

# Radioastronomie

## Eine andere Sicht auf den Kosmos

Heinz-Bernd Eggenstein

heinz-bernd.eggenstein@vspb.de

"ALMA and a Starry Night — a Joy to Behold" by ESO/B. Tafreshi - <http://www.eso.org/public/images/potw1238a/>. Licensed under CC BY 4.0 via Wikimedia Commons - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ALMA\\_and\\_a\\_Starry\\_Night\\_%E2%80%94\\_a\\_Joy\\_to\\_Behold.jpg#/media/File:ALMA\\_and\\_a\\_Starry\\_Night\\_%E2%80%94\\_a\\_Joy\\_to\\_Behold.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ALMA_and_a_Starry_Night_%E2%80%94_a_Joy_to_Behold.jpg#/media/File:ALMA_and_a_Starry_Night_%E2%80%94_a_Joy_to_Behold.jpg)

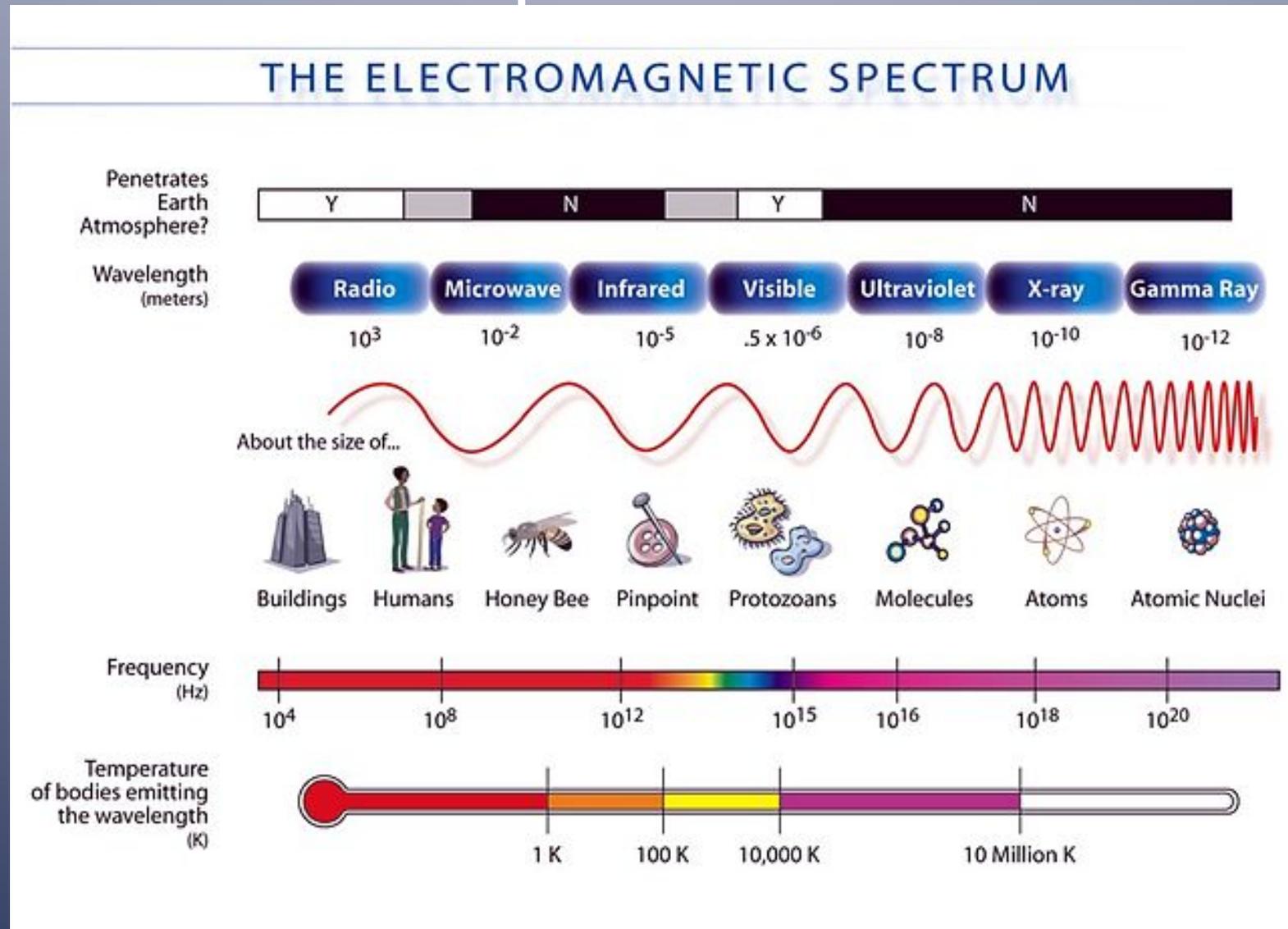
# Was sie erwartet..

- Grundlagen (kurz)
- Geschichte der Radioastronomie
- Bedeutende Teleskope und Entdeckungen
- Die Zukunft
- Radioastronomie für Amateure?

# Grundlagen (kurz)

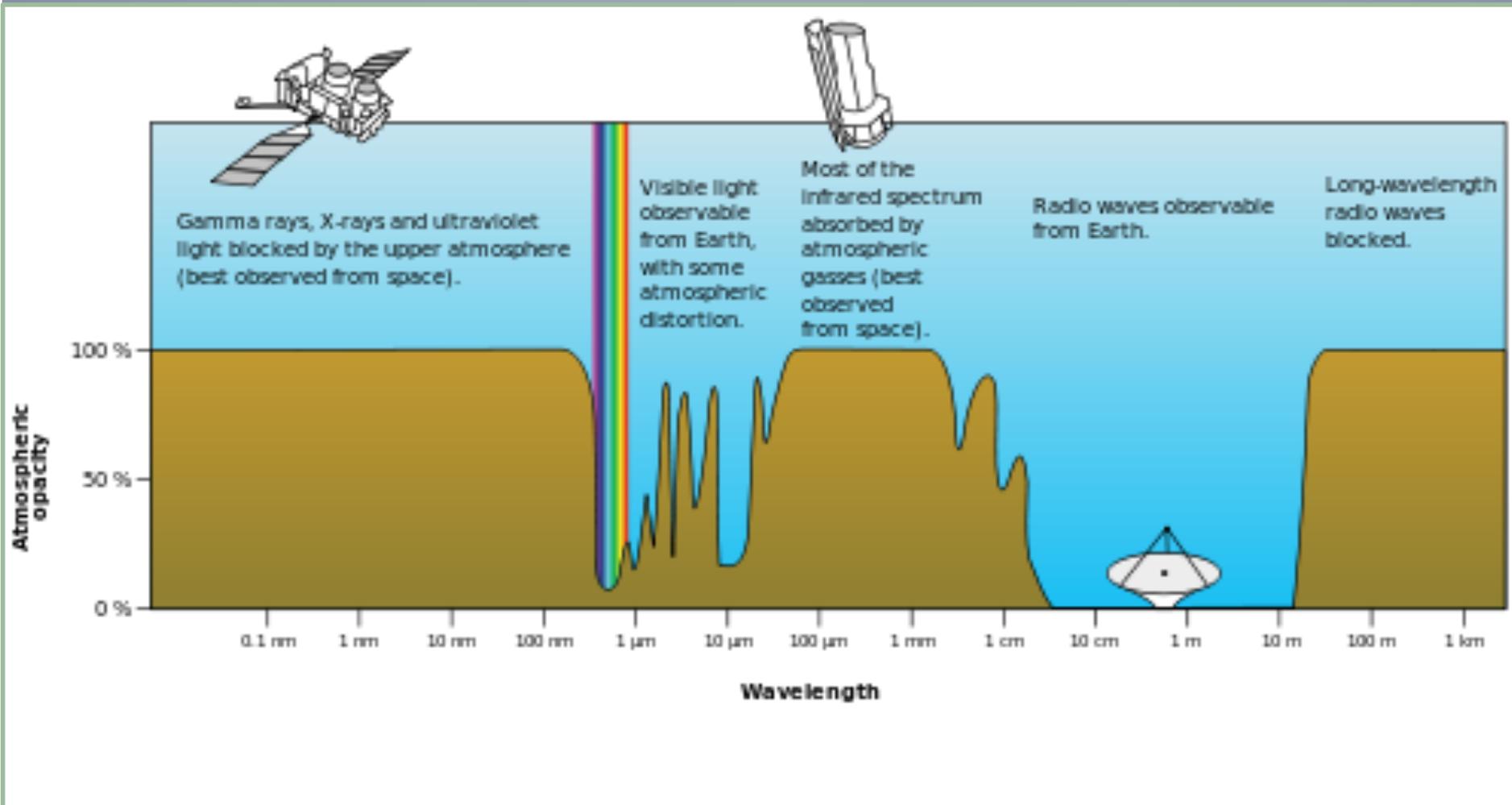
- Radioastronomie = Astronomie mit Radiowellen (und Mikrowellen...)
- Radiowellen= elektromagnetische Wellen in einem bestimmten Spektralbereich
- Wellenlänge =  $1/\text{Frequenz} \times \text{Ausbreitungsgeschwindigkeit}$
- Auch sichtbares Licht ist eine elektromagnetische Strahlung!

