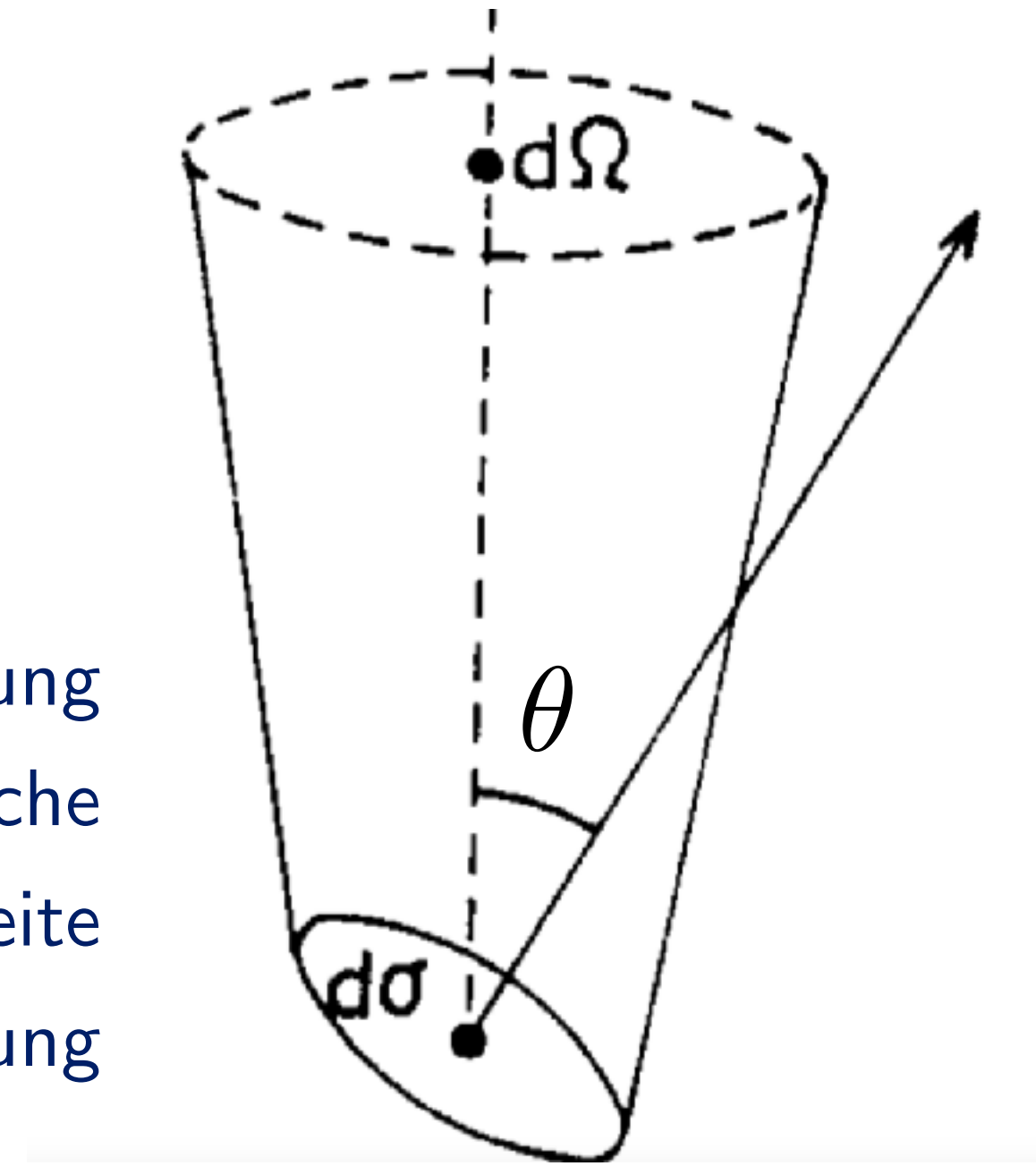
$$\frac{dP_{\nu,\text{rec}}}{d\sigma d\nu d\Omega \cos \theta} =: I_{\nu}$$

$dP_{\nu,\text{rec}}$: registrierte Leistung

$d\sigma$: infinitesimale Detektorfläche

$d\nu$: infinitesimal Detektorbandbreite

$d\theta$: Winkel Flächennormale Beob.-Richtung



- ‘Intensität’ ist Eigenschaft auf Sphäre um Detektor
Entfernung der Quelle spielt keine Rolle

z.B. Sonne hat eine Intensität von

$$1.8 \times 10^{-17} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Hz}^{-1} \text{ sr}^{-1} \quad @ 100 \text{ MHz}$$