# Das elektromagnetische Spektrum



Quelle: NASA

# Das elektromagnetische Spektrum



Quelle: NASA

# Geschichte der Radioastronomie

1864: Elektromagnetische Felder: Theoretische Grundlagen  
durch James Clerk Maxwell, später auch Planck (1900)  
und Einstein (1905)



Quelle: Wikipedia

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

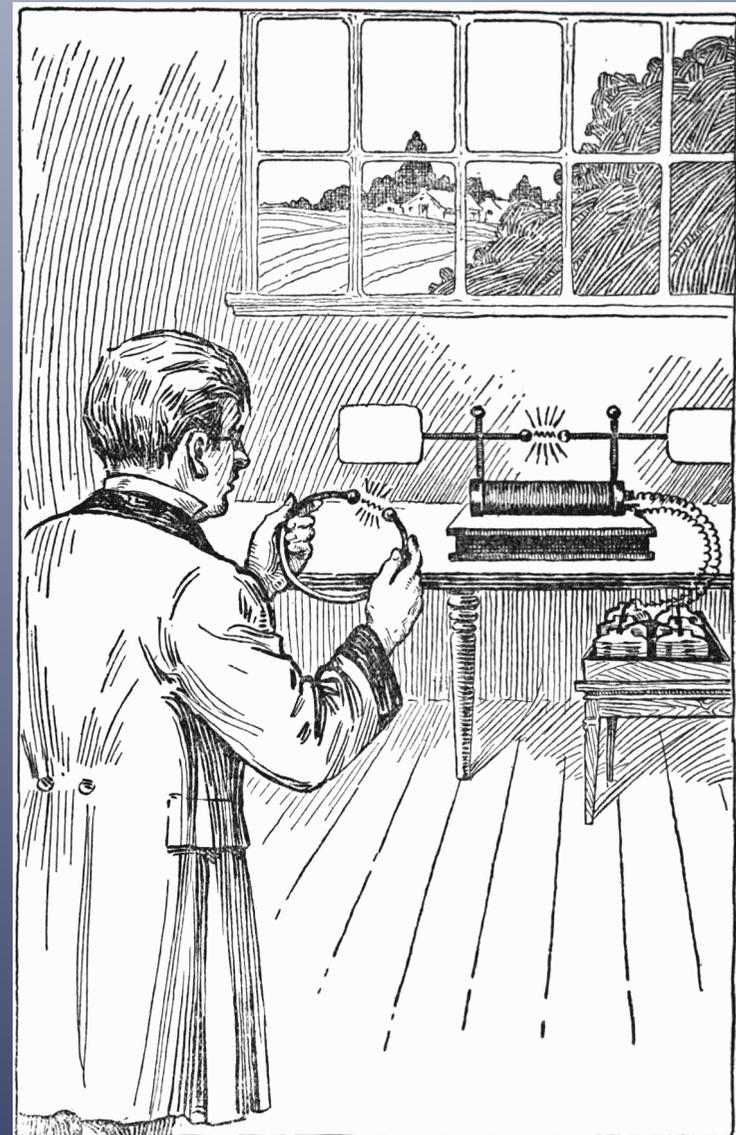
$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

# Geschichte der Radioastronomie

1888: experimenteller Nachweis von Radiowellen durch Heinrich Hertz



Heinrich Hertz, 1857-1894



Quelle: Wikipedia

# Geschichte der Radioastronomie

Ca. 1895: erste gezielte technische Anwendung  
mit Sender und Empfänger (Marconi, Popow)

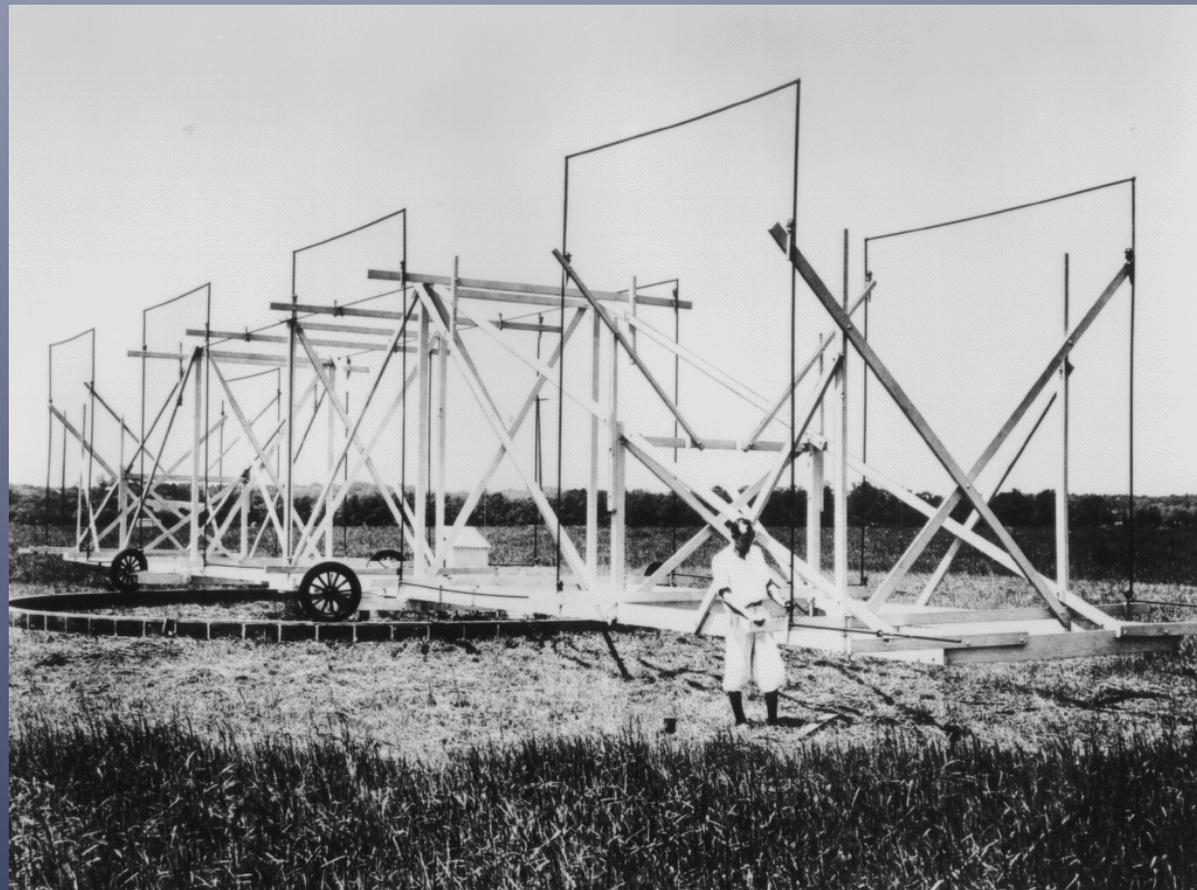


Quelle: Wikipedia

# Geschichte der Radioastronomie

1931-33: erste astronomische Anwendung der Radiotechnik (Jansky), durch Zufall

Auftrag : Untersuchung von Störquellen für drahtlose Nachrichtentechnik

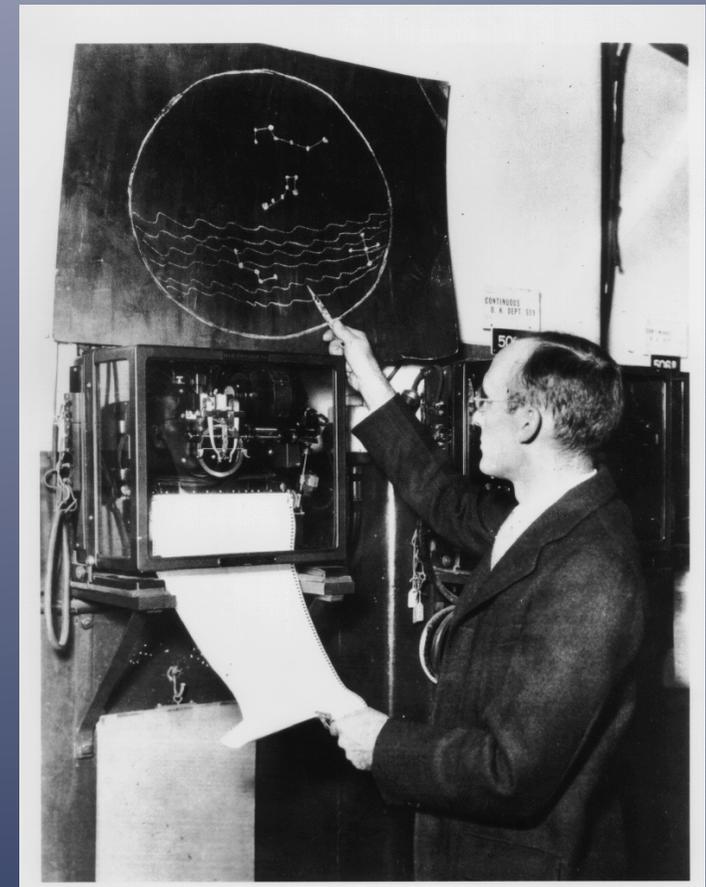


# Geschichte der Radioastronomie

1931-33: erste astronomische Anwendung der Radiotechnik (Jansky), durch Zufall

Ergebnis:

- Eine Störquelle variierte mit einer Periode von 23h, 56 min (!!!)
- Richtung: Sternbild Schütze (Zentrum der Milchstraße?)
- Aber: Störung nur schwach → keine Auswirkung auf kommerzielle Nutzung. Auftrag erfüllt, kein weiterer Auftrag zur Erforschung ☹



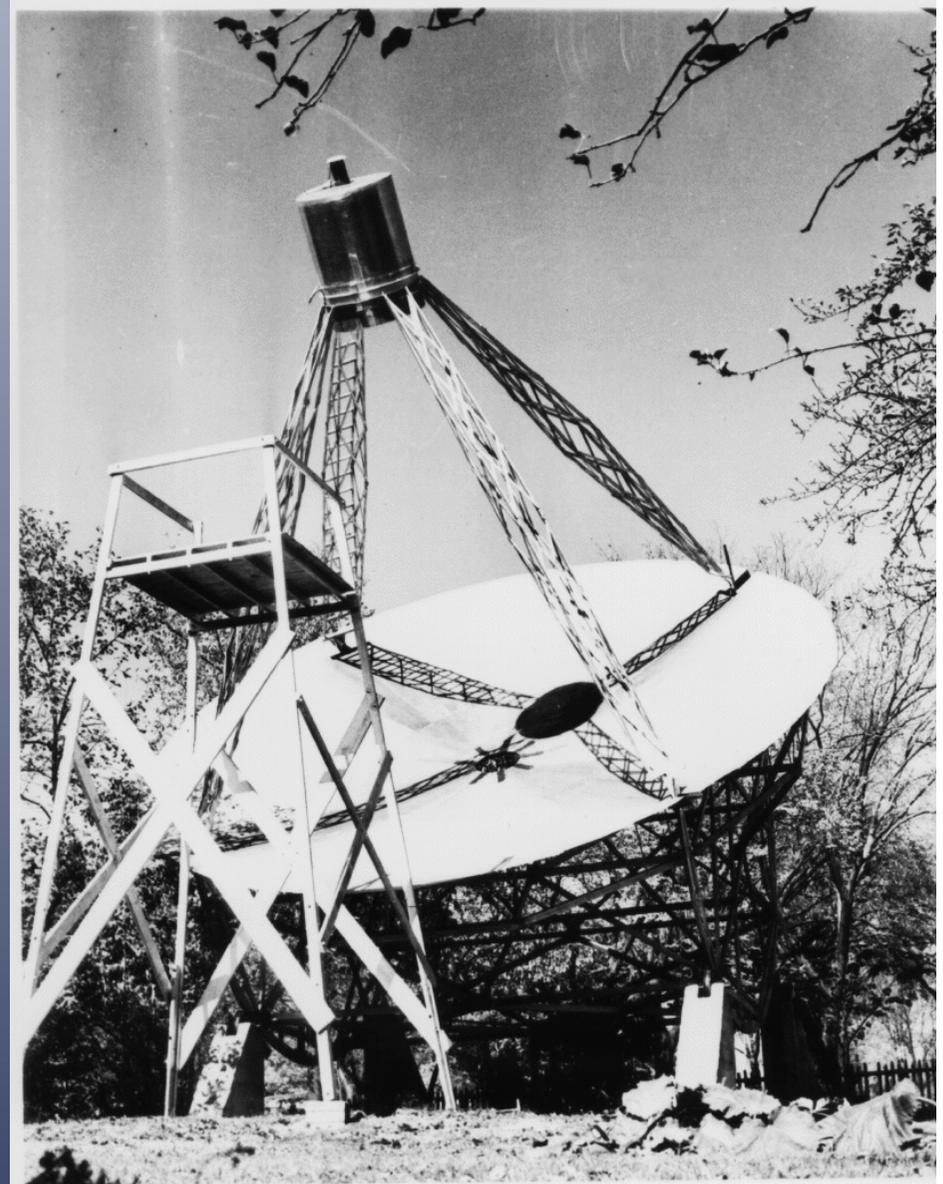
# Geschichte der Radioastronomie

1937-44: erste gezielte astronomische Arbeit der Radioastronomie (Grote Reber), durch einen Amateur Astronom & Amateur Funker !



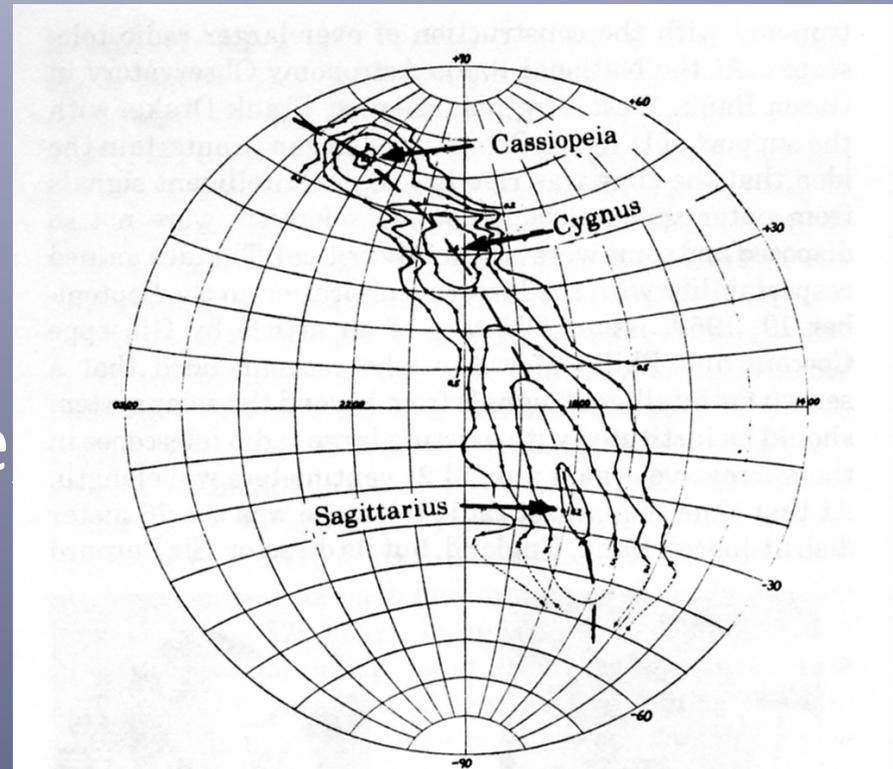
# Geschichte der Radioastronomie

- Eigenbau im Garten
- Parabolspiegel
- Ca 9 m Durchmesser!
- Schwenkbar um eine Achse
- Einzige Radioteleskop seiner Zeit
- Prototyp für moderne Radio-Teleskope



# Geschichte der Radioastronomie

- Erste systematische Durchmusterung im Radio-Bereich
- Ergebnis: Himmelskarte  
Entdeckung einzelner Quellen
  - Cas A: Supernova Überrest
  - Cyg A: Radio-Galaxie



**First map of the radio sky as produced by Grote Reber showing strong sources of radiation in Cassiopeia, in Cygnus and in Sagittarius, the center of the galaxy, the region from which Karl Jansky had detected radio emission.**

# Geschichte der Radioastronomie

1945: erstes Radioobservatorium betrieben von professionellen Astronomen.

Ohio State University Radio Observatory

(Big Ear  
Observatory)

John D. Kraus



# Vergleich: Geschichte der optischen Astronomie

1608: Erfindung des optischen Teleskops  
(Lipperhey)

1609: erste gezielte astronomische Anwendung  
(Galilei) (!!!)

Theoretische Grundlagen der Optik: erst später  
(Snell, Newton, Maxwell)

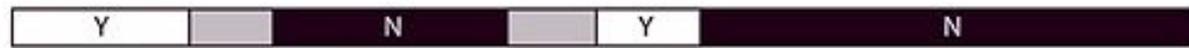
# Ursachen für den späten Start der Radioastronomie

- Mensch: Kein Sinnesorgan für Radiowellen
- Radiotechniker & Wissenschaftler wurden in den 30er und 40er Jahren für kommerzielle und später militärische Anwendungen benötigt
- Astronomen hatten keinen guten Grund zu glauben, dass astronomische Objekte ‚interessante‘ Radiowellen aussenden!

# Ursachen für den späten Start der Radioastronomie

## THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

Penetrates Earth Atmosphere?

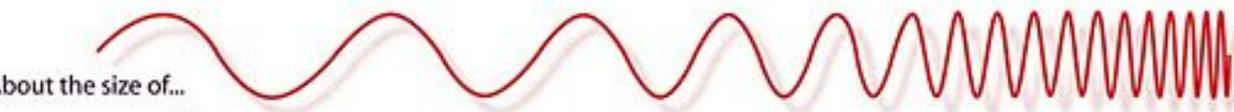


Wavelength (meters)



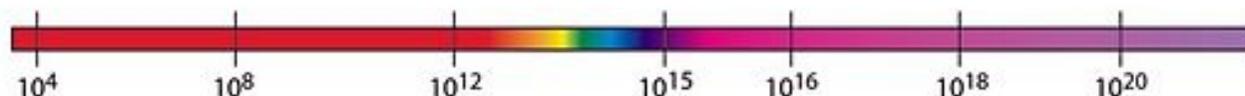
$10^3$     $10^{-2}$     $10^{-5}$     $.5 \times 10^{-6}$     $10^{-8}$     $10^{-10}$     $10^{-12}$

About the size of...

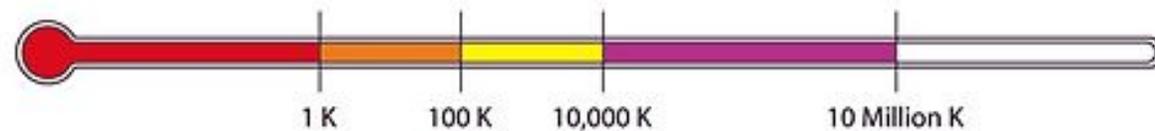


Buildings   Humans   Honey Bee   Pinpoint   Protozoans   Molecules   Atoms   Atomic Nuclei

Frequency (Hz)



Temperature of bodies emitting the wavelength (K)