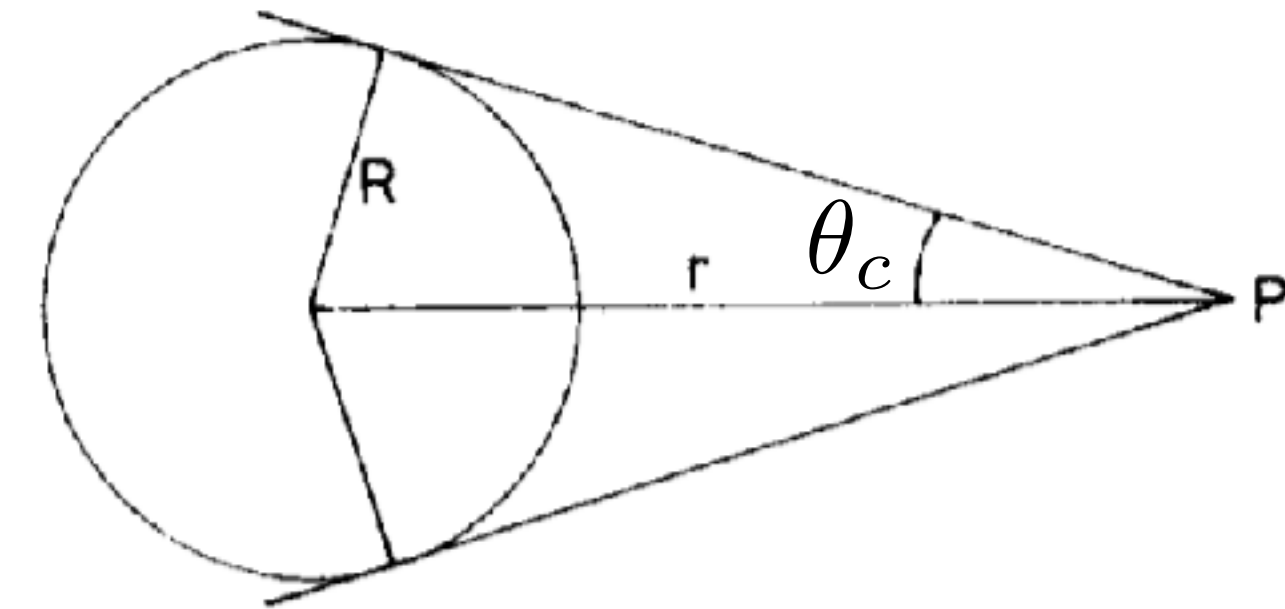
- Energiedichte $u_{\nu} = \frac{1}{c} I_{\nu}$

Definition “Fluss”

auch Flussdichte, engl. flux, flux density

$$S_\nu = \int_{\Omega_s} d\Omega I_\nu(\theta, \phi) \cos \theta$$

- Beispiel Sonnenscheibe mit homogener Intensität



$$S_\nu = \int_{\Omega_s} d\Omega I_\nu \cos \theta = 2\pi I_\nu \int_0^{\theta_c} d\theta \sin \theta \cos \theta$$

$$\sin \theta_c = \frac{R}{r}$$

$$S_\nu = I_\nu \pi \sin^2 \theta_c = I_\nu \Delta\Omega$$

Entfernung zur Sonne: 150 mio km, Durchmesser Sonne: 1.4 mio km

$$\theta_{c,\text{Sonne}} = 0.0093$$

$$S_{100\text{MHz},\text{Sonne}} = 5 \times 10^{-21} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$$

Definition “Jansky”

$$1 \text{ Jy} = 10^{-23} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$$

$$S_{100\text{MHz},\text{Sonne}} \sim 500 \text{ Jy}$$

- Punktquelle in Entfernung r mit isotrop abgestrahlter Leistung verursacht den Fluss

$$S_\nu = \frac{P_\nu}{4\pi r^2}$$

$$S_\nu(\nu) = \frac{P_\nu(\nu \times (1+z))}{P_\nu(\nu)} \frac{1}{1+z} \frac{P_\nu(\nu)}{4\pi r^2} \quad (\text{kosmologisch})$$

Zusammenfassung

- Radiofenster: meter bis submm
- Ionosphäre verursacht 'Plasmakante'
- typische Strahlungsquellen:
 - Synchrotron, neutraler Wasserstoff, Moleküllinien
 - beschleunigte Ladung erzeugt E-Feld
- Auflösungsvermögen eines Teleskops
- geometrische Sammelfläche
- Rotverschiebung
- Hubbles Entfernungsgesetz, Hubblekonstante
- Intensität (Flächenhelligkeit, brightness, intensity)
- Fluss
- Maßeinheit für Fluss: Jansky