# Warum also Radioastronomie?

## Gründe die Radiowellen astronomisch interessant machen:

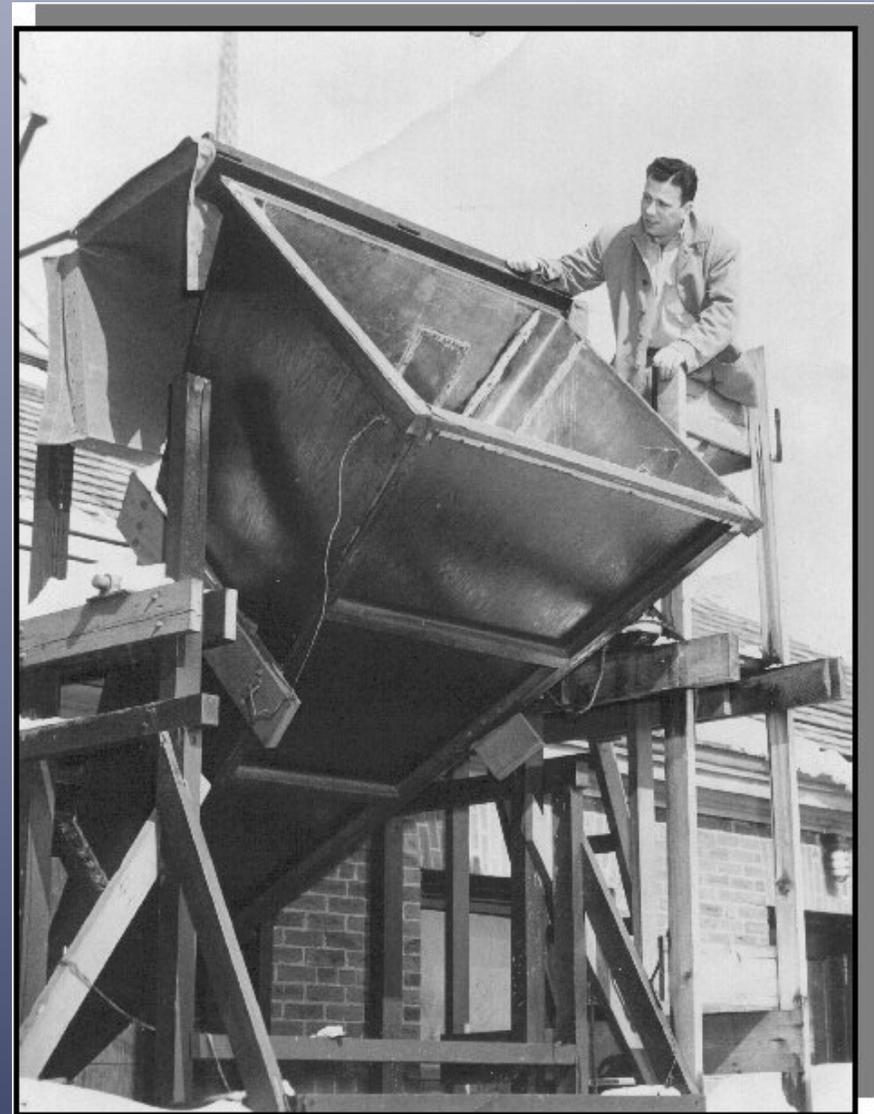
- Durchdringen Staubwolken besser als sichtbares Licht
- Neutrale Wasserstoff-Atome ‚senden‘ im Radio-Band
- Radiowellen entstehen im Umfeld extremer Magnetfelder (z.B. Neutronensterne, Schwarze Löcher, Jets, Galaxien mit aktiven Kernen)
- Erlauben Entfernungsbestimmungen (mittels Dispersion von Radio-Pulsen)
- Blick in die Vergangenheit (Rotverschiebung, gestreckte Schwarzkörperstrahlung des frühen Universums).

# Die 21cm Wasserstoff-Linie

- Atome besitzen verschiedene **diskrete** Energieniveaus
- Beim Wechsel von hohem auf niedrigeres Niveau:  
Aussenden von Photonen
- Umgekehrt: Verschlucken von Photonen
- → Spektrallinien

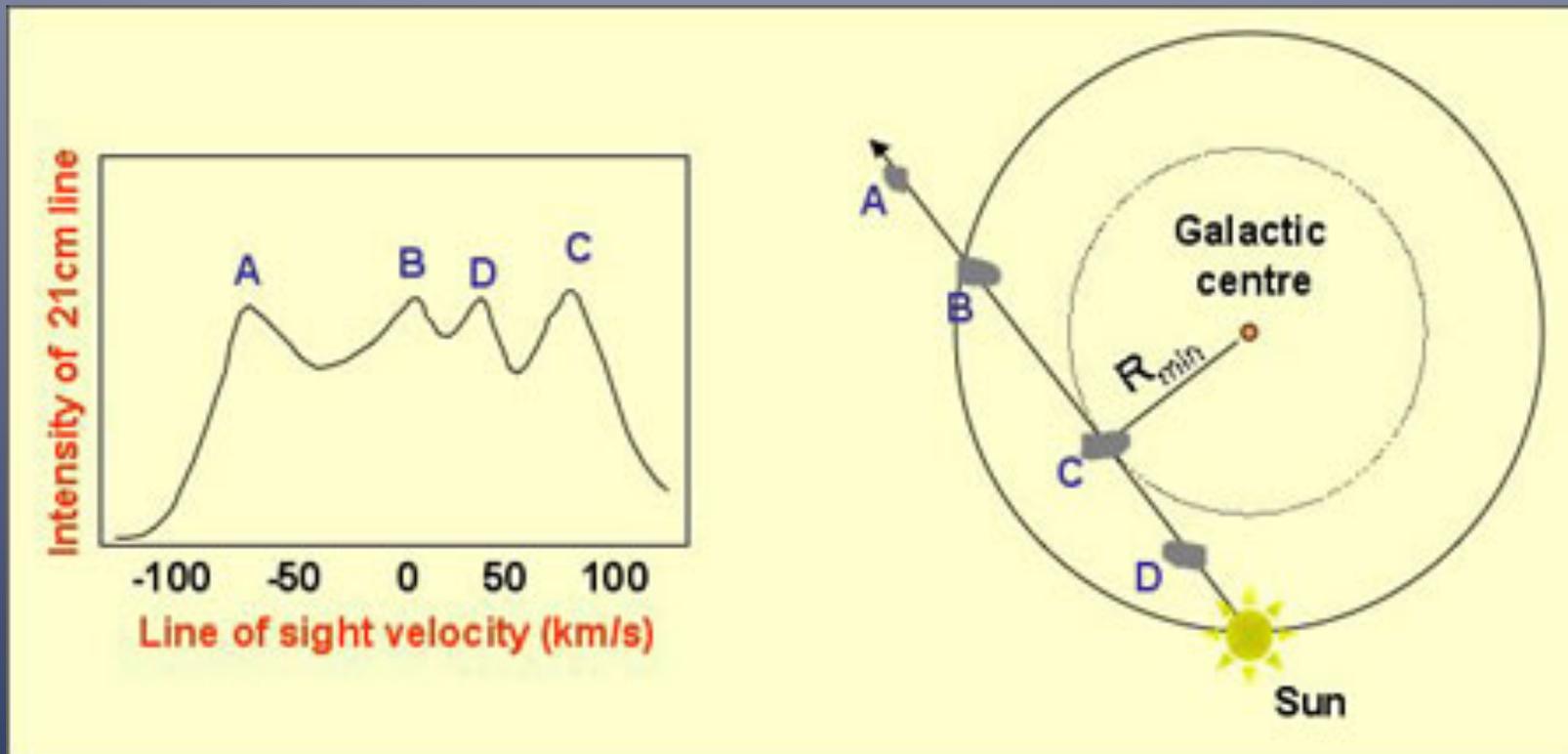
# Die 21cm Wasserstoff-Linie

- Neutraler atomarer Wasserstoff: Spektrallinie mit einer Wellenlänge von ca 21cm
- Toll !!! (Wasserstoff ist das häufigste Element im Universum)
- Entspricht einer Frequenz von 1,420 GHz (Mikrowellen-Bereich)
- → durchdringt gut
  - die Erdatmosphäre
  - Staubwolken in der Milchstraße!
- Übrigens NICHT die Frequenz von Mikrowellenherden (ca 2,5 GHz)!
- Vorhergesagt 1945 (Van de Hulst, Oort)
- Nachgewiesen: 1951 (Ewen, Purcell)



# Die 21cm Wasserstoff-Linie & die Spiralstruktur der Milchstraße

- Nachweis der Spiralstruktur der Milchstraße ab 1952...ca 1957
- Vermutet bereits ab den 1930ern
- Nachweis mit Hilfe der Doppler-Verschiebung der 21 cm Linie



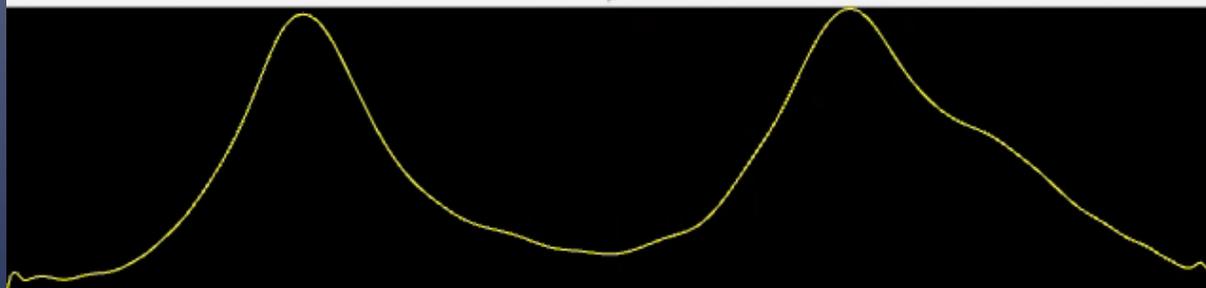
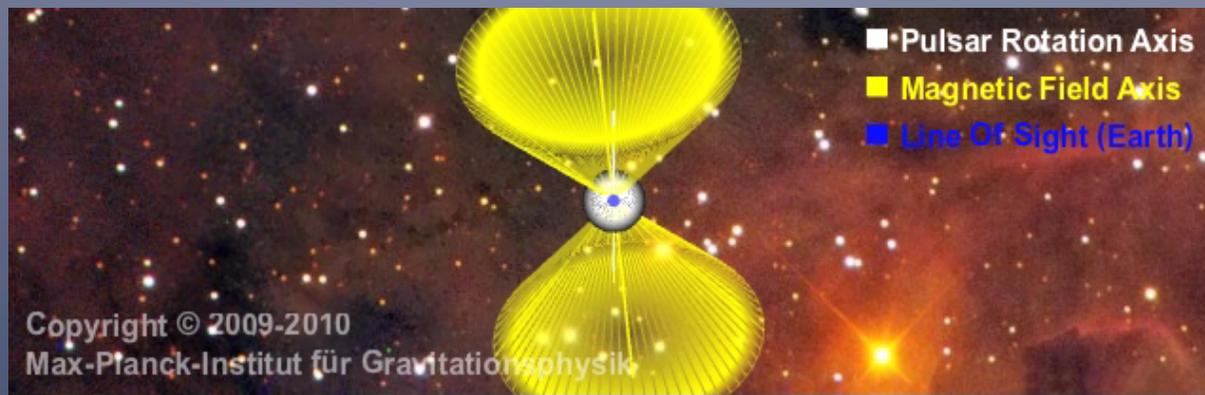
# Kleine Grüne Männchen, Weiße Zwerge oder Pulsare?

- 1967: Die Studentin Jocelyn Bell entdeckt eine Radioquelle
- Pulse mit einer sehr konstanten Periode
- Quelle im Weltraum!
  - Kleine Grüne Männchen?  
(Little Green Men????)
  - Weiße Zwerge??
  - Etwas ganz anderes?



# Kleine Grüne Männchen, Weiße Zwerge oder Pulsare?

- Lösung: Rotierende Neutronensterne („Pulsare“)
- Gebündelte Radiostrahlung „Leuchtturm-Effekt“



"Susan Jocelyn Bell (Burnell), 1967" by Roger W Hawton  
Flickr. Licensed under CC BY-SA 2.0 via Commons –  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Susan\\_Jocelyn\\_Bell\\_\(Burnell\),\\_1967.jpg#/media/File:Susan\\_Jocelyn\\_Bell\\_\(Burnell\),\\_1967.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Susan_Jocelyn_Bell_(Burnell),_1967.jpg#/media/File:Susan_Jocelyn_Bell_(Burnell),_1967.jpg)

# Kleine Grüne Männchen, Weiße Zwerge oder Pulsare?

- Bell's Doktorvater Antony Hewish erhält 1974 den Nobelpreis der Physik, Bell nicht.
- Kontroverse Entscheidung („No-Bell Prize“ ... )
- Pulsar-Astronomie sehr wichtiges Gebiet der Radioastronomie
- Etwa 2500 bekannte Pulsare bisher (Stand 2015)

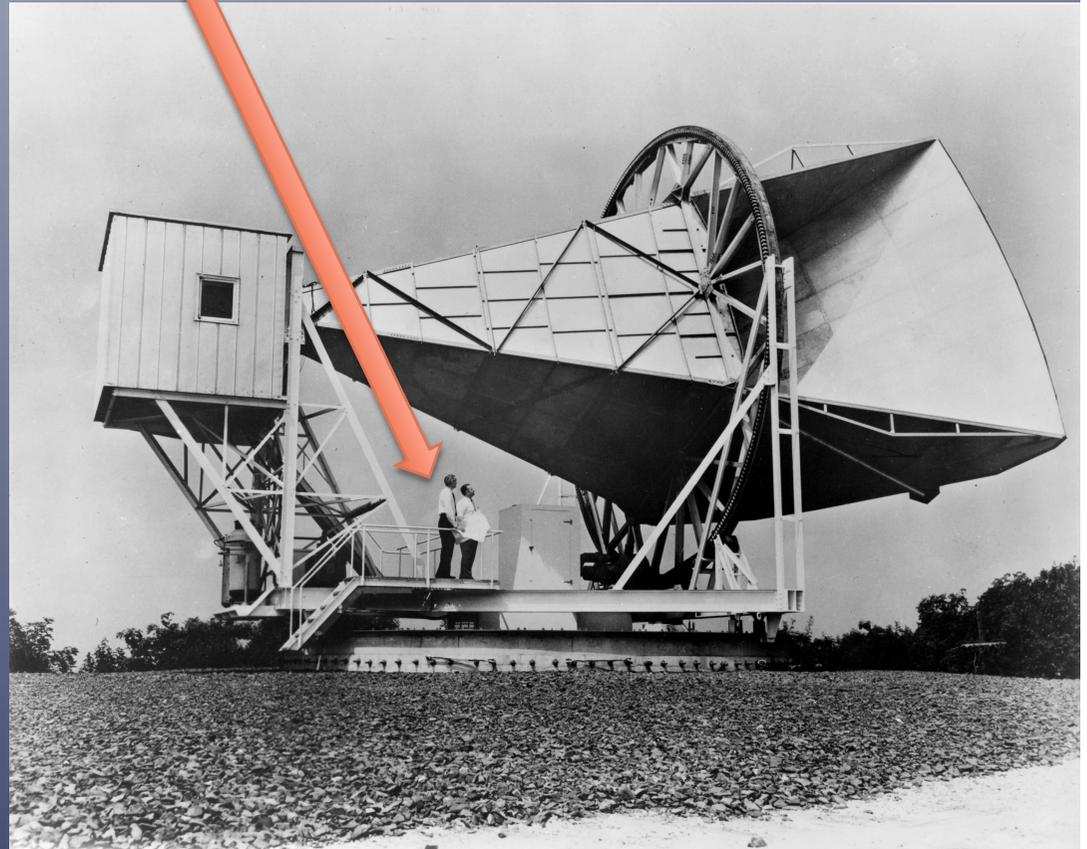


Dame Jocelyn Bell Burnell, 2009

"Launch of IYA 2009, Paris - Grygar, Bell Burnell cropped"  
by Launch\_of\_IYA\_2009,\_Paris\_-\_Grygar,\_Bell\_Burnell.jpg:  
Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech  
Republic derivative work: Anrie (talk) –  
Launch\_of\_IYA\_2009,\_Paris\_-\_Grygar,\_Bell\_Burnell.jpg.  
Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons –  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Launch\\_of\\_IYA\\_2009,\\_Paris\\_-\\_Grygar,  
\\_Bell\\_Burnell\\_cropped.jpg#/media/File:Launch\\_of\\_IYA\\_2009,\\_Paris\\_-\\_Grygar,\\_Bell\\_Burnell\\_cropped.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Launch_of_IYA_2009,_Paris_-_Grygar,_Bell_Burnell_cropped.jpg#/media/File:Launch_of_IYA_2009,_Paris_-_Grygar,_Bell_Burnell_cropped.jpg)

# Cosmic Microwave Background (CMB)

- A. Penzias & Robert W. Wilson entdecken eine Mikrowellenstrahlung
- Ca 160 GHz, entspr. Temperatur: 2.3 K  
Wellenl. ca. 1mm
- Aus allen Richtungen (!!!)

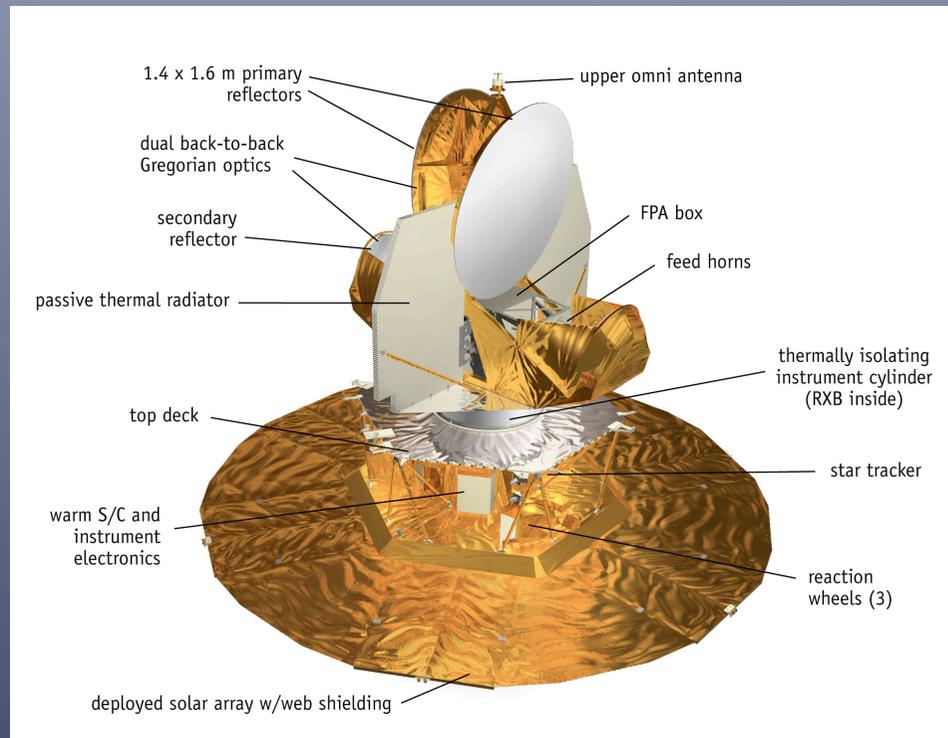


Quelle: Wikipedia

# Cosmic Microwave Background (CMB)

- Noch genauere Messung mit Weltraum-Radio-Teleskopen: COBE, WMAP, Planck

WMAP



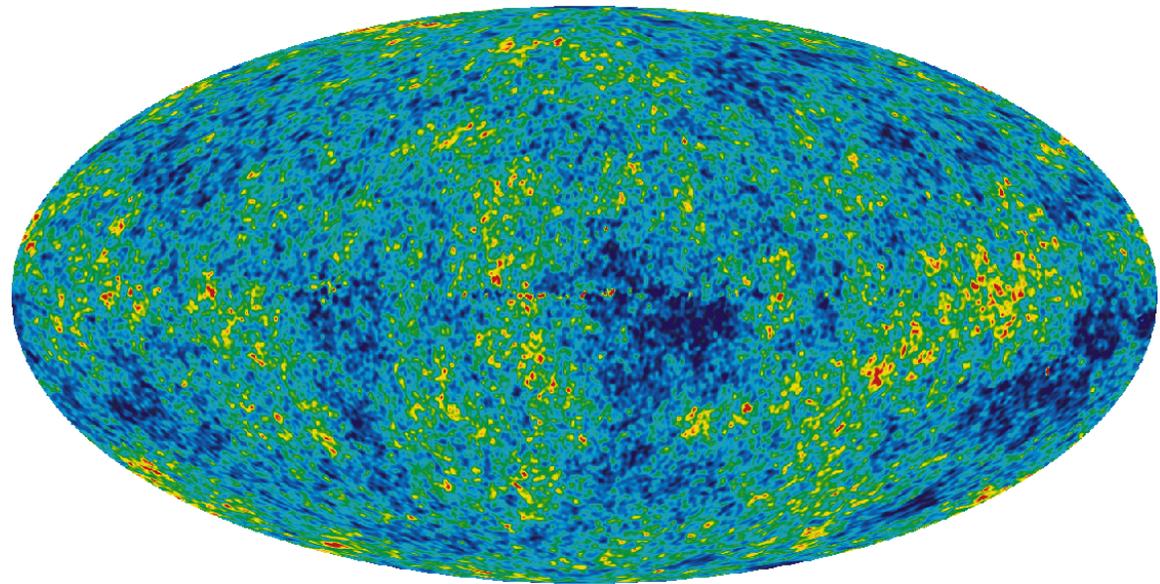
Quelle: Wikipedia

# Cosmic Microwave Background (CMB)

WMAP Karte:

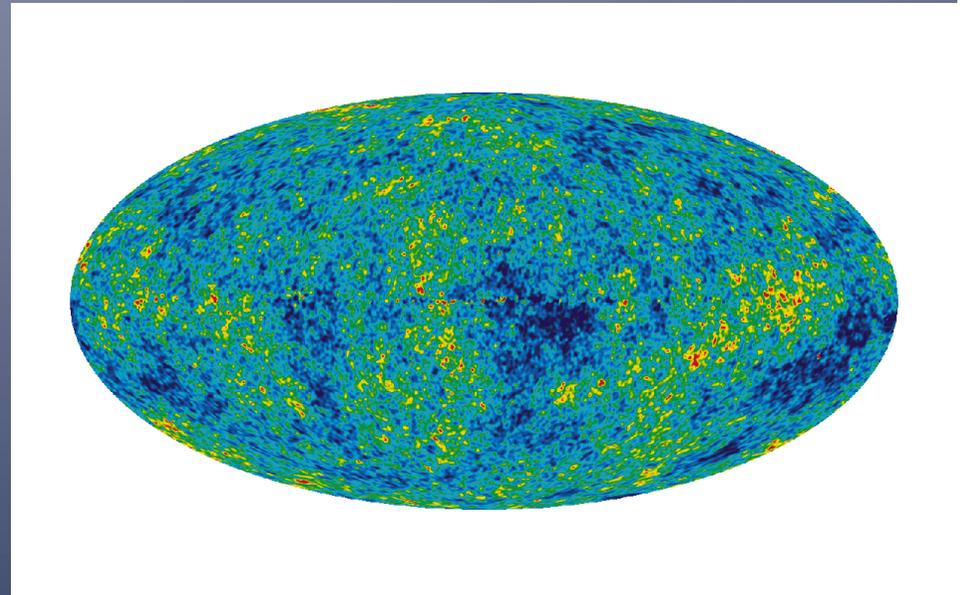
Temperaturunterschiede

+/- 200 Millionstel Kelvin (!!)



# Cosmic Microwave Background (CMB)

- Interpretation:
  - Rotverschobene Schwarzkörperstrahlung
  - Aus der Zeit des jungen Universums kurz nach dem „Urknall“
  - Zu dem Zeitpunkt: Universum noch klein → erklärt Gleichförmigkeit der Temperatur
  - Dann: rasche Ausdehnung des Raums → Rotverschiebung, aus allen Richtungen



# Einige moderne Radio- observatorien

- Effelsberg
- Green Bank
- Arecibo

# Parke Telescope

# Effelsberg

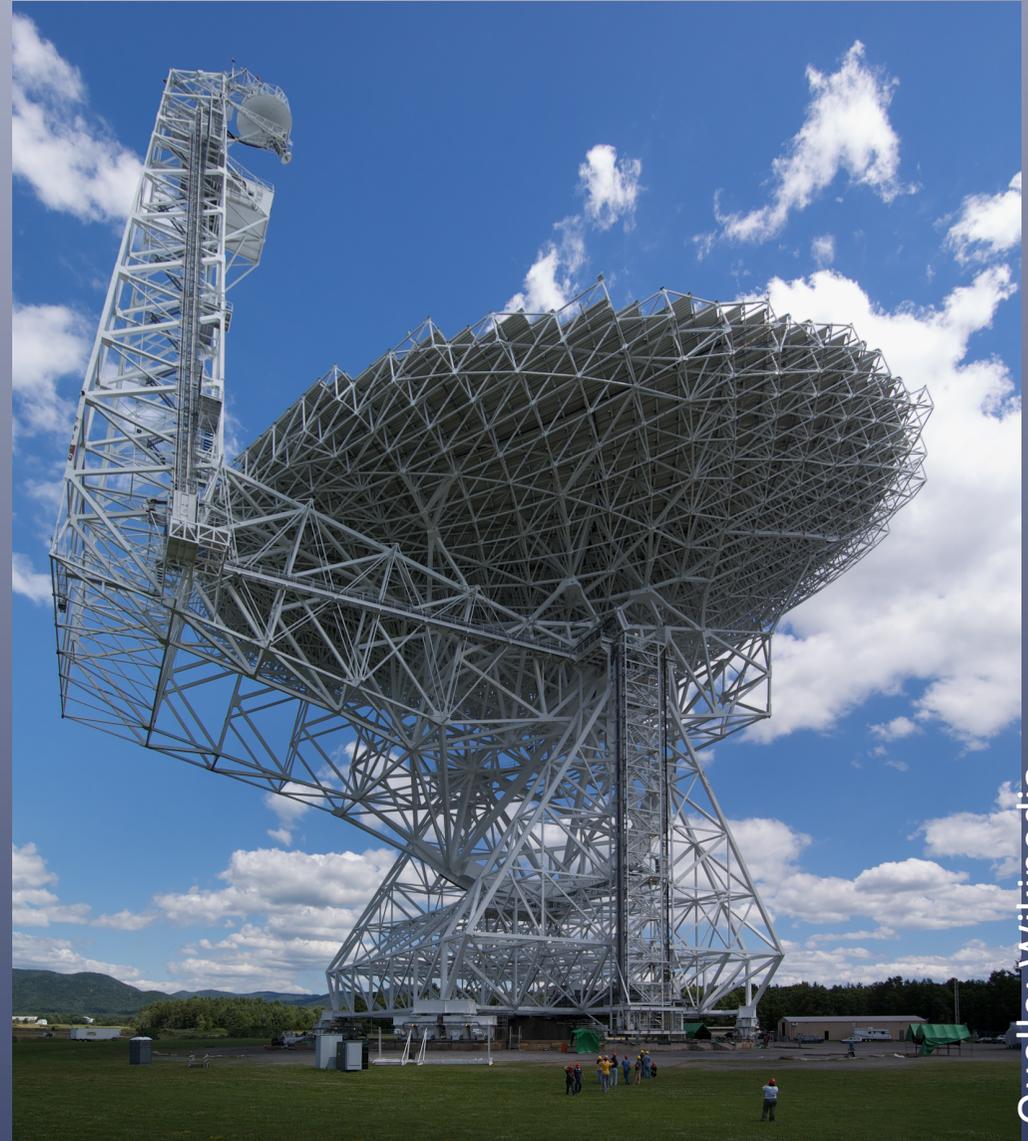
- Standort: Eifel
- 100m Schüssel
- In Betrieb ab 1972
- Bis 2000 größtes Radioteleskop der Welt
- Mittlere Oberflächen(un)genauigkeit  $< 0,6\text{mm}$



„Radioteleskop 20110820“ von Dr.G.Schmitz - Eigenes Werk. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia Commons – [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radioteleskop\\_20110820.jpg#/media/File:Radioteleskop\\_20110820.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radioteleskop_20110820.jpg#/media/File:Radioteleskop_20110820.jpg)

# Green Bank Telescope

- Besonderheiten:
- 100x110m Spiegel
- Höher als die Freiheitsstatue
- Segmentiert (2.004 panels)
- In einer „Radio Quiet Zone“
- Finanzierung nicht unproblematisch



# National Radio Quiet Zone

- 1958 eingerichtet
- Gebiet mit stark reduzierten Radio-Störquellen
- 34.000 qkm (vergleichbar NRW)
- Kein Handynetzt!
- Einschränkungen für
  - Sendeanlagen jeder Art
  - Mikrowellenherde
  - WLAN-Router
  - Benzinmotoren (nicht erlaubt in Teleskopnähe, Zündkerzen!!)
- Messwagen fahren Streife
- Zufluchtsort für „Elektrosmog-sensitive“ Menschen
- Schützt das GBT und eine Einrichtung der NSA



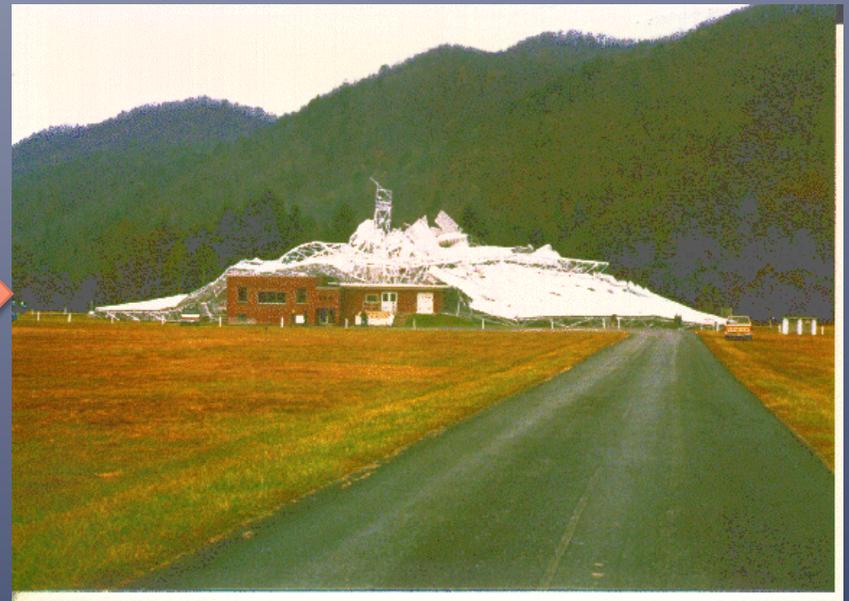
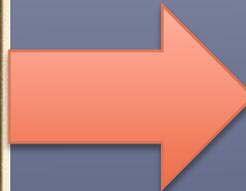
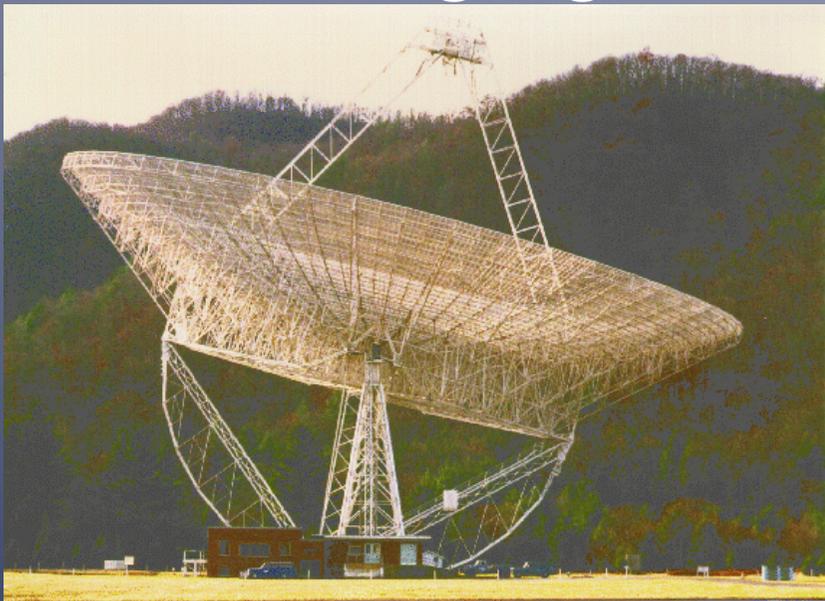
"Green Bank 100m diameter Radio Telescope" by Image courtesy of NRAO/AUI.

Licensed under CC BY 3.0 via Commons - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green\\_Bank\\_100m\\_diameter\\_Radio\\_Telescope.jpg#/media/File:Green\\_Bank\\_100m\\_diameter\\_Radio\\_Telescope.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Green_Bank_100m_diameter_Radio_Telescope.jpg#/media/File:Green_Bank_100m_diameter_Radio_Telescope.jpg)

File:Green\_Bank\_100m\_diameter\_Radio\_Telescope.jpg#/media/File:Green\_Bank\_100m\_diameter\_Radio\_Telescope.jpg

# Am Limit

- Noch größere schwenkbare Schüsseln kaum praktikabel (Mechanik, Statik)
- GBT Vorgänger:



# Arecibo Observatory

- Standort:  
Puerto Rico
- Fertigstellung:  
1963
- Schüsseldurchm.:  
300 m (!!!)



# Arecibo Observatory

- Besonderheiten:
  - Primärspiegel unbeweglich
  - Sekundärspiegel in einem beweglichen „Dom“
  - Auch als leistungsstarke Sendeanlage nutzbar (Radar, SETI)



# Radio-Interferometrie

- Noch ‚größere‘ Teleskope:  
Zusammenschaltung vieler Teleskope.
- Motivation:
  - Größere Sammelfläche für Photonen  
(Teleskopöffnung): schwache Quellen
  - Vor allem: bessere Winkelauflösung  
=  
„schärfere Bilder“

# Radio-Interferometrie

- (Winkel-)Auflösung abhängig von Öffnung und Wellenlänge (Beugungsbegrenzung):
- Proportional zur Wellenlänge (kleinere Wellenlänge → bessere Auflösung)
- Umgekehrt proportional zu Öffnung (größere Öffnung  $D$  → bessere Auflösung)

$$\alpha \approx \frac{\lambda}{D}$$

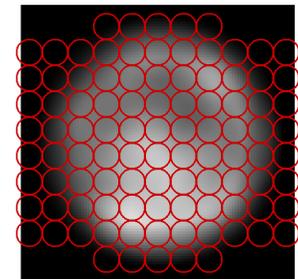
# Radio-Interferometrie

- Vergleich Winkelauflösung: Effelsberg (Radio) vs. Menschliches Auge (sichtbares Licht):

	Radioteleskop	Auge
Wellenlänge	6cm=6 x 10 <sup>-2</sup> m	500nm =5 x 10 <sup>-7</sup> m
Öffnung	100m = 10 <sup>2</sup> m	6mm=6x10 <sup>-3</sup> m
Winkelaufl. (ca)	0.034°=2 arc min	0.005°=0.3arc min

$$\alpha \approx \frac{\lambda}{D}$$

- → Ein einzelnes Radioteleskop hat eine viel schlechtere Winkelauflösung als das “nackte” menschliche Auge (ohne Teleskop)
- Einzelne Aufnahmen eines Radioteleskops bestehen häufig aus nur wenigen (< 10) Pixeln!!  
Hier: Simuliert: Mond mit Arecibo Auflösung



# VLA: Very Large Array

- New Mexico, USA
- Zusammenschaltung mehrerer Teleskope  
(27 x 25 m  
Schüsseln)



„USA.NM.VeryLargeArray.02“ von user:Hajor –  
Eigenes Werk. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0  
über Wikimedia Commons –  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/  
File:USA.NM.VeryLargeArray.02.jpg#/media  
/File:USA.NM.VeryLargeArray.02.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USA.NM.VeryLargeArray.02.jpg#/media/File:USA.NM.VeryLargeArray.02.jpg)

# VLA: Very Large Array

- Begrenzung der Auflösung: gleiche Formel, aber  $D = \text{max. Abstand zweier Teleskope}$



# VLA: Very Large Array

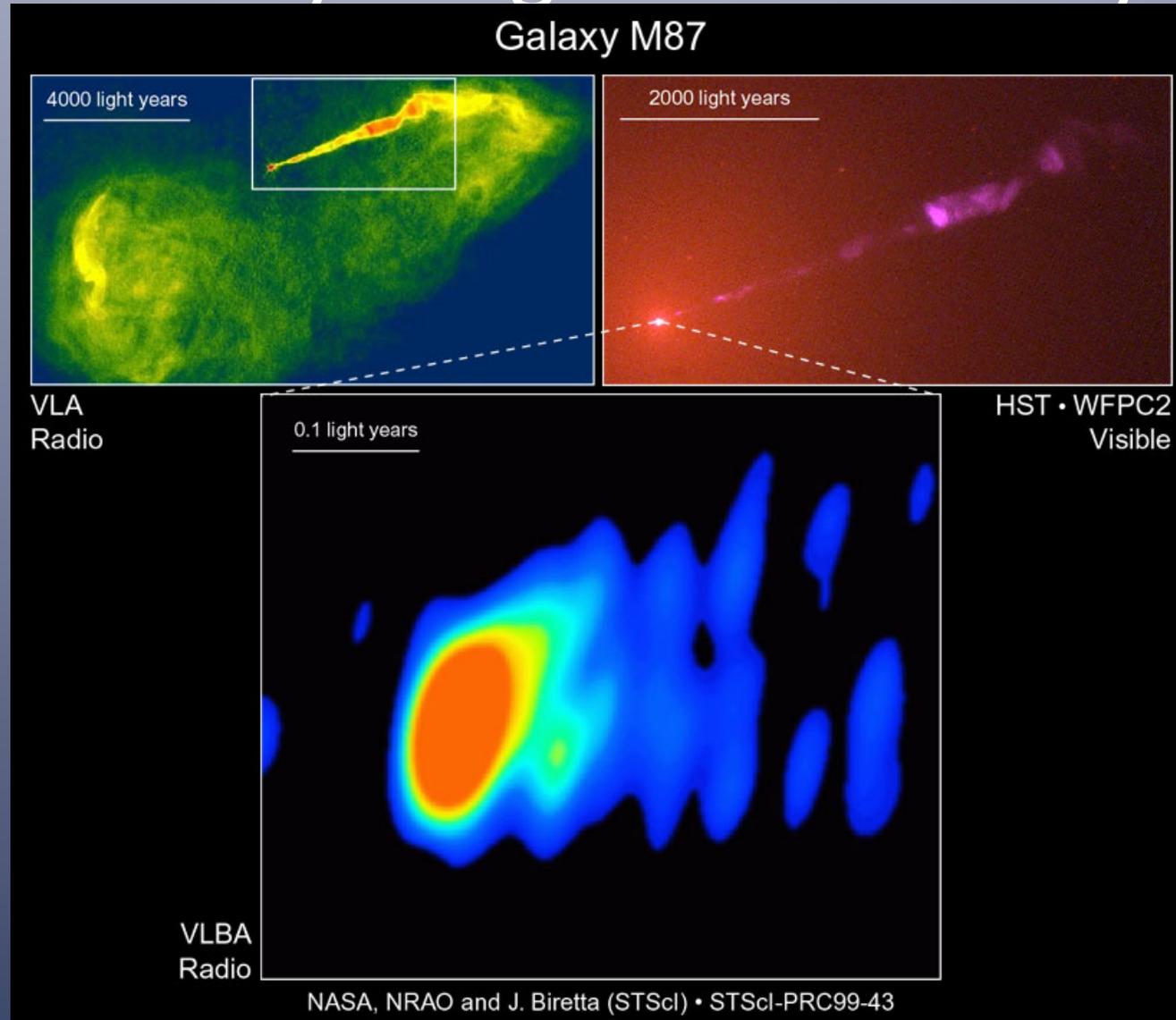
- Begrenzung der Auflösung: gleiche Formel, aber  $D = \text{max. Abstand zweier Teleskope}$
- Für das VLA:
  - maximal  $D = 36 \text{ km (!!)}$
  - Winkelauflösung max:  $0,2 \dots 0,004 \text{ Bogensekunden}$
  - Vergleich Hubble Space Telescope ( $D = 2,5 \text{ m}$ ):  
 $0,05 \text{ Bogensekunden}$

# Noch extremer: VLBA: Very Long Baseline Array

- Weltweit vernetzte Radioteleskope
- $D = 8611 \text{ km}$



# Noch extremer: VLBA: Very Long Baseline Array



ALMA

Bicep2, Keck Array @  
Amundsen–Scott South Pole Station

# Dispersion

# SETI

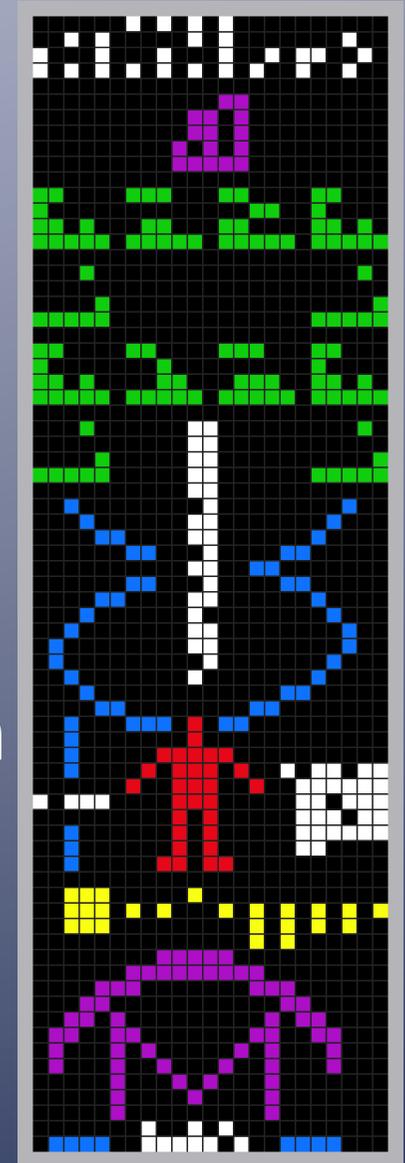
- Search for Extra-Terrestrial Intelligence  
Suche nach außerirdischer Intelligenz
- Inzwischen ein akzeptierter Bereich der  
Astronomie
- Suche nach Radiosignalen ferner Zivilisationen



# Don't call us, we'll call you!

## Die Arecibo Nachricht

- Arecibo kann auch senden!
- Nov. 1974: Arecibo sendet ein kodiertes Bild in Richtung von M13 (Sternenhaufen. 25k Lichtjahre Entfernung (!))
- Eher eine Technologie-Demonstration



"Arecibo message" by Arne Nordmann (norro) - Own drawing, 2005.

Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons –

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arecibo\\_message.svg#/media/File:Arecibo\\_message.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arecibo_message.svg#/media/File:Arecibo_message.svg)

# Die Zukunft

- Finanzierungslage bestehender Radioteleskope oft nicht rosig
- Ein dominantes Zukunftsprojekt: Square Kilometer Array (SKA)
- Wenige Neubauten geplant, z.B. FAST in China

# Five hundred meter Aperture Spherical Telescope (FAST)

- Standort: China
- Typ: Arecibo
- Derzeit im Bau
- Fertigstellung ca. 2016
- Kosten ca 100 Mio. US\$
- Aktive Oberfläche



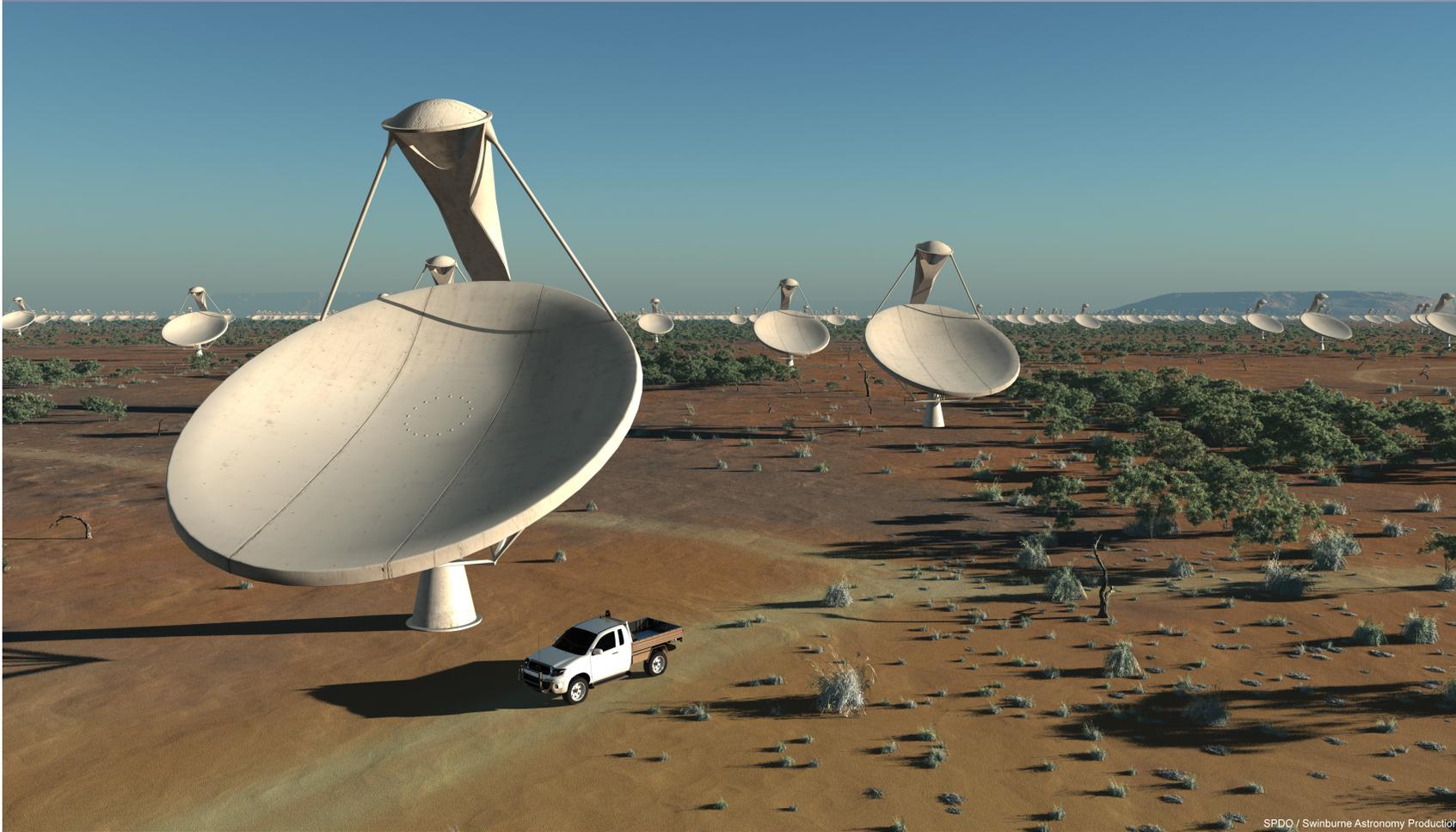
# Square Kilometer Array

## SKA

- DAS Zukunftsprojekt der Radioastronomie
- Verteilt über zwei Kontinente: Australien und Süd-Afrika
- Summe der Teleskopflächen: 1 qkm= 1 Mio qm, verteilt auf tausende Einzelteleskope/Antennen
- Geplanter Bau:
  - Phase 1: 2018 – 2023 (650 Mio €)
  - Phase 2: 2023 – 2030 (???) €)
- Datenaufkommen: Mehr als das gesamte Internet heute (!!!)
- Deutschland Gründungsmitglied, aber inzwischen ausgestiegen ....

# Square Kilometer Array SKA

- Impressionen (künstlerische Darstellungen)



SPDO / Swinburne Astronomy Productions

"SKA dishes big" by SKA Project Development Office and Swinburne Astronomy Productions – Swinburne Astronomy Productions for SKA Project Development Office. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Commons – [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SKA\\_dishes\\_big.jpg#/media/File:SKA\\_dishes\\_big.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SKA_dishes_big.jpg#/media/File:SKA_dishes_big.jpg)

# Square Kilometer Array SKA

- Impressionen (künstlerische Darstellungen)

# Radioastronomie für Amateure?

# Radioastronomie für Amateure?

- Nur ein Radioteleskop für Amateure als Produkt (> 5000 €, 2,3 m Durchmesser)
- 21 cm Linie Beobachtung Milchstraße: machbar
- Sehr helle Radio-Galaxien: machbar
- Pulsar-Beobachtung: eher nicht
  
- Möglich: atmosphärische Entladungen auf Jupiter nachweisen
  
- Aber: Einstein@Home Radiopulsar-Suche  
<http://einsteinathome.org>

Ihre Fragen, bitte!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Wie lauten Ihre Fragen???